

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

**KALİTE GELİŞTİRME SÜRECİNDE ENİYİLEME
PROBLEMLERİNE DENEY TASARIMI YÖNTEMİNİN
UYGULANMASI**

Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN

Danışman
Prof. Dr. Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU

2010

DOKTORA
TEZ ONAY SAYFASI

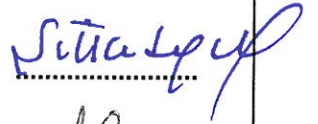
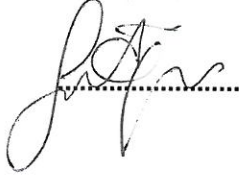
2006800065

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN
Tez Başlığı : Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması

Savunma Tarihi : 31.08.2010

Danışmanı : Prof.Dr.Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU

JÜRİ ÜYELERİ

<u>Ünvanı, Adı, Soyadı</u>	<u>Üniversitesi</u>	<u>İmza</u>
Prof.Dr.Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Prof.Dr.Şenay ÜÇDOĞRUK	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Doç.Dr.Ali ÖZDEMİR	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Yrd.Doç.Dr. Aşkın ÖZDAĞOĞLU	DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ	
Doç.Dr.Sima NART	BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ	

Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "**Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması**" başlıklı Doktora Tezi olarak () oybirliği () oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Utku UTKULU
Enstitü Müdürü

Yemin Metni

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı Yönteminin Uygulanması” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

..../..../2010

Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN

ÖZET

Doktora Tezi

Kalite Geliştirme Sürecinde Eniyileme Problemlerine Deney Tasarımı

Yönteminin Uygulanması

Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Doktora Programı

Bu çalışmada, öncelikle optimizasyon problemlerinde başarılarını kanıtlayan ve kalite geliştirmenin yanı sıra ürünün kalitesini tasarım aşamasında sağlayan deney tasarımı metodu incelenmiştir. Ortogonal dizileri kullanarak deney sayısını büyük ölçüde azaltılmaya ve kalite kayıplarına neden olan faktörleri belirleyerek kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en küçükmeye çalışan aynı zamanda da bir deney tasarımı tekniği olan Taguchi Yöntemi çalışmanın büyük kısmını oluşturmaktadır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kalite ile ilgili temel kavramlar ve deney tasarımı ile deney tasarımı esaslı eniyileme yöntemleri açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, Taguchi yöntemi hakkında genel bilgi verilmektedir. Yöntemin sınırlılıkları, uygulama adımları ve veri analiz yöntemleri tanıtılmaktadır. Bunlara ek olarak bu bölümde yöntem hakkında önceden yapılmış çalışmalara ve yöneme olan eleştirilere yer verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde yöntemin uygulanacağı endüstri dalı hakkında genel bilgi verilmiştir. Ayrıca çok yanıtlı problemler ve bunların en iyilenmesi hakkında bir prosedür açıklanmaktadır. Çalışmanın sonunda da robotik gazaltı kaynak işlemine Taguchi yöntemi uygulanmış ve modelden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deney Tasarımı, Taguchi Yöntemi, Robotik Gazaltı Kaynağı

ABSTRACT
Doctoral Thesis
The Implementation of Experimental Design Methods to Optimization
Problems in Quality Improvement Process
Ayşe Gamze ÇİFTÇİ AYTEKİN

Dokuz Eylül University
Institute of Social Sciences
Department of Business Administration
PhD Program

In this study, particularly, the experimental design method which has proven success in the optimization problems and ensures the quality of product at the design stage, is analyzed. Taguchi Method, an experimental design technique using orthogonal arrays to reduce number of experiments greatly and to minimize the impact of uncontrollable factors by identifying the factors that may cause loss of quality, constitutes a large part of the study.

This study consists of three parts. In the first part, the basic concepts of quality, design of experiments and optimization methods based on experimental design are described.

In the second part, an overview is given about Taguchi method such as limitations, implementation steps, and data analysis. Also, in this part, previous works about Taguchi method and critical reviews of this method are given.

In the third part, general information about industries which the method will be apply on, is given. Also, multi-response problems and the procedure about the optimization are described. At the end of the study, Taguchi method was applied to the robotic gas metal arc welding process and the results obtained from the model are interpreted.

Key Words: Design of Experiment, Taguchi Method, Robotic Gas Metal Arc Welding

KALİTE GELİŞTİRME SÜRECİNDE ENİYİLEME PROBLEMLERİNE DENEY TASARIMI YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

TEZ ONAY SAYFASI	ii
YEMİN METNİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	x
TABLO LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
EKLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL KALİTE KAVRAMLARI VE DENEY TASARIMI

1.1. KALİTE KAVRAMI	3
1.2. KALİTE KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ.....	5
1.3. KALİTE KONTROL SİSTEMİ.....	7
1.4. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ	9
1.5. KALİTE MÜHENDİSLİĞİ	12
1.6. KALİTE GELİŞTİRME TEKNİKLERİ	12
1.7. KALİTE MALİYETLERİ	14
1.8. DENEY TASARIMI	16
1.8.1. Deney Tasarımın Tarihçesi.....	20
1.8.2. Tasarım Eniyileme Probleminde Kullanılan Değişkenler	22
1.8.3. Deney Tasarımının Dayandığı Temel İlkeler	24
1.8.4. Deney Tasarımı Yönteminin Kullanıldığı Eniyileme Problemlerinin Sınıflandırılması.....	26
1.8.4.1. Statik Parametre Tasarım Problemi	26
1.8.4.2. Dinamik Parametre Tasarım Problemi	27
1.9. DENEY TASARIMININ UYGULAMA AŞAMALARI	28
1.10. DENEY TASARIMI TÜRLERİ	29
1.10.1. Klasik Yöntemler	30

1.10.1.1. Bir Kerede Bir Faktör	30
1.10.1.2. Faktöriyel Deneyler	32
1.10.1.2.1. Tam Faktöriyel Deney Tasarımları	33
1.10.1.2.2. Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımları.....	39
1.10.2. Modern Deney Tasarımı Yöntemleri	42
1.11. DENEY TASARIMINDA HESAP TABLOLARININ KULLANILMASI	43

İKİNCİ BÖLÜM

TAGUCHI YÖNTEMİ

2.1. TAGUCHI DENEY TASARIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ	47
2.2. TAGUCHI DENEY TASARIMI YÖNTEMİNİN FELSEFESİ.....	49
2.3. TAGUCHI YÖNTEMİNDE KALİTE KONTROL.....	52
2.3.1. Sistem Tasarımı.....	58
2.3.2. Parametre Tasarımı	58
2.3.3. Tolerans Tasarımı.....	61
2.4. TAGUCHI KAYIP FONKSİYONU	62
2.4.1. Sinyal/Gürültü (SN) Oranı	69
2.4.2. Robust Tasarım	70
2.4.3. Ortogonal Diziler	72
2.4.3.1. Ortogonal Dizilerin Çeşitleri.....	74
2.4.3.2.Ortogonal Dizilerin Seçimi ve Serbestlik Derecesi.....	77
2.4.3.3. Doğrusal Grafikler	81
2.4.3.4. Üçgensel Tablolar	83
2.5. TAGUCHI YÖNTEMİNİN UYGULAMA ADIMLARI	84
2.5.1. Problemin Belirlenmesi	86
2.5.2. Performans Karakteristiğinin Ve Ölçüm Sistemlerinin Belirlenmesi	87
2.5.3. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi	88
2.5.4. Faktörlerin Kontrol Edilebilen ve Kontrol Edilemeyen Faktörler Olarak Ayrılması	88
2.5.5. Potansiyel Etkileşimlerin Belirlenmesi	89
2.5.6 Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi ve Faktörlerin Bu Dizinlere Atanması	91
2.5.7. Performans İstatistiklerinin Belirlenmesi.....	94
2.5.8 Deneylerin Yapılması.....	94

2.5.9. Verilerin Analizi	96
2.5.9.1. Varyans Analizi (ANOVA)	98
2.5.9.2. Serbestlik Derecesi	100
2.5.9.3. Varyans Değeri	101
2.5.9.4. F- Testi	103
2.5.9.5. Deney Sonuçlarının Yorumu	104
2.5.10. Doğrulama Deneyinin Yapılması.....	107
2.6. TAGUCHI YÖNTEMİ İLE DİĞER DENEY TASARIMI TÜRLERİ ARASINDAKİ FARKLAR	107
2.7. TAGUCHI YÖNTEMİNE YÖNELİK ELEŞTİRİLER.....	110
2.8. ÇOK YANITLI PROBLEMLER	112
2.8.1. Çok Yanıtlı Problemler İle ilgili Yapılan Bazı Çalışmalar	114
2.8.2. Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü	115
2.8.2.1. Kalite Kaybını Hesaplama.....	116
2.8.2.2. Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirleme.....	117
2.8.2.3. Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunu Belirleme	118
2.9. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	122

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ROBOTİK GAZALTI KAYNAK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

3.1. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ	132
3.2. GAZALTI KAYNAĞININ ESASI.....	133
3.3. MIG/MAG KAYNAĞI	135
3.3.1. MAG Kaynak Donanımı	138
3.3.1.1. Kaynak Torçları.....	139
3.3.1.2. Elektrod Besleme Ünitesi	140
3.3.1.3.Kontrol Ünitesi	141
3.3.1.4. Güç Üniteleri.....	141
3.3.2. MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar.....	142
3.3.2.1. Soygazlar.....	144
3.3.2.2. Aktif Gazlar	145
3.3.2.3. Karışım Gazlar	146

3.4. ROBOTİK GAZALTI KAYNAK İŞLEMİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ UYGULAMASI	149
3.4.1. Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonunun Yapıldığı Çalışmalar	149
3.4.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi	154
3.4.3. Problemin Belirlenmesi	155
3.4.4. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi	156
3.4.5. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizin Seçimi	158
3.4.6. Faktörlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması	160
3.4.7. Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi	165
3.4.7.1. Kalite Kaybının Hesaplanması	170
3.4.7.2. Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi	173
3.4.7.3. Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi	175
3.4.7.4. Doğrulama Deneyi	178
SONUÇ	182
KAYNAKLAR	189
EKLER	206

KISALTMALAR

ANOVA	Varyans Analizi (Analysis of Variance)
DOE	Deney Tasarımı (Design of Experiment)
GMAW	Gaz Metal Ark Kaynağı (Gas Metal Arc Welding)
GTA	Gas Tungsten Arc
IEB	Isıdan Etkilenmiş Bölge
JIS	Japon Endüstriyel Standartları (Japan Industrial Standards)
MAG	Eriyen Elektrod İle Aktif Gaz Altında Yapılan Gazaltı Kaynağı (Metal Active Gas)
MIG	Eriyen Elektrod İle Soygaz Altında Yapılan Gazaltı Kaynağı (Metal Inert Gas)
MRSN	Çok Tanıtlı Sinyal/Gürültü Oranı (Multi Response Signal Noise)
Nd: YAG	Neodyum Katkılı Yitrium Alüminyum Ortama Sahip Katı Hal Lazeri (Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet)
NOG	Normal Olasılık Grafiği
QFD	Kalite Fonksiyon Göçerimi
PAW	Plazma Ark Kaynağı (Plasma Arc Welding)
SAW	Submerged Arc Welding
SN	Sinyal/Gürültü Oranı
TIG	Erimeyen Elektrodla Yapılan Gaz Altı Kaynağı (Tungsten Inert Gas)
TKY	Toplam Kalite Yönetimi
TNQL	Normalleştirilen Toplam Kalite Kaybı (Total Normallized Quality Loss)

TABLO LİSTESİ

TABLO 1: KALİTE ALANINDA ÇALIŞMA YAPMIŞ BAŞLICA KİŞİLER	11
TABLO 2: KALİTE MALİYET BİLEŞENLERİ	15
TABLO 3: 2 SEVİYELİ 4 FAKTÖR İÇİN DENEY TASARIMI: BİR KEREDE BİR FAKTÖR	31
TABLO 4: 2 SEVİYELİ 4 FAKTÖR İÇİN DENEY TASARIMI: EN YÜKSEK VE EN DÜŞÜK SEVİYELERİN DENENMESİ	31
TABLO 5: İKİ FAKTÖRLÜ DENEY TASARIMI MATRİSİ	34
TABLO 6: İKİ FAKTÖRLÜ DENEYSEL TASARIM MATRİSİNİN YENİ HALİ	34
TABLO 7: 2^3 FAKTÖR ETKİLEŞİMLERİNİN HESAPLANMASI	38
TABLO 8: 2 SEVİYELİ 7 FAKTÖR İÇİN DENEY TASARIMI	40
TABLO 9: 2 SEVİYELİ 7 FAKTÖR İÇİN 1/16 KİSMİ FAKTÖRİYEL DENEY TASARIMI	42
TABLO 10: ÖRNEK VERİ DEĞERLERİ	44
TABLO 11: HESAP TABLOSU	45
TABLO 12: NORMAL OLASILIK GRAFİĞİ	46
TABLO 13: GELENEKSEL KALİTE ANLAYIŞI VE TAGUCHİ'NİN KALİTE ANLAYIŞI ARASINDAKİ FARKLAR	48
TABLO 14: KALİTE MÜHENDİSLİĞİ BİLEŞENLERİ VE İÇERİKLERİ	55
TABLO 15: $L_8(2^7)$ ORTOGONAL DİZİSİ	74
TABLO 16: TEKLİF EDİLEN DENEYSEL DİZAYNLAR	75
TABLO 17: FAKTÖR VE SEVİYELERİN SERBESTLİK DERECESESİ VE TOPLAM SERBESTLİK DERECESESİ	79
TABLO 18: ETKİLEŞİMLER İÇİN SERBESTLİK DERECESESİ HESAPLARI	80
TABLO 19: AYNI FAKTÖR VE SEVİYELER İÇİN FAKTÖRİYEL TASARIM VE TAGUCHİ YÖNTEMİNİN ÖNGÖRDÜĞÜ DENEY SAYILARI	81
TABLO 20: L_8 ORTOGONAL DİZİNİ	93
TABLO 21: VARYANS ANALİZİ SONUÇ TABLOSU	100
TABLO 22: MIG/MAG KAYNAK YÖNTEMLERİNDE SIK KULLANILAN KORUYUCU GAZ VE GAZ KARIŞIMLARI	148
TABLO 23: KONTROL FAKTÖRLERİ VE SEVİYELERİN DEĞERLERİ	157
TABLO 24: FAKTÖR VE ETKİLEŞİMLERİN SERBESTLİK DERECELERİ VE TOPLAM SERBESTLİK DERECESESİ	159
TABLO 25: STANDART L_{27} ORTOGONAL DİZİNİ	160
TABLO 26: FAKTÖR VE ETKİLEŞİMLERİNİN KOLONLARA ATANMASI	162

TABLO 27: KULLANILACAK L_{27} ORTOGONAL DİZİNİ	162
TABLO 28: TAGUCHİ L_{27} TASARIMININ DENEYE UYGULANMIŞ HALİ	164
TABLO 29: NÜFUZİYETİN GÖRÜNÜM VERİLERİ	166
TABLO 30: NÜFUZİYETİN DEĞERİ.....	168
TABLO 31: X VE Y EKSENLERİ İÇİN NÜFUZİYETİN DEĞERİ	169
TABLO 32: HESAPLANAN KALİTE KAYIP DEĞERLERİ.....	171
TABLO 33: HESAPLANAN NORMALLEŞTİRİLEN KALİTE KAYIP DEĞERLERİ.....	172
TABLO 34: ÖLÇÜLEN VERİLERDEN HESAPLANAN ORTALAMALAR VE L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_{ij}$, MRSN _j DEĞERLERİ	174
TABLO 35: $w_1=1.5$, $w_2=1.0$ VE $w_3=1.0$ AĞIRLIKLARI İÇİN MRSN DEĞERLERİ	176
TABLO 36: FAKTÖRLERİN MRSN ÜZERİNDEKİ ANA ETKİLERİ.....	177
TABLO 37: FAKTÖRLERİN MRSN ÜZERİNDEKİ ANA ETKİLERİ (SIRALI)	178
TABLO 38: DOĞRULAMA DENEYİ VERİLERİ	179
TABLO 39: NORMALLEŞTİRİLEN KALİTE KAYIPLARINA GÖRE(C_{ij}) HESAPLANAN $TNQL$ VE MRSN DEĞERLERİ	180
TABLO 40: KAYIPLARA GÖRE (L_{ij}) HESAPLANAN $TNQL$ VE MRSN DEĞERLERİ.....	180
TABLO 41: DOĞRULAMA DENEYİ SONUÇLARI	181

ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL 1: BİR SİSTEM VEYA SÜRECİN GENEL GÖSTERİMİ	18
ŞEKİL 2: ÜÇ TEMEL YÖNTEMİN KALİTE DÜZEYİNE KATKISI (1950 – 1990)	21
ŞEKİL 3: BİR ÜRÜNÜN BLOK DİYAGRAMI.....	22
ŞEKİL 4: FAKTÖR ETKİLEŞİMLERİ	35
ŞEKİL 5: 2.2^2 FAKTÖRİYEL TASARIMI	36
ŞEKİL 6: FAKTÖRİYEL DENEYLERİ ETKİLEŞİMİN OLANADIĞI DURUM	36
ŞEKİL 7: FAKTÖRİYEL DENEYLERİ ETKİLEŞİMLİ DURUM	37
ŞEKİL 8: 2.2^3 FAKTÖRİYEL TASARIMI.....	38
ŞEKİL 9: TAGUCHI'NİN ÜRETİM-KALİTE ÇEMBERİ	53
ŞEKİL 10: TAGUCHI METODUNUN SİSTEMATİĞİ	57
ŞEKİL 11: PARAMETRE TASARIM DENEYİ PLANININ ÖRNEĞİ	60
ŞEKİL 12: TOPLUMA OLAN KAYBIN YAPISI	63
ŞEKİL 13: GELENEKSEL KAYIP FONKSİYONU	65
ŞEKİL 14: TAGUCHI'NİN KAYIP FONKSİYONU	66
ŞEKİL 15: EN KÜÇÜK EN İYİ KAYIP FONKSİYONUN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ	67
ŞEKİL 16: EN BÜYÜK EN İYİ FONKSİYONUNUN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ.....	68
ŞEKİL 17: ROBUST TASARIM DİYAGRAMI	70
ŞEKİL 18: DOĞRUSAL GRAFİKLERDE KULLANILAN FAKTÖR SİMGELERİ	82
ŞEKİL 19: $L_4(2^3)$ ORTOGONAL DİZİNİ VE DOĞRUSAL GRAFİĞİNİN GÖSTERİMİ.....	82
ŞEKİL 20: $L_8(2^7)$ ORTOGONAL DİZİNİ İÇİN DOĞRUSAL GRAFİKLER	83
ŞEKİL 21: $L_4(2^3)$ VE $L_8(2^7)$ ORTOGONAL DİZİNLERİNİN ÜÇGENSEL GRAFİKLERİ	84
ŞEKİL 22: TAGUCHI YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASINDA İZLENECEK SİSTEMATİK YAKLAŞIMIN AKIŞ ŞEMASI	84
ŞEKİL 23: İKİ FAKTÖRÜN ETKİLEŞİMSİZ OLDUĞUNU GÖSTEREN DURUM GRAFİĞİ	90
ŞEKİL 24: İKİ FAKTÖR ARASINDA ZAYIF BİR ETKİLEŞİM OLDUĞUNU GÖSTEREN DURUM GRAFİĞİ	90
ŞEKİL 25: İKİ FAKTÖR ARASINDA KUVVETLİ BİR ETKİLEŞİM OLDUĞUNU GÖSTEREN DURUM GRAFİĞİ	91
ŞEKİL 26: TAGUCHİ YÖNTEMİ VE DOE YÖNTEMİ	109
ŞEKİL 27: TAGUCHİ YÖNTEMİNDE ÇOK YANITLI PROBLEMLER İÇİN ENİYİLEME PROSEDÜRÜ.....	121

ŞEKİL 28: MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ARK BÖLGESİ	136
ŞEKİL 29: GAZALTI KAYNAĞININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	137
ŞEKİL 30: GAZALTI KAYNAĞI DONANIM ŞEMASI.....	139
ŞEKİL 31: GAZALTI KAYNAĞINDA KULLANILAN SU SOĞUTMALI BİR TORÇ KESİTİ	140
ŞEKİL 32: İNCELENEN ÜRÜNÜN KULLANILDIĞI KISIMLAR	156
ŞEKİL 33: TAGUCHI L ₂₇ ORTOGONAL DİZİNİNE AİT DOĞRUSAL GRAFİK	161
ŞEKİL 34: İLK DENEY İÇİN NÜFUZİYET DEĞERLERİ	167

EKLER LİSTESİ

EK-1: DENEY FOTOĞRAFLARI	207
---------------------------------------	------------

GİRİŞ

Günümüzün artan küresel rekabet ortamı ve ekonomik koşulları, işletmeleri ayakta kalabilmek için yüksek kaliteli fakat bunun yanı sıra düşük maliyetli ürünler veya süreçler üretmeye zorlamaktadır. Bu konuda, müşterilerin giderek artan beklentileri ve teknolojik ilerlemeler, kalite geliştirebilmek için çeşitli yaklaşımlar ve bazı yöntemler kullanmayı gerektirmektedir. Böylece ürünün veya sürecin istenen özelliklerini ifade eden kalite karakteristikleri tek tek ele alınarak kalite geliştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmalar, kalitenin sadece üretim sırasında sağlanması ve sonrasında denetlenmesi döneminin sona erdiğini göstermektedir. Artık kalitenin ürün veya sürecin tasarımı aşamasında sağlanması ve denetlenmesinin gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu amaçla günümüzde iki veya daha çok yanıtı beraber analiz ederek ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre en iyi kombinasyonları ortaya koyan yaklaşımlar önem kazanmıştır. Bu yaklaşımlardan biri de Taguchi Deney Tasarımı Yöntemidir. Bu yöntemde klasik deney tasarımlarının aksine faktör ve seviyeler teker teker değiştirilmek yerine eşzamanlı olarak değiştirilerek deneyler yapılmaktadır.

Taguchi Yöntemi optimizasyon problemlerinde çözüme, ortogonal diziler yardımıyla daha az sayıda deneyle ulaşılmasını sağlamaktadır. Ayrıca ürünün, üretim sırasındaki farklı değişkenlere ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı hassasiyetinin minimum olması, gerekli toleransların en az maliyetle sağlanması yoluyla ürünün toplumda yol açtığı kaybı en aza indirmeye çalışmaktadır. Bütün bunlar da yüksek kalitede ürün ve süreç geliştirilmesini desteklemektedir.

Yöntemde kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörlerin çıktı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılır. Böylece ürün veya süreçteki değişkenlikleri ortadan kaldıracak ya da en aza indirebilmek için kontrol edilebilen faktörlerin en iyi değerleri belirlenerek ürün ve süreç değişkenlikten en az etkilenecek duruma getirilmeye çalışılmaktadır. Ürün veya süreç performansına ancak kontrol edilemeyen faktörlere karşı duyarsız hale getirildiğinde robust denilir. Snee (1993), “bir prosesin yüksek kaliteli sayılabilmesi için etkin, yeterli ve robust (sağlam, güçlü) olmalıdır” demektedir. Taguchi Yönteminin robustluğu sağlama, kaliteyi artırma ve

maliyetleri düşürme konusunda etkili olan yaklaşımı ciddi bir kullanım alanı bulmaktadır.

Modern kalite kontrol sistemleri içinde yer alan Taguchi metodunun temeldeki amacı, varyans indirgenmesi yoluyla kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin değiştirilmesi ile zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerine karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımı oluşturmaktır.

Çalışmada ilk olarak Taguchi yönteminin de temelini oluşturan deney tasarımı konusu incelenmiştir. Daha sonra Taguchi yöntemi teorik açıdan ele alınmıştır. Son olarak da, çalışma konusu olan optimizasyon problemi Taguchi deney tasarımı yöntemi ile çözülüp sonuçlar değerlendirilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL KALİTE KAVRAMLARI VE DENEY TASARIMI

1.1. KALİTE KAVRAMI

Kalite kavramı insanların ve sistemlerin "hata yapması" ve "mükemmele ulaşma isteği" gerçeğinden ortaya çıkmıştır. Kalite kelimesi 16. yüzyılda Latince'de nasıl olduğu anlamına gelen "Qualis" kelimesinden türemiş ve "Qualitas" kelimesiyle ifade edilmiştir. Bu kelimedenden türetilen kalite kavramı, bir ürünün ya da hizmetin durumu, niteliği veya değeri anlamındadır.

Kalite çok geniş, içerikli bir kavram olduğundan genel ve net bir tanım yapmak oldukça zordur. Ancak bakış açılarına göre pek çok tanımlanmaktadır. Kalite sözcüğü kullanım amacına göre değişik anlamlar ifade edebilir. Kalite, kesin anlamı olan bir özellik olmadığı için, günlük yaşamda yanlış, eksik ya da dar kapsamlı kullanılabilmektedir.

Bir mal veya hizmetin kalitesi, ancak mal veya hizmetin fonksiyonu ile ilişkili olduğunda bir anlama sahip olmakta, işe yarayıp yaramadığı anlaşılmaktadır. Kalitenin kısa ve anlamlı bir tanımı Dr. Juran tarafından "Fonksiyona veya kullanıma uygunluk" olarak yapılmıştır (Doğan, 1991: 2).

Kalite "bir mal veya hizmetin müşteri beklenti ve gereksinimlerini karşılayabilme yeteneğidir" diye de tarif edilebilir. Tüketicilerin beklentilerine bağlı olarak, kalite kavramı topluma, toplumun kültürel gelişimine, beğeni ve alışkanlıklarına göre değişen bir kavramdır. Amaç müşteri beğeni ve gereksinimlerini daha iyi yakalamak ve rakiplerinden daha iyi mal / hizmet üretmektir (Kolarik, 1995: 32).

Benzer bir tanım Amerikan Kalite Kontrol Derneği (ASQC) tarafından yapılmış ve kalite; "Bir ürün veya hizmetin belirlenen veya olabilecek gereksinimleri tatmin edebilme kabiliyetine dayanan özelliklerin ve karakteristiklerin toplamı" olarak tanımlanmıştır (Heizer, Render, 1996: 78).

Dr. K. Ishikawa'ya göre kalite; en ekonomik, en kullanışlı ve her zaman tüketiciyi tatmin eden ürünün üretilmesidir (Ishikawa, 1998: 17).

Genichi Taguchi ise ürün kalitesi için alışılmamış bir tanım yapmaktadır "Ürünün gerçek fonksiyonları ile neden olduğu kayıplardan başka, ürün sevk edildikten sonra toplumda neden olduğu en az kayıptır". Taguchi "kayıp" kavramı ile aşağıdaki iki kategoriye ifade etmektedir (Loncher, Matar, 1990: 12):

- Fonksiyonun değişkenliği ile neden olunan kayıp,
- Zararlı yan etkiler ile neden olunan kayıp.

Kalite kavramını genel olarak bir tanım altında toplamak gerekirse; müşteri isteklerini önceden tahmin ederek, müşteri beklentilerinin ötesine geçmek, ürünün doğal yaşamı boyunca müşteriye memnun etmektir. Günümüzde teknik ve ekonomik gelişmelerin üretimden tüketime kadar her aşamada meydana getirdiği değişimler, ürün kalitesinin önemini artırarak çok sayıda kalite sorununu da beraber getirmiş ve kalite kavramı birçok ürün tasarımcısını, mühendisi, girişimciyi, yöneticiyi, üreticiyi ve tüketiciyi ilgilendiren başlıca konu haline gelmiştir.

Kalitenin çok boyutlu olması değişik tanımlar geliştirilmesine yol açmıştır. David Garvin, kalitenin sekiz boyutunu şu şekilde hesaplamıştır (Doğan, 1991: 3).

Performans	:Ürün ve hizmette bulunan birinci derecede önemli karakteristiklerdir.
Diğer unsurlar	:Ürün ve hizmette çekiciliği sağlayan ikinci derecede önemli karakteristikler.
Uygunluk	: Spesifikasyonlara, belgelere, Standartlara uygunluk.
Güvenilirlik	: Kullanım ömrü için performans sürekliliği.
Dayanıklılık	: Kullanılabilir ömrün uzunluğu.
Hizmet görürlük	: Servis hızı, tamir ustalığı ve nezaket.
Estetik	: Duyulara seslenebilme yeteneği.
İtibar	: Ürünün veya diğer üretim kalemlerinin geçmiş performansı.

Son yıllardaki hızlı teknolojik ve iktisadi gelişmeler, kaliteye değişik boyutlar kazandırmıştır. Günümüzde kaliteyi, mühendislik olanaklarından çok tüketici gereksinimleri belirlemektedir.

Genel olarak kalite, “kullanıma ve amaca uygunluk” olarak tanımlandığına göre burada amaç, ürünü kullanacak kişinin gereksinimi ve ödeme olanaklarına göre belirlenmektedir. Kaliteyi oluşturan alt boyutlar da dikkate alınarak kalite, “tüketici gereksinimlerini olanaklı en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve üretim karakteristiklerinin bileşimi” olarak tanımlanabilmektedir.

1.2. KALİTE KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Sahip olduğu kıt kaynakları kendisine ve yakın çevresine fayda yaratmak için seferber eden insanoğlu meydana getirdiği ürüne olan talebin ürünün niteliğiyle (bugünkü anlamda kalitesiyle) doğru orantılı olduğunu sezmiş ve yaptığı işlerde göz önünde bulundurmıştır. Buna göre kalite yeni bir kavram değildir. Kalite kavramının tarihi geçmişte Mısırlılara ve Romalılara kadar uzanmaktadır.

Joseph M. Juran’ın “Kalite Yönetiminin Tarihi” adlı kitabı, M.Ö. 11–8. yüzyıllarda Eski Çin imparatorluğundaki Zhou ve Qui Hanedanları zanaatkarlarının kaliteli üretim tekniklerini, İskandinav (Vikingler) gemi yapımcılarının kalite geliştirme tekniklerini, (M.Ö. 1000’li yıllardan M.S. 500’lü yıllara kadar) kalite kavramının, insanlığın daha iyiye ulaşma çabasının başladığı zamanlara kadar gittiğini açıklamaktadır. Eski Çin’de, yüksek dizayn, mimari, işçi eğitimi, maliyet kontrolü, denetim, ve bunun gibi tekniklerin kullanımının kalite kontrol adına tarihi bir başlangıç olduğu söylenebilir. Yine Eski Çin’de Tan Hanedanı zamanında tekstil ticareti için, Tekstil Bürosu adı altında, tam 25 adet çalışma grubu oluşturulmuştur. Eski Yunanların da tapınaklarını yaparken çok sıkı kalite kontrol tekniklerini uyguladıkları ve Hintlilerin M.Ö. 4.yüzyılda altın işleme için standartlar oluşturmalarının ve Romalıların M.Ö. 300 ve M.S. 300 yılları arasında, neredeyse dokundukları her şeyi standartlaştırmalarının da kaliteyle ilgisi olduğu söylenebilir. M.S. 300’lerde Venedik limanında bir savaş gemisinin tamamen silahlarla donatılmasının standart olarak 30 dakikada gerçekleşmesini sağlamak da sistematik bir yaklaşımın sonucudur (Kasap, 2006: 6).

Kalite hareketini ilk başlatan Shewart'dır. Shewart 1931 yılında Toplam Kalite Kontrolün açık tanımını vermiş ve nasıl ölçülüp kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Shewart parçalar, insanlar, beceriler ve proses parametreleri arasındaki değişkenliği yaşam biçimi olarak benimsemiş ve istatistiksel Proses Kontrol tekniklerini kullanarak daha iyi anlaşılabilirlik ve kontrol sağlanabileceğini savunmuştur (Zairi, 1993: 34).

II. Dünya Savaşı, kalite teknolojisinin gelişmesini hızlandırmış ve üretilen ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesi gereksinimi kalite kontrol konusundaki çalışmaların artmasına ek olarak daha çok bilgi paylaşımına yol açmıştır. Ancak savaş sonrasında kalite kontrol çalışmaları önemini yitirmeye başlamıştır. Buna karşılık Japon işadamları savaş sonrası ülkelerini yeniden imar etmek ve dış pazarlara girebilmek amacıyla ABD'deki kalite uzmanlarını ülkelere davet ederek bir kalkınma hareketi başlatmışlardır.

1951 yılında Armand V. Feigenbaum'un "Toplam Kalite Kontrol" kitabını yayınlamasıyla kalite kontrol, tasarımdan satışa kadar işletmenin tüm sahalarına yayıldı. Böylelikle kalite ayıklayıcı ve düzeltici olma boyutundan, önleyici ve geliştirici olma boyutuna taşınmış oldu.

Kalite, her ne kadar insanlık tarihi boyunca insanlığın bir parçası olmuşsa da kavram olarak "kontrol" ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır. İlk zamanlar üretimde çalışan operatör tarafından hata ve hasar kontrolleri yapılmış ve "kalite" sağlanmaya çalışılmıştır. Zaman geçtikçe ve teknolojik gelişmeler yaşandıkça hatasız ve hasarsız üretim önem kazanmış, dolayısıyla ustabaşı "kalite kontrol" işlemini yapmaya başlamıştır.

İşletmeler, müşterilerine hatasız ürün verebilmek ve geleceğe yönelik olarak pazarlarını koruyup geliştirebilmek amacıyla hatalı ürünleri fabrika içinde tutmakla yükümlü olan "kalite kontrol" bölümleri oluşturmuşlardır.

Tarihin kalite kavramını şekillendirmesinde, özellikle endüstri devrimine kadar, sadece öznel yaklaşımların etkisi olmuştur. Endüstri devrimi ile beraber devam eden bu gelişimin ve kitle üretimin, kalitenin bundan sonraki gelişimine ve özellikle sistematik bir kalite kavramının oluşmasına katkıları büyüktür.

20. yüzyıla gelindiğinde salt kalite kontrol çalışmalarının hedeflenen verimliliğe ulaşmadaki yetersizliği anlaşıldı. Kalite Güvence terimini ilk olarak kullanan George Edwards, kalitenin yönetimin sorumluluğunda olduğu görüşünü ortaya attı. İyi kalitenin iyi şeyler düşünülerek ve şansa bağlı olarak elde edilemeyeceği; kalitenin işletmenin bütün organizasyonel bölümlerinin (tasarım, mühendislik, teknik ve kalite planlama, üretim yerleşimi, standartlar, işçilik ve personel vb.) planlı ve birbirine bağlı çalışmaları ile oluştuğu yaklaşımını geliştirdi.

20. Yüzyıl, önemli teknolojik gelişmelerin yaşandığı ve bunun yarattığı zenginlik ve refahın geniş toplum kesimlerine yayıldığı bir dönemi de başlatmıştır. Bu yüzyılın başında, endüstriyel sistemlere önemli yenilikler getirmiş olan Henry Ford, 1905 yılında Ford Motor şirketinde ilk kez montaj hattı uygulamasını başlatmış ve imalat ortamındaki karmaşık süreçleri niteliksiz işgücü tarafından yapılabilecek basit montaj operasyonlarına ayırmıştır. Ford'un modelinde kalite görevi montaj hattı sonunda mamullerin iyiler ve kötüler şeklinde ayırımını sağlayan muayene elemanlarına devredildiği bir "Muayene Şefliği" kadrosu oluşturulmuştur. Bu uygulamayla kaliteyi göz ardı etmenin yarattığı kalite kayıplarının önlenmesi amacıyla ürün kalitesinden üretim nezaretçilerinin sorumlu olması uygulamasına geçilmiştir. Nezaretçiler kalitesiz üretime neden olan işçilere yaptırım uygulayarak firma güvencesi sağlamaya çalışmışlardır.

1.3. KALİTE KONTROL SİSTEMİ

Japon endüstriyel standartları (JIS) kalite kontrolü kavramını şöyle tanımlamaktadır: "Tüketici gereksinimlerini karşılayan kaliteli mal ve hizmetleri ekonomik olarak üreten bir üretim yöntemleri sistemi. Modern kalite kontrol, istatistiksel yöntemlerden yararlanır ve genellikle istatistiksel kalite kontrol olarak" adlandırılır (Doğan, 1991: 11).

Kaoru Ishikawa ise kaliteyi şöyle tanımlamaktadır: Kalite kontrolü yapmak en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi her zaman memnun eden kaliteli bir ürünü geliştirmek, tasarlamak, üretmek ve bakımını yapmak demektir (Ishikawa, 1998: 6)

Kalite Kontrol sistemi, belirli bir ürünün istenilen kalite düzeyine en ekonomik şekilde ulaşılması amacına yönelik teknik ve yönetsel faaliyetlerden oluştuğuna göre

bu amaca ulaşabilmek için kalitenin önce planlanması, sonra kontrol altına alınması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu aşama modern kalite sisteminin faaliyetlerini ortaya koymaktadır (Doğan, 1991: 11).

1924 yılında Western Elektrik şirketinin Bell telefon laboratuvarlarında muayene mühendisliği bölümünü kurması günümüz kalite kontrolün temellerini oluşturmuştur. 1960'lı yıllardan itibaren istatistiksel tekniklerin özünde fazla değişiklik olmamakla birlikte kalite kontrole bakış açısı genişlemeye başlamıştır.

1924 yılında matematikçi Walter Shewhart seri üretim ortamında kalitenin ekonomik olarak kontrolünü sağlamak için istatistiksel Kalite Kontrol uygulamaları üzerinde çalışmalar başlatmıştır. Böylelikle istatistiksel teknikler kullanılarak süreç kontrolü ile hatalar kaynağında önlenmeye, sorunlar yayılmadan durdurulmaya, birbirini besleyen bölümlerin birbirine hatalı ürün vermeleri önlenmeye çalışılmıştır. İstatistiksel kalite kontrol girdi-süreç-çıkı kontrolünden meydana gelmektedir. Bunlardan süreç kontrolü için aşağıdaki istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır.

- Çeteleme diyagramı
- Frekans dağılımı
- Histogram
- Pareto diyagramı
- Serpilme diyagramı
- Neden-sonuç (kılçık) diyagramı
- Kontrol şemaları

Feigenbaum'un öncüsü olduğu Toplam Kalite Kontrolü anlayışı, kalite kontrolünün sadece üretimle ilgili birimleri değil tüm işletmeyi ilgilendiren bir fonksiyon oluşu esasına dayanmaktadır (Burnak, 1997: 13).

Dr. Feigenbaum Toplam Kalite Kontrolü; "Müşterilerin ihtiyaçlarını en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile işletmenin değişik bölümlerinin; kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili bir yöntemdir" şeklinde tanımlamıştır (Kovancı, 2001: 13).

Toplam Kalite Kontrolün yaygınlaşması ile birlikte sıfır kusur kavramı ortaya çıkmıştır. Burada, sıfır kusur gelişme ve ilerleme için ortaya konulan hedeftir ve ideal durumu yansıtır. Bir başka gelişme ise Kalite çemberi kavramıdır. Kalite çemberleri, çalışanların katılımı ile kalite kontrol teknikleri konusunda gerekli eğitimi vermek, kalite sorunlarını belirlemek ve çözmek üzere kurulan küçük ve etkin problem çözme gruplarıdır.

1970'li yıllarda makine operatörlerinden işletme yöneticilerine kadar bütün çalışanların kalite kontrol fonksiyonuna katılımlarının önemine işaret eden Ishikawa'nın firma çapında kalite kontrol, Feigenbaum'un da örgüt çapında kalite kontrol kavramı ile ifade ettiği yeni bir aşamaya girilmiştir. Ishikawa firma çapında kalite kontrolünü, kaliteli ürünü/hizmeti ekonomik olarak üreterek insanların hayat kalitesini geliştirirken elde edilen geliri de tüketiciler, çalışanlar ve üreticiler arasında bölüştüren bir sistem olarak tanımlamaktadır (Ataş, 2001: 76).

1980'li yıllarda ortaya çıkan Kalite Güvencesi, planlanan hedeflere uygun olarak üretimi kontrol ederek doğrulamanın yanı sıra, kalite işlevlerinin uygun olarak yerine getirileceğinin ve getirildiğinin belgelerle kanıtlanmasıdır.

Kalite Güvence Sistemi ise, Kalite Kontrol ve Kalite Güvence işlemlerinin yerine getirilebilmesi için gereken kalite yönetiminin idari ve teknik ilişkiler bütünüdür.

Kalite Kontrol ile Kalite Güvence kavramları arasında en önemli fark, birincisinin ürün üzerinde, ikincisinin ise üretim sistemi üzerinde odaklanmasıdır. Başka bir ifade ile fark, üründe kalite özellikleri ve sistemde kalite özelliklerinin sağlanması ile açıklanabilir.

1.4. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

Toplam Kalite, gerçekten iyi kalite, mükemmel kalite veya olağanüstü iyi kalite demek değildir. Kısacası herhangi bir kalite seviyesi veya türü değildir. Toplam kalite ürünle ilgili bir niteleme olmadığı gibi, kalite sistemi ile de ilgili değildir. Bir teknik veya yöntem olmaktan ziyade, çeşitli teknik ve araçların kullanıldığı ve hep daha iyinin arzulandığı, başta iç müşteriler olmak üzere insanı esas alan, insana

dayalı ve insanı amaçlayan bir kültürel yaşam ve üretim ortamıdır (Kocabağ, 1995: 715).

Bir diğer tanıma göre TKY, işletmenin tüm kaynaklarını harekete geçirerek, müşterilerinin tatminini, en uygun fiyatlarla sağlamayı hedef alan stratejik bir yönetim yaklaşımıdır. Daha geniş bir tanımla TKY, doğru üretimi ilk defasında yapmayı ve bunu her defasında tekrarlamayı hedefleyen, örgütün bir bütün olarak etkinliğini sağlamayı, esnekliğe ulaşmasını ve rekabet gücünü artırmayı amaçlayan bir yöntemdir (Peker, 1993: 49).

Toplam kalite yönetimi 1994 tarihli ISO 8402’de şu şekilde tanımlanmıştır. Bir kuruluş içinde kaliteyi odak alan, kuruluşun bütün üyelerinin katılımına dayanan, müşteri memnuniyeti yoluyla uzun vadeli başarıyı amaçlayan ve kuruluşun bütün üyelerine ve topluma yarar sağlayan yönetim yaklaşımıdır (Miyauchi, 1999: 12).

Dr. Feigenbaum Toplam Kalite Kontrolü; “Müşterilerin ihtiyaçlarını en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile işletmenin değişik bölümlerinin; kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili bir yöntemdir” şeklinde tanımlamıştır (Kovancı, 2001: 13).

Toplam kalitenin gelişimine katkısı olan diğer bir uzman Dr. G. Taguchi kalitenin, üretim aşamasından çok tasarım aşamasında sağlanabileceğini göstermiştir. Özellikle istatistiksel deneysel tasarımı yöntemini kullanarak, ürünlerin kalitesini yükseltirken, üretim maliyetlerinin de düşeceğini kanıtlamıştır.

Klasik bir istatistiksel yöntem olan deney tasarımı son yıllarda kalite felsefesi paralelinde ürün ve üretim süreçlerinin tasarımı aşamalarında ve değişkenliği arttıran faktörlerin kontrol altına alınması amacıyla etkin bir biçimde uygulanmaktadır (Şirvancı, 1996: 12).

Toplam Kalite Yönetimde; kaliteyi oluşturan süreçlerin, tüm çalışanlar tarafından sürekli olarak geliştirilmesi bir felsefe olarak benimsenmekte ve yöntem olarak uygulanmaktadır. Sürekli süreç geliştirme olgusu Toplam Kalite Yönetiminin temel ilkesidir.

1980'li yılların ortalarında Motorola firması tarafından geliştirilen bir yöntem de "Altı Sigma Yöntemi"dir. Günümüzde iyileştirilebilecek her şey anlamına da gelen kalitenin, standartların ötesinde bir düşünce, bir çalışma metodolojisine dönüştürülmesi gerekmektedir. Kuruluşlar teknolojiye baş döndürücü gelişmeleri takip ederken bu teknolojilere sahip süreçlerde sürekli geliştirme ve iyileştirme anlayışı içerisinde yönetilmelidir.

Mükemmellik, değişimi benimseyerek sistemin yüksek performans düzeylerine geçmektir. Operasyonel mükemmelliğe ulaşmada süreç kalitesine odaklanmak gerekmektedir, bu amaçla süreçlerin ölçümü ve geliştirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu boyutta kurumlara rehberlik ederek yol gösterecek bir yönetim felsefesi olan Altı Sigma yaklaşımı kalite geliştirme metodlarında yeni isim olarak çok geniş bir alanda kurum stratejisi olarak kabul edilip kullanılmaktadır (Ataş, 2001: 80).

Altı Sigma yaklaşımı, kusur/hataların her milyon işlemde 3,4'e kadar indirilmesini diğer bir deyişle müşteri-kullanıcı beklentilerini/ihtiyaçlarını kusursuza yakın karşılamaya odaklanan bir yönetim felsefesidir.

Kalite alanında çalışma yapmış kişiler ve odaklandıkları felsefeler tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kalite Alanında Çalışma Yapmış Başlıca Kişiler

Guru	Tanım	Odak	Hakim Fikir	Ülke
Deming	Müşteri odaklı	Süreç	Değişkenliği kontrol	Amerikalı
Juran	Müşteri odaklı	İnsanlar	Amaca/kullanıma uygunluk	Amerikalı
Feigenbaum	Müşteri odaklı	Süreç	Toplam kalite kontrol	Amerikalı
Ishikawa	Değer odaklı	İnsanlar	Firma içi kalite kontrol ve kalite çemberleri	Japon
Taguchi	İkmal odaklı; topluma yarar	Süreç/ tasarım	Kalite kayıp fonksiyonu	Japon
Shingo	Değer odaklı	Süreç	Sıfır kalite kontrol	Japon
Crosby	İkmal odaklı	Performans	Uygunluk gereksinmesi/sıfır hata	Amerikalı
Peters	Müşteri odaklı	Performans	Kalite geliştirme süreci	Amerikalı
Moller	Değer odaklı	İnsanlar	Herkes için yönetim (12 altın kural)	Danimarkalı

Geçtiğimiz yüzyılda yaşanan endüstriyel gelişme sonucunda kalite alanında da yeni fikirler ortaya atılmıştır. Tablo 1’de görüldüğü gibi bu fikirler Toplam Kalite Yönetimi felsefesi altında ve genelde insan üzerine yoğunlaşmaktadır.

1.5. KALİTE MÜHENDİSLİĞİ

Kalite mühendisliği, bir üründe kalitenin tasarlanma sürecini ve üretimden önce potansiyel kalite sorunlarının belirlenmesini işaret eder. Kalite mühendisliği ürün ve hizmetlerde kalitenin değerlendirilmesi ve tasarımı için planlar, işlemler ve yöntemler ile ilgilenir. Kalite mühendisliğine daha fazla önem verilmesi için gereksinim günümüz ürünlerinin eskiye göre daha karmaşık olmasından kaynaklanmaktadır (Fowlkes, Creveling, 1995: 4).

Spesifikasyonlara uygunluk satın alma ve üretim bölümlerinin sorumluluğundadır. Satın alınan parçaların kullanılması durumunda, bu parçaların spesifikasyonlara uygunluğunun kontrolü gereklidir. Yetersiz üretim yöntemleri ürün kalitesinin düşmesine ve sık sık ürün arızalarına neden olur. Paketleme ve dağıtım bölümü ürünün müşteriye sağlam ulaşmasını sağlamalıdır. Bu durum da ilk tasarım aşamasında göz önüne alınmalıdır. Son olarak, kullanım kılavuzunun ve satış sonrası hizmetinin kalitesi ürünün başarısında önemlidir (Kağnıcıoğlu, 1998: 14).

Kalite güvenliğinden sorumlu kişiler bu koordinasyonu sağlamada birinci derecede önemlidir. Kalite mühendisleri spesifikasyonlara uygun üretilebilen ürün geliştirmede tasarımcılara yardımcı olurlar. Tasarım standartlarını üretim ile en iyi ilişkilendiren ve üretimde en çok sorunla karşılaşılan bölümleri bilen kalite mühendisleri tasarım maliyetleri ile kalite maliyetlerini karşılaştırarak dengeyi sağlamaya çalışırlar. Kalite mühendisleri hurda, tamir ve hizmet kayıtlarını en iyi bilen kişilerdir. Ayrıca kalite mühendisliği, süreç yetenek analizi ile de üretim araçlarının istenilen kalitede üretim yeteneğine sahip olup olmadığı belirlenir (Evans,1989: 191).

1.6. KALİTE GELİŞTİRME TEKNİKLERİ

Kalitenin geliştirilmesi değişime dayanmaktadır. Imai, iki tür değişim tanımlanmıştır: Kademeli ve ani değişim. Kademeli değişimler, küçük

iyileştirmelerden herkesi kapsayan sürekli değişimlere kadar sonuçlar doğurmaktadır. Ani değişimler ise yenilik ve buluşlarla ortaya çıkmaktadır (Moen vd., 1991: 1).

Teknoloji geliştirme mühendislerinin çoğu, çeşitli piyasa gereksinimlerini sağlamak için yeni sistemlerin amaç fonksiyonlarını ayarlamak için geleneksel güvenilirlik mühendislik yöntemlerini kullanır. Bu yöntemler, hata oranlarını azaltmada marjinal olarak etkilidir. Kaliteyi temelli olarak iyileştirmek için mühendisler yeni ürün veya süreç teknolojilerinin temel fonksiyonlarının robustluğunu iyileştirmeye odaklanmalı ve gerçek koşullarda ideal fonksiyonlara yakınlaşan temel fonksiyonları yapmak için parametre tasarım yöntemleri uygulamalıdır. Bu robust tasarım faaliyetleri, gerçek ürünler planlanmadan önce araştırma ve geliştirme departmanları tarafından yapılmalıdır. Amaç yeni teknolojilerin üretilebilirlik yönünü geliştirmektir (Taguchi, 1997: 534)

Aşağıda kalite geliştirme teknikleri sıralanmıştır.

Yedi Eski Araç:

1. Akış Diyagramı
2. Sebep - Sonuç Diyagramı
3. Dağılım Diyagramı
4. Kontrol Kartı
5. Histogram
6. Pareto Analizi
7. Beyin Fırtınası

Yedi Yeni Araç:

1. ilişki Diyagramı
2. Etkileşim Diyagramı
3. Sistematik Diyagram
4. Matris Diyagramı
5. Matris Veri Analizi
6. Süreç Karar Program Şeması
7. Ok Diyagramı

Diğer Kalite Geliştirme Teknikleri

1. Poke Yoke
2. Kıyaslama
3. Deney Tasarımı
4. Hata Modu Ve Analizi
5. Kalite Fonksiyon Göçerimi – QFD Tekniği.

1.7. KALİTE MALİYETLERİ

Yapılan hataları düzeltmek ve yeniden doğru olarak yapmak için gereğinden fazla zaman ve para harcanmaktadır. Günümüz koşullarında ise, firmaların para ve zaman kaybetmeye tahammülleri yoktur.

Kalite maliyetleri; önleme maliyetleri, ölçme ve değerlendirme maliyetleri ve başarısızlık maliyetlerinin toplamı şeklinde ifade edilir (Ataş, 2001: 89). Tablo 2’de kalite maliyet bileşenleri gösterilmiştir

Yapılan araştırmalar neticesinde hataları önlemek için ayrılan bütçelerin, hatalı ürünleri düzeltmek için ayrılandan çok daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan işlerin kaliteyi ön planda tutan bir sistem çerçevesinde yapılması tekrarları daha başından önleyeceğinden, hatalı üretim ve hizmet sonucu ortaya çıkacak yeniden yapma, hurdaya atma, müşteri şikayetleri gibi maliyetleri arttırıcı unsurlar kalite sistemi sayesinde en az düzeye indirilebilecektir (Kolarik, 1995: 39).

Tablo 2: Kalite Maliyet Bileşenleri

1. Önleme Maliyetleri	2. Ölçme ve Değerlendirme Maliyetleri
1.1. Pazarlama, müşteri kullanıcı algılaması 1.2. Ürün, servis, tasarım geliştirme Kalite iyileştirme faaliyetlerinin planlanması, ürün değerlendirme testlerinin tasarımı, servis değerlendirme testlerinin tasarımı 1.3. Satın alma Tedarikçilerin gözden geçirilmesi 1.4. İmalat sürecinin onaylanması, Ölçme ve test ekipmanlarının tasarımı ve geliştirilmesi, operatör kalite eğitimleri 1.5. Kalite yönetimi Yönetici ücretleri, kalite iyileştirme Çalışmaları	2.1. Satın alma Gelen malzemelerin muayene ve testleri, tedarikçi ürünlerinin değerlendirilmesi, malzeme kaynaklarının muayene ve kontrol programları 2.2. Operasyonlar (imalat veya hizmet) Operasyon muayene, test ve değerlendirmeleri, muayene ve testlerin ayarlanması, özel testler, süreç kontrol ölçümleri, ölçüm ekipmanlarının alımı, bakım ve kalibrasyonu
3. İçsel Başarısızlık Maliyetleri	4. Dışsal Başarısızlık Maliyeti
3.1. Ürün veya hizmet tasarımındaki Başarısızlıklar Tasarım düzeltme çalışmaları, tasarım değişiklikleri dolayısıyla oluşan yeniden işlemeler ve fireler 3.2. Satın alma başarısızlıkları Satın alınmış malzemenin reddedilmesi veya değiştirilmesi, tedarikçi düzeltme faaliyetleri 3.3. Operasyon Başarısızlıkları Yeniden işleme ve hurdalar, yeniden muayene ve test işlemleri	4.1. Şikayetlerin incelenmesi ve müşteri/kullanıcı servisi 4.2. İade mallar 4.3. Garanti Yükümlülükleri 4.4. Sorumluluklar 4.5. Cezalar 4.6. Satış kayıpları

Kaynak: Kolarik, 1995: 40.

Kalite maliyetlerinin belirlenip analiz edilmesiyle aşağıdaki yararlar sağlanabilir (Burnak, 1997: 64).

1. Kaliteye yönelik programların ve kontrol çalışmalarının etkinliğine ilişkin değerlendirmeler yapılması sağlanır.
2. Uygulanan program ve projelerde gerekli düzenlemeler yönlendirilir.
3. Ürünlerin gerçek maliyetlerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak fiyatlandırılması sağlanır.
4. Sorunların varlığı ve çözüm önceliklerinin belirlenmesi sağlanır.
5. Dış alımların daha sağlıklı yapılmasına katkıda bulunur.

6. Kaliteye yönelik çalışmaların işletme içinde düzenli bir biçimde dağılması sağlanır.
7. Muhasebe açısından, bütçelemenin daha duyarlı yapılmasına yardımcı olur.
8. Yöneticiler ile diğer personel arasında iyi ve anlaşılabilir bir iletişim kurulur.
9. Öngörülen proje ve yatırımlara yönelik veriler oluşturulur.

Kalitenin arttırılması için çalışanlara ve işletmeye yatırım yapılması gerekmektedir. Bu tür yatırımların geri dönüş süresini hesaplamak güç olduğundan dolayı firma sahipleri geçmişte, bunlara ölü yatırım gözüyle bakmaktaydılar. Fakat, düşük kaliteli üretim yapılmasından doğan kayıplar hesaplanmaya ve bu kayıpların toplam maliyetleri fark edilmeye başlandıkça, firma sahipleri ve yöneticiler kaliteli üretimin işletmeye diğer tasarruf tedbirlerinden daha fazla getirisi olduğunu anlayarak, kalite kavramına önem vermeye başladılar.

Yapılan bütün bu çalışmalar ışığında üretim sırasında meydana gelen hatalar kontrol altına alınarak nedenleri araştırılıp aynı zamanda da hataların tekrarlanmasını önlemek açısından gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Bu sayılan çalışmaların tümü üretim süreci üzerinde denemeler yapmayı gerektirir. Yapılan deneylerin sonuçlarının uygulanabilir olması açısından gerçek üretim hattını iyi temsil etmesi, aynı zamanda da işletmeye getireceği maliyetin çok yüksek olmaması istenmektedir. Sayılan amaçları gerçekleştirmede kullanılan yöntem "Deney Tasarımı"dır.

1.8. DENEY TASARIMI

Araştırmacılar tarafından bir sistem veya prosesin belirli bir özelliği veya parçasına ait detayları incelemek üzere yapılan faaliyetlere deney denilmektedir. İstatistikte deney, yeni gerçekler elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak veya reddetmek için planlanmış bir iş olarak algılanmaktadır. Gerçekleştirilen deney belirli bir sürecin devamının veya değiştirilmesinin önerilmesi konusunda bir karara ulaşılmasında yardımcı olacaktır. Deneyler bir veya birkaç soruya yanıt bulmak için gerçekleştirilebilir.

Deneyler, kesin ve karşılaştırmalı deneyler ile tek ve çok etmenli deneyler olarak iki farklı türde yapılır (Çömlekçi, 2003: 21). Kesin ve karşılaştırmalı deneyler,

bilinmeyen bir ilke veya etkiyi ortaya çıkarmak için yapıldığı gibi, aynı zamanda bilinen veya ileri sürülen bir tezi onaylamak için de yapılan deneylerdir.

Tek ve çok etmenli deneyler ise, bir veya birden çok etmenin bir durum veya proses üzerindeki etkisini belirlemek için sadece o an için tasarlanan şartlarda yapılan deneylerdir. Bu deneyler aynı zamanda çalışmanın konusu olan deney tasarımları için yapılan deney türleridir. Tasarlanmış deney terimi ise; bir sistem veya prosese ait girdi faktörlerinin amaçlı bir takım değişikliklere tabi tutulması ve bu değişiklikler sonucu oluşan çıktı üzerindeki değişme sebeplerinin belirlenmeye çalışılması için denemeler yapılması demektir (Çömlekçi, 2003: 21 – 25). Deney tasarımı kavramı ile ilgili farklı tanımlar yapmak mümkündür.

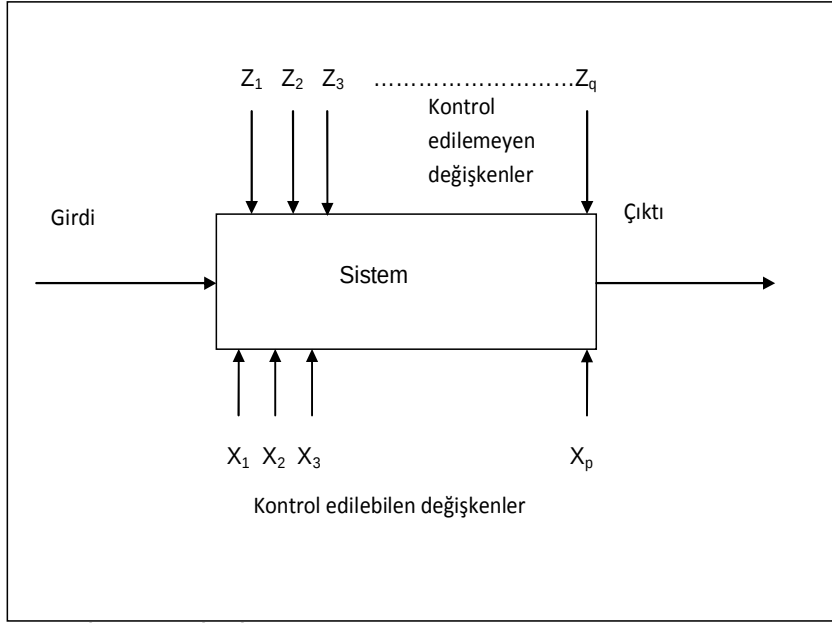
Deney tasarımı; bağımlı faktördeki değişikliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız faktörün etkilerinin ölçülmesi işlemini yürütmek için kullanılan tekniktir (Soylak, 2000: 43 – 45).

Deney Tasarımı, bir prosesteki girdi değişkenleri üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi, elde edilmesi ve yorumlanması olarak tanımlanabilir (Besterfield vd., 1995: 231).

Deney tasarımı yaklaşımı söz konusu faktörlerin farklı seviyelerinin çıktı değeri üzerinde oluşturdukları değişimleri ve bu değişimlerin altında yatan nedenleri araştırarak bunları optimize etmeyi, müşteri memnuniyetini ve sistemin güvenilirliğini artırmayı hedefler. Bu amaca ulaşmak için yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarında da belirli bir sistematik sağlar (Taptık, Keleş, 1998: 12).

DOE, proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve prosesteki değişkenliğin azaltılmasında kullanılan önemli bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli şekil 1'de gösterilmiştir. Proses değişkenlerinden $X_1, X_2, \dots, X_p$ kontrol edilebilir değişkenler ve $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$ kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılır (Lunani vd., 1997: 332).

Şekil 1: Bir Sistem veya Sürecin Genel Gösterimi



Kaynak: Lunani vd., 1997: 334.

Kalite mühendisliğinde DOE'nin tasarımcıya kazandırdığı en büyük faydalardan bir tanesi de prodesteki değişkenliğini azaltarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi kalite mühendisliğinin temel noktası değişkenliğe neden olan faktörlerin belirlenip giderilmesi ile prodesteki değişkenliğin en küçüklenmesi veya başka bir ifade ile kararlılığının artırılmasıdır. Deney tasarımı teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut prosesi düzeltme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır (Logothesis, 1992: 231).

Aynı zamanda deney tasarımı teknikleri; sadece istatistiksel bir yaklaşım değil, tüm araştırma geliştirme faaliyetlerinde kullanılabilecek, kaliteyi arttıran, maliyetleri düşüren ve sonuçların güvenilirliğini sağlamlaştıran, tüm diğer teknikleri destekleyen ve tamamlayan tekniklerdir (Keleş, 1996: 56; Park, Vining 2000: 67). Uygulamada getirdikleri avantajlar; performans ve kalitenin artırılması, maliyetlerin düşürülmesi, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin hızlandırılması ve ürünün ve /veya prosesin kalite özelliklerini belirleyen değerlerin daha robust olması (kontrol edilemeyen veya edilmesi zor ve maliyetli faktörlere karşı duyarlılığının az olması) şeklinde sıralanabilir (Fowlkes, Creveling, 1995: 101; Wallacher, 1994: 234).

Deney tasarımı ile değişik koşullar altında elde edilen sonuçlar aşağıdakilere ulaşabilmek amacı ile değerlendirilir (Kağnıcıoğlu, 1998: 24):

- Ürün performansı üzerine en fazla etkisi olan faktörlerin belirlenmesi.
- Ürün performansının istenilen hedef değere yakın olmasını sağlamak için etkili faktörlerin değerlerinin belirlenmesi.
- Ürün performansındaki varyasyonu en küçükleyen etkili faktör değerlerinin belirlenmesi.
- Kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en küçükleyen etkili faktör değerlerinin belirlenmesi.

DOE teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut prosesi düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Tekniğin uygulanmasındaki amaç, sağlam (robust) bir proses geliştirmektir. Asıl istenen değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin etkisinin en az olduğu prosesi geliştirmektir (Montgomery, 2004: 125).

Deney tasarımı yönteminin ürün ve süreç geliştirme çevriminin başlangıcında uygulanması aşağıdakiler gibi birçok fayda sağlar (Montgomery, 2004: 127):

- İyileştirilmiş süreç çıktıları
- Nominal veya hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılması
- Toplam geliştirme süresinin düşürölmesi
- Toplam maliyetin azaltılması

Deney tasarımı üretim prosesiyle ilgili kalite karakteristiklerini etkileyen önemli faktörlerin belirlenmesinde uygulayıcılara yardımcı olur. Yapılması planlanan bir deney, girdi faktörlerinin sistematik olarak değiştirilerek çıktı üzerindeki etkisinin belirlenmesi işlemidir.

Deney tasarımı faktör etkilerinin ölçölmesinde kullanılan klasik bir yöntemdir. Bu yöntemde yapılacak her yeni denemede mevcut faktörlerden birinin seviyesi değiştirilir ve diğer faktörler sabit tutulur. Böylece herhangi bir karakteristik için yapılacak deneyin deneme sayısı, faktörler iki seviyeli ise 2^n , seviye sayısı üç

seviyeli ise 3^n olur.(burada n faktör sayısını gösterir). Yani her bir faktöre ait tüm seviyeler için deneme yapmak gerekmektedir. Bu, faktör sayısı arttıkça sayısında geometrik bir artışa neden olur. Deneme sayısındaki bahsedilen artış maliyetleri de çok fazla arttırdığından ve önemli ölçüde zaman aldığından kalite iyileştirmede kullanılmaya elverişli olmamıştır. Ancak yine deney tasarımına dayalı ve bu dezavantajı gideren istatistiksel yöntemler geliştirilmiş ve kalite geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın, 1994: 104).

1.8.1. Deney Tasarımın Tarihçesi

Deney Tasarımı, ilk defa 1920'li yıllarda İngiliz istatistikçisi A. Ronald Fisher tarafından tarım ürünlerinin verimli üretilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Fisher, ürünlerin verimine katkıda bulunan gübrelerin tespitinde bu yöntemden yararlanmıştır. Fisher, ürün yetiştirilecek toprağı verimliliğı aynı derecede olan birkaç bloğa ayırmış ve her bir ürün çeşidini rastgele bu bloklarda yetiştirmiştir. Fisher'in blok kurması ve bloklara rastgele yerleştirme yapması, DOE'ye temel teşkil etmiştir ve faktöriyel analiz kavramının doğmasına sebep olmuştur (Montgomery, 1991: 38).

Fisher aynı zamanda deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan “varyans analizi” (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem kısa sürede Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünler üzerindeki etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır.

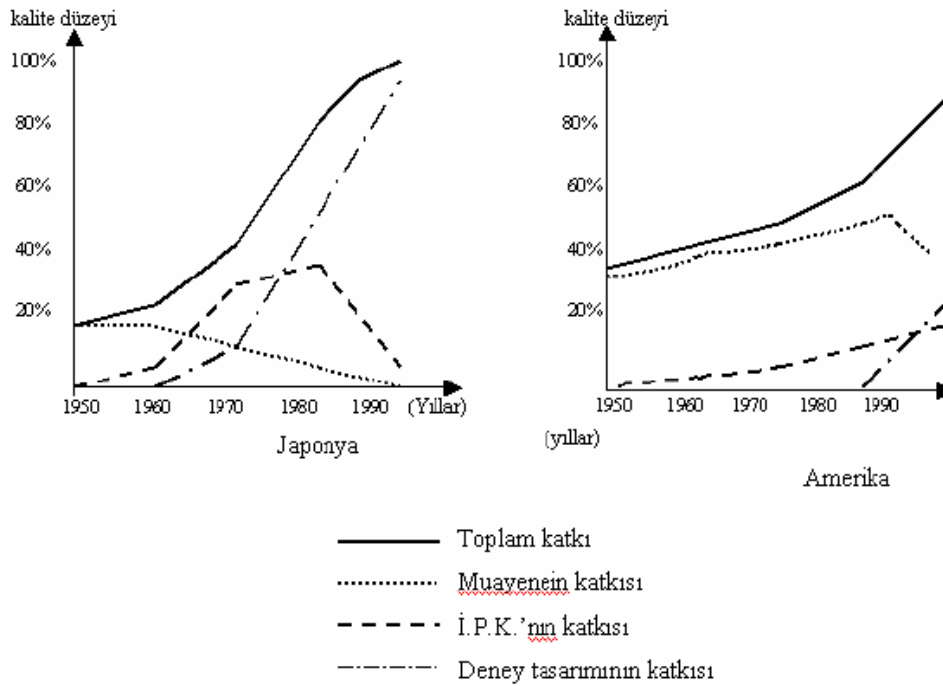
Deney Tasarımı 1950'li yıllara kadar, kimya ve ilaç sanayinde de kullanılmasına rağmen diğer sektörlerde kullanımı çok yaygın olmamıştır. W. Edwards Deming'in W. Edwards Deming'in Japonya'da, kalite ve verimliliğı geliştirme felsefesi ve yöntemleri üzerine verdiği konferanslardan sonra, bu teknikler Japon istatistikçileri tarafından hayata geçirilmiştir. Böylece düşük maliyette ve yüksek kalitede ürün geliştirmeye yardımcı DOE yöntemleri geliştirilmiştir (Hamzaçebi, Kutay, 2003: 9).

Tarım sektöründeki yoğun olarak uygulanmasına rağmen, üretim sektöründe deney tasarımı yöntemleri çok fazla uygulanmayan Amerika'da ise, 1970'li yıllarda

Japonya’da yaşanan sanayi hamlesinden sonra 1980’li yıllarda üretim sektöründe de deney tasarımı teknikleri uygulanmaya başlanmıştır. O tarihlerde Japonya’da Dr. Genichi Taguchi’nin liderliğinde, istatistiksel deney tasarımı üretim sektöründe kalitenin geliştirilmesi için çok etkin bir biçimde uygulanmaktaydı. Taguchi deneysel tasarıma kuramsal bir yenilik getirmemesine rağmen endüstri uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin üretim sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur (Şirvancı, 1997: 12 - 14).

Motorola firmasının kalite grubundan K. Bhot ve A. Bhot (2000), “World Class Quality” adlı kitaplarında amaçları kalite sağlamak olan üç yöntemin kalite geliştirmeye olan katkısını 1950–1990 yılları arasında Amerika ve Japonya için karşılaştırmıştır. Bu üç yöntem geleneksel muayene (kalite kontrol), istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemleridir. Şekil 2’de görüldüğü gibi Japonya’da kalite ilerlemesine en büyük katkısı 1970’den sonra deney tasarımı yapmıştır. Amerika da ise 1980’lerden sonra çok büyük bir ivme kazanmıştır.

Şekil 2: Üç Temel Yöntemin Kalite Düzeyine Katkısı (1950 – 1990)



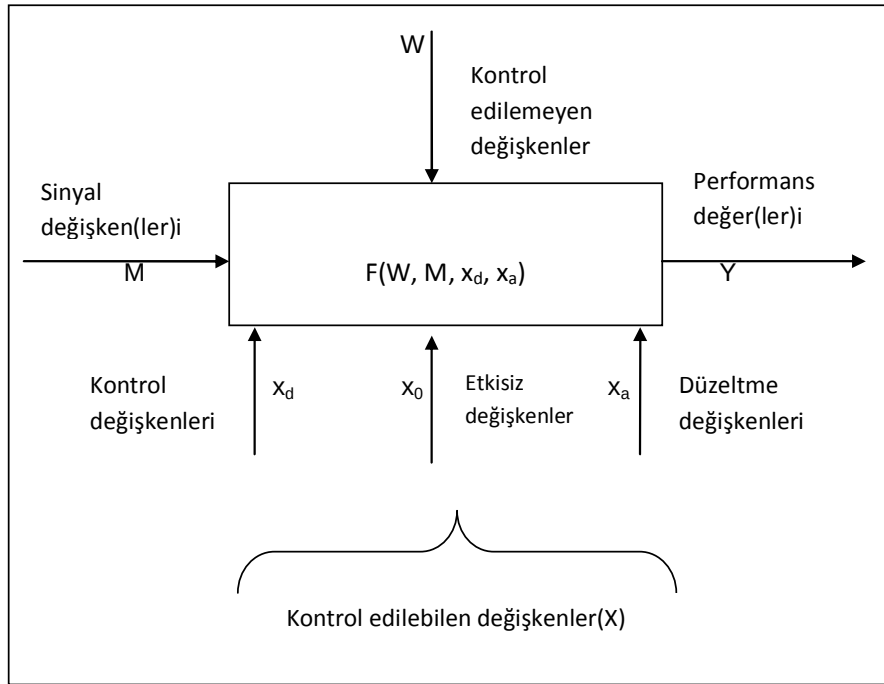
Kaynak: Şirvancı, 1997: 13.

Deney tasarımı tekniklerinin özellikle imalat endüstrisinde son yıllarda çok yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebeplerinden bir tanesi de, Dr. Genichi Taguchi'nin geliştirmiş olduğu Taguchi yöntemi olmuştur. Deney tasarımı Japonya'da Dr. Genichi Taguchi liderliğinde, imalat sektöründe kalitenin geliştirilmesi için çok etkin bir biçimde uygulanmıştır. Bugün dünyanın hemen her ülkesinde deney tasarımı eğitimleri verilmekte ve yöntem üretimde uygulanmaktadır (Şirvancı, 1997: 13).

1.8.2. Tasarım Eniyileme Probleminde Kullanılan Değişkenler

Phadke (1989), girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi şekil 3'de görüldüğü gibi ifade etmiştir. Buna göre performansı etkileyen değişkenler üç grupta toplanabilir (Çelik, 1993: 40).

Şekil 3: Bir Ürünün Blok Diyagramı



Kaynak: Çelik, 1993: 40.

Sinyal Değişkenleri: Hedeflenen performans değerini elde etmek için, değeri kullanıcı/operatör tarafından belirlenen değişkenlerdir. Sinyal değişkenleri

tasarımcı tarafından seçilir. Bazen iki veya daha fazla sinyal değişkeni aynı proste kullanılabılır.

Kontrol Edilebilen Değişkenler: Bu değişkenlerin değeri tasarımcı tarafından belirlenir. Herhangi bir parçanın boyutları, malzemesi veya bir evrenin çıkış voltajının seçimi gibi basit önlemlerle kontrol edilebilen değişkenlerdir.

- x_d : Varyansı ve ortalamayı etkileyen değişkenler,
- x_a : Sadece ortalamayı etkileyen değişkenler,
- x_o : Ortalamayı ve varyansı etkilemeyen değişkenler

olmak üzere üç elemanlı bir küme olarak $X=\{ x_d, x_a, x_o \}$ şeklinde yazılabilir.

Taguchi, x_a değişkenleri için düzetme değişkenleri ve x_o değişkenleri içinde etkisiz değişkenler demektir. Bu ayrımın yapılmasındaki amaç: kontrol değişkenleri(x_d) ile ürün veya proses değişkenliğini en küçükleştikten sonra düzeltme değişkenleri ile (x_a) performans karakteristiğini hedef değere yaklaştırmaktır. Aynı zamanda diğer amaç ta etkisiz değişkenlerin (x_o) en ekonomik değerinin belirlenmesidir. Bu durumda hem ortalama değer hedef değere yaklaşır, hem de maliyetler azalır. Bu çok yönlü iyileşme anlamına gelmektedir.

Kontrol edilebilen değişkenlerin her biri birden fazla değer alabilir. Bu değerler, seviyeler olarak adlandırılmaktadır. Bir değişkenin alabileceği farklı değerler, o değişken için değer kümesi anlamına gelmektedir. Tasarım eniyileme çalışmalarının amacı, kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerini belirlemektir. Bunun için birden fazla ölçüt kullanılabılır.

Kontrol Edilemeyen Değişkenler: Ürünün kullanım ortamındaki sıcaklık, nemlilik, rüzgar, gürültü, toz, titreşim, ürün aşınması, özelliğini kaybetmesi, hammadde ve bileşenlerinin toleransındaki değişiklik vb. gibi kontrol edilmesi zor olan veya olanaklı olmayan değişkenlerdir. Bunlar performans değerleri üzerinde bozucu etkiye sahiptirler. Bu değişkenlerin seviyeleri bir üründen diğerine, bir çevreden diğerine, bir andan diğerine göre değişir. Phadke (1989)'ye göre kontrol edilemeyen değişkenlerin gerçek değeri değil, sadece istatistiksel karakteristikleri bilinir. Bu nedenle performans değişkenliğine neden olan en önemli kontrol edilemeyen değişken bulunup ortadan kaldırılamaz. Bunun yerine ürünü kontrol

edilemeyen değişkenlere daha duyarsız hale getirmek için kontrol edilebilen değişkenlerin değerlerinde ayarlamalar yapılır.

Kontrol edilemeyen değişkenler içsel ve dışsal olarak iki grupta toplanabilir. Ürün hem içi ve dış, hem de birimden birime olan değişkenliklere karşı dayanıklı olarak tasarlanmalıdır. Bu amaçla kontrol edilebilen değişkenlerin seviyelerinin farklı kombinasyonlarında ürün performansının değeri araştırılır. Böyle bir çalışma sonucu tasarlanan ürünler robust (sağlam, güçlü) tasarım olarak adlandırılır.

1.8.3. Deney Tasarımının Dayandığı Temel İlkeler

Denemelerin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için, denemenin planlamasında bilimsel bir yaklaşım tarzı kullanılmalıdır. Denemelerin istatistiksel tasarımı, deneme planlama işlemini gerçekleştirmek içindir. Böylece istatistiksel yöntemlerle analiz edilebilecek uygun veri toplanıp, geçerli ve nesnel sonuçlar sağlanır. Verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak için, deneysel tasarımlarda istatistiksel yaklaşım gereklidir. Problem deneysel hatalara eğilimli veri içerdığı zaman, istatistiksel yöntemler, analiz için tek nesnel yaklaşımdır. Bu nedenle herhangi bir deneysel problem için, denemenin tasarımı ve verinin istatistiksel analizi oldukça ilgilidir. Çünkü analiz yöntemi doğrudan kullanılan tasarıma bağlıdır. Deneysel tasarımın dayandığı temel prensipler, İngiliz bilim adamı Ronald A. Fisher tarafından geliştirilmiştir. Bu prensipler “Tekrarlama”, “Rassallık” ve “Bloklama”dır.

Rassallaştırma: Rassallık; çevresel gelişmelerin belli bir kurala ve düzene bağlı olmadan tesadüfi olarak oluşmasıdır. Deney tasarımına rassallık kavramını getiren ve rassallaştırmanın deney tasarımı için ne kadar önemli olduğunu anlatan kişi, aynı zamanda deney tasarımının kurucusu olarak da kabul edebilen Ronald A. Fisher olmuştur. DOE için rassallaştırmanın en önemli yolu bağımsız faktörlerin seviyelerinin her bir deney için rassal olarak atanmasıdır. Deneylerin çok sayıda bağımsız faktör seviyelerine atanması durumunda, atanma sırası rassal olarak seçilmelidir (Çömlekçi, 2003. 42).

Rassallaştırma aynı zamanda deneysel verilerin toplanması sırasında da uygulanmalıdır. Rassallaştırma, deney sonuçlarını analiz etmede kullanılacak istatistiksel metotlar için gereklidir ve önyargının giderilmesine yardımcı olur. Buna

bağlı olarak rassallaştırma deney tasarımında istatistiğin kullanılması için gerekli temellerden birisidir.

Tekrarlama: Deneylerin birden fazla sayıda yapılması demektir. Tekrarlama deney hatasının ölçümünü sağlamak için gereklidir. Hata, tesadüfler ve değişkenliğe katkıda bulunan diğer faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu faktörler denemenin içine katılmayan aynı zamanda da kontrol edilemeyen faktörlerdir. İki veya daha fazla deney parçası aynı teste tabi tutulduğu zaman o deney tekrarlanmış olmaktadır. Tekrarlama hata sonuçlarında olası dış etmenlerin etkisinin fark edilmesi için gereklidir. Tekrarlama olmadan yapılan deneyler için her şeyden önce değişkenliğin belirlenmesi söz konusu olamaz (Şanyılmaz, 2006: 6).

Deneyssel tasarımın dayandığı prensiplerden tekrarlamamanın iki önemli özelliği vardır. Birincisi, deneyssel hatanın tahmin edilmesini sağlamasıdır. Hatanın tahmini verideki gözlemlenmiş farklılıkların istatistiksel olarak farklılığının belirlenmesine yardımcı olur. İkincisi ise denemedeki bir faktörün etkisini tahmin etmek için kullanılırsa; tekrarlama, bu etkiyle ilgili olarak gözlemcinin daha kesin sonuçlar elde etmesini sağlar (Karakoç, 2006: 6 – 7).

Belirli bir anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen istatistiksel anlamlılık testinin kesinliği arttırılmak isteniyorsa deneydeki tekrarlama sayısının arttırılması gerekir. Bir deneyssel araştırmanın uygun kesinlik derecesine sahip olması önemlidir. İki deney arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmasını sağlayan tekrarlama sayısından fazlasını gerçekleştirmek maliyeti arttıracığından gereksizdir. Diğer taraftan istatistiksel olarak anlamlılık derecesini sağlamayacak kadar deney yapmak da yanlışır. Bu yüzden en uygun tekrarlama sayısını bulmak şarttır.

Bloklama: Bloklama, ilgili faktörler arasındaki ilişkiyi karşılaştırmada kullanılan bir tasarım yöntemidir. Gözlemcinin doğrudan ilgili olmadığı, fakat deneyssel tepkilerde etkili olabilecek “ilgisiz faktörlerden” geçebilecek değişkenliği azaltmak ya da elemek için kullanılır. Bloklamada amaç daha homojen gruplarla denemelerin yapılmasıdır. Böylece deneyssel hatanın küçülmesi sağlanır (Karakoç, 2006: 7).

Aynı zamanda bloklama deney alanının bölümlere ayrılması amacıyla ve deneyin hassasiyetini arttırmak için kullanılan bir tekniktir. Her bir bölüm homojen olarak veya farklı etkileri test edebilmek için belirli farklı özelliklerine göre bölünmüş olabilir.

Bloklamada temel düşünce, benzer deneysel birimlerin gruplara bölünmesidir. Bu şekilde yapılmış olan deneylerin sonuçlarındaki değişkenlik, her bir blok içindeki faktör ve seviyelerinin etkilerinin farklılığını ortaya koymaktadır. Çünkü kontrol edilemeyen diğer faktörlerin etkisi minimize edilmiştir. Faktör ve seviyeleri her bloktaki birimlere rassal olarak atanır. Bloklar arasındaki değişkenlik deneysel hatadan arındırılarak deneyin hassasiyeti artırılır. Bloklar aynı birimleri içerdiğinden, aynı koşullar altındaki faktör ve seviyelerinin karşılaştırılmasını sağlar (Çelik, 2003: 45).

1.8.4. Deney Tasarımı Yönteminin Kullanıldığı Eniyileme Problemlerinin Sınıflandırılması

Robust tasarımın amacı, gürültüye en az duyarlı olan ve en iyi performansı sağlayan kontrol faktör seviyelerinin seçilmesi ile ürünlerdeki ve süreçteki performans değişkenliğini azaltmaktır. Robust tasarım hem statik hem de dinamik sistemleri içeren problemlere uygulanabilir. Statik sistemlerde sistemin çıktısı sabit bir hedef değere sahiptir. Dinamik sistemlerde ise hedef değer, kullanıcı tarafından belirlenen girdi sinyaline bağlıdır.

1.8.4.1. Statik Parametre Tasarım Problemi

Statik sistemlerde kalite karakteristiğinin değeri tek bir spesifik hedef değere mümkün olduğu kadar yakındır. Sinyal faktör bu sistemlerde ihmal edilir. Diğer bir ifade ile sinyal faktör yoktur. Optimize edilecek süreç, birkaç kontrol faktörüne sahiptir. Kontrol faktörleri çıktının istenen/hedef değerine karar verir. Optimizasyon en iyi kontrol faktör seviyelerinin belirlenmesini içerir. Çıktı hedef değerdedir. Statik sistem ile ilgili Kackar ve Shoemaker (1986) silikon tabaka koyma sürecini ele almışlardır. Amaç, silikon tabaka kalınlığının mümkün olduğu kadar hedef değere yakın olmasıydı.

Statik sistemlerde kalite karakteristikleri daha küçük daha iyi (smaller-the-better), daha büyük daha iyi (larger-the-better) ve nominal en iyi (nominal-the-best) şeklinde sınıflandırılmıştır.

Statik Taguchi uygulamaları ile belirli bir performans seviyesi veren ürün tasarımı ve üretim prosesi araştırılır. Örneğin bir enjeksiyon yapıştırma makinesi için statik uygulama, tek bir yapışma tasarımı için en iyi işleme koşulları bulunur.

1.8.4.2. Dinamik Parametre Tasarım Problemi

Dinamik sistemlerde sistemin istenen çıktısı sinyal faktörün seviyelerine bağlıdır ve sistemde bir tek hedef değer yoktur. Yanıt, sinyalin bir fonksiyonudur. Bu nedenle sinyal-yanıt ilişkisi, sistemin performansını ölçmek için önemli bir araçtır. Bu tip sistemleri Taguchi, “dinamik karakteristikli sistemler”, Miller ve Wu (1996), “sinyal-yanıt sistemleri” olarak adlandırmaktadır.

Sinyal-yanıt ilişkisinin doğası, sistemin kontrol ve gürültü faktörlerine bağlıdır. Taguchi’nin “dinamik parametre tasarımı” olarak adlandırdığı sinyal-yanıt sistemleri robust parametre tasarımı, ürün / süreç gelişimi için etkili ve güçlü bir araçtır.

Dinamik sistemler için ideal kalite kavramı, sinyal ve yanıt arasındaki ideal ilişkiye bağlıdır. Kalite kaybı, bu ideal ilişkiden sapmalar ile oluşur. Hem sinyal hem de yanıt sistem tasarımcısı tarafından belirlenir. Kalite gelişimi için ilk olarak sistemin ideal fonksiyonu tanımlanır. Daha sonra optimal tasarımı yani ideal fonksiyondan sapmaları minimize eden tasarımı araştırmak için tasarımılanmış deneyler kullanılır.

Dinamik parametre tasarım probleminin statik parametre tasarım probleminden farklı bir sinyal değişkeninin olması ve hedef değerinin de bu sinyal değişkeni tarafından belirlenmesidir. Burada sinyal değişkeni, kontrol stratejisi ve hedef değere göre belirlenir. Amaç beklenen kayıpları en küçükmek için sadece kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerini belirlemek değil, aynı zamanda en iyi kontrol stratejisini belirlemektir (Çelik, 1993: 50).

1.9. DENEY TASARIMININ UYGULAMA AŞAMALARI

Deney tasarımı uygulamaları yedi adımdan oluşmaktadır ve bu adımlar aşağıda açıklanmaktadır (Acar, 2001: 43 – 46):

1. Problemin Belirlenmesi: Problemin tanımlanması kolay bir nokta gibi görünse de tasarımın en önemli adımlarından birisidir. Yapılacak her işte olduğu gibi, deney tasarımından da en iyi sonucu alabilmek için yapılacak deneylere konu olan sorunun tam olarak bilinmesi şarttır. İlk bakışta konu ile ilgili birçok problem olabilir ancak bunların içinden temel sorunu bulmak gerekir. Bunun için beyin fırtınası, balık kılçığı, pareto analizi vb. gibi kalite araçlarından faydalanılabilir (Şirvancı, 1997: 15).

Problemin tanımlanması için, öncelikle, deney sırasında çıktı olarak incelenecek ve ürünün kalite özelliklerini temsil eden kalite değişkeni veya değişkenlerini tanımlamak gerekir. Kalite değişkenlerinin ölçülebilir (sayısal ya da nicel) olması gerekir. Ürünün boya ve yüzey parlaklığı gibi kozmetik ya da nitel özelliklerini temsil eden değişkenler için, birkaç kişilik bir jüri oluşturarak ürünün puanlanması önerilir.

Deneyin amacı ile ilgili tüm fikirler problemin belirlenmesi aşamasında ortaya konulmalıdır. Konu ile ilgili birimlerden (üretim planlama, pazarlama, kalite güvence) gerekli verilerin toplanması gerekir.

2. Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi: Deney tasarımcısı, problemi belirledikten sonra ilk olarak oluşturacağı tasarımın sonucunu belirleyen süreci etkileyen faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini (derece) belirlemelidir. Tasarımcı belirlediği faktörleri ve bu faktörlerin seviyelerini tespit ederken daha önce bu konuda yapılan çalışmalar ile bu konudaki kendi bilgisini göz önünde tutmalıdır. Seviyeler sonuç üzerindeki etkisine göre ve uygun aralıklarla seçilmelidir (Hamzaçebi, 2000: 82 – 84)

Cevap (bağımlı) değişkeninin seçimi sırasında deney tasarımcısı cevap değişkeni olarak seçtiği değişkeni, deneyin amacı hakkında kesin bilgiler verdiği emin olması gerekir. Cevap değişkeninin nasıl ölçüleceği ve bu ölçümlerin kesinlik derecelerinin güvenilirliği konusunda dikkatli olunmalıdır. Cevap değişkeni olarak genellikle ölçülen karakteristiğin ortalaması veya standart sapması seçilir.

3. Çıktı Değişkeninin Seçilmesi: Çıktı değişkeninin seçilmesinde dikkat edilecek nokta, üzerinde çalışılan proses hakkında gerekli bilgiyi sağlamasıdır. Birden fazla çıktı değişkeni seçilmesi de mümkündür.

1. 2. ve 3. adımlar deney öncesi planlama adı altında toplanırlar.

4. Deney Tasarımının Seçimi: İlk üç aşamayı doğru olarak yapan deney tasarımcısı ihtiyaç duyduğu bilginin çeşidine ve uygulamayı yapacağı koşullara göre deney tasarımı tekniğini seçer. Bu aşamada ilk olarak dikkat edilecek konu örnek büyüklüğü, deneylerin yapılış sırası ve tekrarlama sayısına bağlı olarak deneylerin maliyetini de hesaba katmaktır (Açar, 2001: 54 – 57).

5. Deneylerin Yapılması: Asıl verilerin toplanacağı aşamadır. Rassallık, tekrarlama ve bloklama gibi deney tasarımı ilkelerine dikkat edilmelidir. Bu aşamada yapılacak deney hataları deney geçerliliğinin bozulmasına sebep olur.

6. Verilerin Analizi: Yapılan deneylerden elde edilen veriler çeşitli istatistiksel metotlarla bu aşamada analiz edilir. En çok kullanılan analiz yöntemleri grafiksel yöntem ve varyans analizi yöntemleridir (Çömlekçi, 1998: 63 – 67).

7. Sonuç: Yapılan veri analizinden çıkan sonuçlar bu aşamada değerlendirilir. Bulunan istatistiksel sonuçlar fiziksel olarak da yorumlanabilir olmalıdır. Sonuçların güvenilirliği için bulunan sonuçlarla bir deneme testi yapılmalıdır (Okudan, 1995: 62 - 63).

Bütün bu aşamalardan sonra tasarlanan deneyin sonuçları proses veya sistem hakkında bize önemli bilgiler sunar.

1.10. DENEY TASARIMI TÜRLERİ

Değişik bilim alanlarında yapılabilecek deneysel çalışmaların veri güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlayacak biçimde hazırlanmış çok sayıda deney tasarımı (deney planları) bulunmaktadır. Bu yöntemler geçen yüzyılın başından beri geliştirilmişler ve farklı yaklaşımlarla şekillenmişlerdir. Bu farklı yaklaşımlar içerisinde

öncelikle klasik ve modern yöntemler ayırt edilirken, modern yöntemler içinde de varyans analizine dayalı Taguchi Deney Tasarımı metodu ve regresyon analizine dayalı Cevap Yüzeyi Analizi bulunmaktadır.

1.10.1. Klasik Yöntemler

Bu başlık altında bir kerede bir faktör ve tam faktöriyel ve kısmi faktöriyel deney tasarımları sayılabilir.

1.10.1.1. Bir Kerede Bir Faktör

Klasik deney tasarımı yaklaşımlarına bakılacak olursa, en kolay ve en sık uygulanan yöntem, her bir deneyde bir faktörün seviyelerinde değişiklik yaparak ürün veya proses performansında ortaya çıkan değişkenliği izlemektir. En zor olanı ise birçok faktörün ürünün performansını etkilediği durumlarda bu faktörlerin etkilerini ve birbiriyle olan etkileşimlerini kontrol etmeye çalışmaktır.

Bu en basit olan yaklaşıma örnek vermek gerekirse bir gazaltı kaynak prosesinde, proses üzerinde etkisini ölçmek istediğimiz tel sürme hızı ve akım şiddeti gibi iki faktör olduğunu varsayalım. Bir kerede bir faktör inceleneceği durumda önce B faktörü olan akım şiddeti sabit bir değer olarak alınır, sadece tel sürme hızı olan A faktörünün kaynak mukavemeti üzerine olan etkisini ölçmek amacıyla bu faktörün çeşitli seviyelerinde ölçüm yapılır. Böylece sadece tel sürme hızının kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi tespit edilmiş olur. Bu tespit ile A faktörünün en iyi performansı vereceği değer bulunduğu düşünülür ve A faktörü bu seviyede sabitlenir. Bundan sonra B faktörü için deneyler yapılmaya ve bu faktör içinde en iyi sonucun alındığı değerler bulunmaya çalışılır.

Ürün performansını etkileyen faktörlerin sayısı arttığında farklı bazı tasarımlar da uygulanabilir. Mesela dört faktörün söz konusu olduğu bir deneyde her seferinde bir faktörün en alt ve en üst seviyelerini almak kaydıyla değiştirilir ve tablo 3'deki gibi bir tasarım elde edilir (Savaşkan, 2003: 41).

Tablo 3: 2 Seviyeli 4 Faktör İçin Deney Tasarımı: Bir Kerede Bir Faktör

Faktörler ve Seviyeleri				
Deney	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	2	1	1	1
3	1	2	1	1
4	1	1	2	1
5	1	1	1	2

Kaynak: Savaşkan, 2003: 41.

Bu tasarımda önce tüm faktörlerin en düşük olduğu kombinasyon alınmış, daha sonra her deneyde ayrı bir faktörün üst seviyesi alınmış, diğer faktörler ise yine alt seviyede tutulmuş, böylece her deneyde ayrı ayrı faktörün değişik seviyede verdiği sonuçlar ölçülmeye çalışılmıştır.

Yukarıda anlatılan yaklaşımdan farklı olarak bir başka yaklaşım da ilk dört deneyde tüm faktörler için en düşük değerleri, ikinci dört deneyde ise tüm faktörler için en büyük değerlerin alındığı durumdur. Tablo 4’de bu durum örneklendirilmiştir.

Tablo 4: 2 Seviyeli 4 Faktör İçin Deney Tasarımı: En Yüksek ve En Düşük Seviyelerin Denenmesi

Faktörler ve Seviyeleri				
Deney	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2

Kaynak: Savaşkan, 2003: 42.

Bu tür durumlarda sağlıklı analiz sonuçları elde edebilmek için gerekli olan şart, faktörler arasında hiçbir etkileşimin olmamasıdır. Yani herhangi bir faktörün seviyesinin çıktı değeri üzerinde gösterdiği etkinin, diğer bir faktörün seviyesine bağlı olmamasıdır. Bu tür deney tasarımları faktörler arasında ilişkilerin görülmesine olanak vermemekte ve faktörlerin etkilerini de birbiri ile karıştırmadan ortaya

koyamamaktadır. Bu nedenle faktör etkileşiminin olduğu bir deney sistemi bu modelde ulaşılmak istenen sonucu vermemektedir.

Deneylerde her seferinde belirli faktörleri değiştirerek doğru bir deney tasarımı sistemi kurulmak isteniyorsa; önemli olan bunun dengeli tasarım olmasıdır. Dengeli tasarım, faktörlerin tamamen birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesidir. Bir faktörün çıktı üzerindeki etkisi hakkında yapılan tahminin diğer faktörden etkilenmemesi gerekmektedir. Aynı zamanda her test edilen koşul altında eşit sayıda örneklem bulunmasıdır.

Tablo 3’de gösterilen tasarımda A faktörünün 1. Seviyesi altında yapılan 4 deneyden 3 tanesinde B faktörünün 1. Seviyesinde, 1 tanesi de B faktörünün 2. Seviyesinde deney gerçekleştirilmiştir. Yapılacak olan karşılaştırmada A faktörü değerlendirilirken B’nin etkisi A’nın seviyeleri için farklı farklı olacaktır. Dolayısı ile bu tasarım dengeli değildir. Dengeli bir tasarım olabilmesi için bu değerlerin eşit olması gerekmektedir.

1.10.1.2. Faktöriyel Deneyler

İki ya da daha fazla seviyeli, sayıları birden fazla olan faktörlerin bir arada incelenmesi faktör kombinasyonlarını oluşturur. Bir faktöriyel deney, olası tüm faktör kombinasyonlarının her birinin tekrarlı olarak denendiği deneydir. Faktöriyel deneyler, bir proses ya da ürün kalite karakteristikleri için hangi faktörlerin en önemli olduğunu belirlemeleri açısından oldukça önemlidir.

Faktöriyel deneylerde yapılacak deney sayısı, m^k formülüyle ifade edilebilir. Burada m seviye sayısını, k ise faktör sayısını temsil etmektedir. Faktör sayısının ve seviyesinin artması yapılması gerekli deney sayısını da arttırmaktadır. Bu durum maliyetleri arttıracığından faktöriyel deneyler tam faktöriyel ve kesirli deneyler olarak çeşitlendirilmiştir. Bu deney çeşitleri alt başlıklarda incelenmiştir.

Faktöriyel deneyler içerdikleri faktör seviyelerine göre de 2, 3, 4... seviyeli faktöriyel deneyler olarak çeşitlilik göstermektedir. Bu bölümde pratik hayatta en çok kullanılan iki seviyeli faktöriyel deneylere yer verilecektir.

1.10.1.2.1. Tam Faktöriyel Deney Tasarımları

Faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması açısından en etkili olan deney tasarımı metodu Tam Faktöriyel Deney Tasarımlarıdır. Bu tür tasarımlarda her faktörün her seviyesinden eşit sayıda deney sonucu alınır ve bunlar birbirleri ile karşılaştırılır. Bunlar dengeli tasarımlardır. Ancak Tam Faktöriyel Deney Tasarımı sadece az sayıda faktör söz konusu olduğunda kullanılabilir. Çünkü gerekli deney sayısı faktörlerin ve seviyelerin artışıyla çok hızlı bir artış gösterir. Faktörlerin sadece alt ve üst değerlerinin alındığı tam faktöriyel bir deney tasarımında gerekli test sayısı 2^n kadardır; burada n değeri faktör sayısını gösterir, 2 değeri ise her faktörün 2 seviyeli olduğunu yani bir yüksek bir düşük seviyesinin olduğunu gösterir (Savaşkan, 2003: 43).

➤ İki Seviyeli Tam Eşlendirmeli Faktöriyel Deneyler:

İki Seviyeli Tam Faktöriyel Deney Tasarımına örnek olarak kalite karakteristiği için Y (parça yüzey pürüzlülüğü, üründeki şekil bozukluğu, sızdırmazlık gibi kalite değişkenleri olabilir) alınsın. Y'ye etki eden 2 faktör olduğu ve bunların A ve B olarak temsil edildiği düşünölsün.

Aşağıdaki tablo 5'de gösterilen deney, 2 faktörlü ve 2 seviyeli bir deneydir. Deney sırası belirtildikten sonra faktörler sırayla tabloya atanır. Faktör seviyeleri genellikle düşük olan seviyeye 1, yüksek olan seviyeye 2 değeri verilerek ifade edilir. Y kalite değişkeninin aldığı değerler, A ve B faktörlerinin farklı kombinasyonlarıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerleridir. AB faktörü A ve B faktörünün etkileşimini gösterir. Etkileşim, faktörlerin cevap değişkenine yaptıkları ortak etki olarak tanımlanabilir. Bu etki şöyle örneklenebilir: Normal, sekiz saatlik uyku düzeyinin ve iyi bir kahvaltının bir öğrencinin başarı seviyesi üzerindeki etkisinin %100 olduğunu varsayalım. Tek başına uyku düzeyinin 5 saate düşmesinin başarıyı %90'a, yine tek başına açlığın da %70'e düşürdüğünü farz edelim. Fakat hem uykusuz hem aç olan bir öğrencinin başarı seviyesindeki düşüşün % 60 olması beklenirken, bu düşüş açlık ve uykusuzluğun birlikte yaptıkları etkileşimden dolayı daha fazla olmakta, öğrencinin başarısını %10 düzeylerine indirmektedir.

Tablo 5: İki Faktörlü Deney Tasarımı Matrisi

Deneyler	Faktörler			Kalite Değişkeni
	A	B	AB	
No				Y
1	1	1	2	55
2	1	2	1	60
3	2	1	1	30
4	2	2	2	90

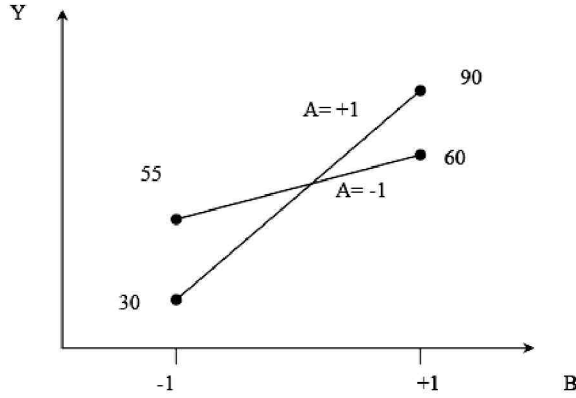
Faktör etkileşimlerinin değerlerinin daha kolay hesaplanabilmesi için faktör seviyelerinin değerlerine 1 ve 2 yerine (-1) ve (+1) verilebilir. Böylelikle etkileşimlerin değeri faktörlerin ayrı ayrı değerlerinin çarpımıyla elde edilebilir. Böylece tablonun yeni hali aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Tablo 6: İki Faktörlü Deneysel Tasarım Matrisinin Yeni Hali

Deneyler	Faktörler			Kalite değişkeni
	A	B	AB	
No				Y
1	-1	-1	+1 [(-1)*(-1)]	55
2	-1	+1	-1	60
3	+1	-1	-1	30
4	+1	+1	+1	90

Faktör etkileşimlerinin etkisi grafik üzerinde de gösterilebilir:

Şekil 4: Faktör Etkileşimleri



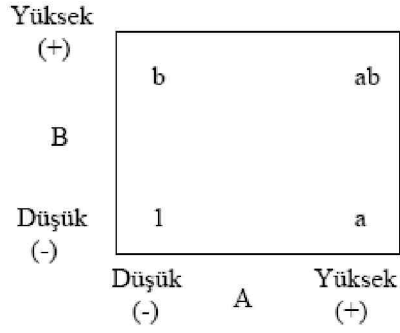
Kaynak: Montgomery, 1992: 8.

Tekrar sayısı $r=1$ alınan deneylere tekrarsız deneyler denilir. Deneyin tekrarsız olması, her bir kombinasyonda tek gözlem yapıldığını ifade eder. Maliyeti düşürmek açısından bu deneyler tercih edilir. Ancak tekrarsız deneyler maliyeti düşürürken deneyin sağlayacağı istatistiksel doğruluk da o derece düşer. Bu nedenle deney sonuçlarının doğruluk ve kesinliğinden emin olmak istendiğinde tekrar sayısı arttırılmalıdır.

Tam faktöriyel deney tasarımında en basit durum her biri iki seviyeli iki faktörlü deneydir. Yalnız iki seviyeyi içeren durum oldukça önemsiz gibi görünse de iki nedenden dolayı oldukça yararlıdır. Bu iki neden, daha karmaşık düzenlerin tartışılmasında yarar sağlayacak gösterim ve kavramları tanıtmak ve bu basit durumda gerçekten var olan ana etki ve etkileşimlerin ne olduğunu açıklamaktır (Mulluk vd., 1985: 32). Basit olmalarına karşın, düşük maliyetle, çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesini mümkün kılarlar. Örneğin, iki faktörlü ve her faktörün iki düzeyi olan bir deneyde, toplam 4 faktör-düzey kombinasyonu vardır. A ve B faktörlerinin, düzeylerinden birini "-1", diğerini "+1" kodu ile gösterildiği durumda, düzey kombinasyonları (-1,-1), (-1,+1), (+1,-1),(+1,+1) olur.

A'nın yüksek seviyesine (+1) a, B'nin yüksek seviyesine (+1) b ve her ikisinin düşük seviyesine (-1) değeri verilir, her ikisinin de yüksek seviyede olduğu durum da ab ile gösterilirse;

Şekil 5: 2.2² Faktöriyel Tasarımı



Kaynak: Montgomery, 1992: 9.

A' nın ana etkisi

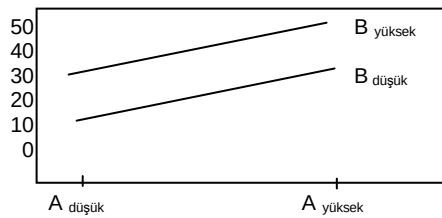
$$A = \overline{y_{A+}} - \overline{y_{A-}} = \frac{a + ab}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] \quad (1)$$

Aynı şekilde diğer etkiler:

$$B = \overline{y_{B+}} - \overline{y_{B-}} = \frac{b + ab}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)] \quad (2)$$

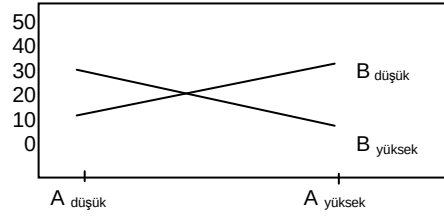
$$AB = \overline{y_{AB+}} - \overline{y_{AB-}} = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} = \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)] \quad (3)$$

Şekil 6: Faktöriyel Deneyleri Etkileşimin Olmadığı Durum



Kaynak: Montgomery, 1992: 9.

Şekil 7: Faktöriyel Deneyleri Etkileşimli Durum



Kaynak: Montgomery, 1992: 11.

➤ İki Seviyeli L_8 ve L_{16} Deneyleri

İki seviyeli deneyler, deneylerin en basitleridir. Basitliklerine karşın, düşük maliyetle, çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesini mümkün kılarlar. Bu bakımdan deney tasarımında çok önemli bir yer tutarlar.

Deneyde adları A, B ve C olan üç faktör bulunduğu zaman, tam eşlendirme sonucunda, $a*b*c = 2*2*2=8$ kombinasyon oluşur. Bu nedenle bu deneylere L_8 deneyleri denmektedir.

Deneyde 4 faktör ele alındığı zaman, denenecek düzey kombinasyon sayısı $a*b*c*d=2*2*2*2=16$ olur. Deneyin düzey kombinasyonlarını gösteren bu matrise, L_{16} dizayn matrisi denir. Pratikte en çok kullanılan deneyler L_8 ve L_{16} deneyleridir.

Üç faktörlü, iki seviyeli L_8 deneylerinin incelenmesinde aşağıdaki tasarım matrisi kullanılır. Burada A, B ve C ana faktörleri; AB, AC ve BC ikili etkileşimleri ve ABC de faktörlerin birlikte etkileşimlerini göstermektedir.

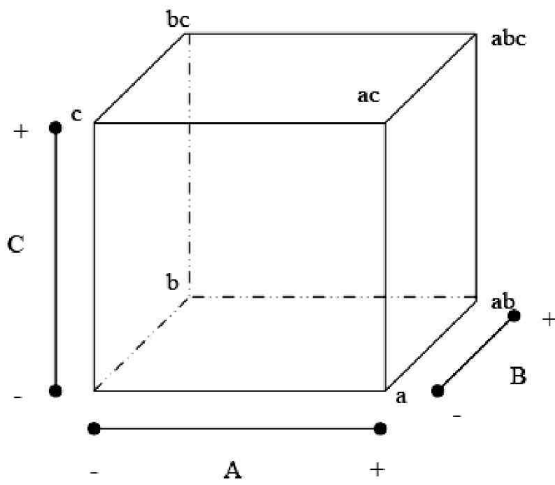
Tablo 7: 2³ Faktör Etkileşimlerinin Hesaplanması

Standart sıra	Etkiler						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+
Kolon no	1	2	3	4	5	6	7

Kaynak: Şirvancı, 1997: 12.

Faktörlerin etki değerlerinin hesaplanmasında da aşağıdaki şekilden yararlanılabilir.

Şekil 8: 2.2³ Faktöriyel Tasarımı



Kaynak: Montgomery, 1992: 14.

Böylece faktör etkileri:

$$A = \overline{y_{A+}} - \overline{y_{A-}} = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] \quad (4)$$

$$B = \overline{y_{B+}} - \overline{y_{B-}} = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] \quad (5)$$

$$C = \overline{y_{C+}} - \overline{y_{C-}} = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] \quad (6)$$

$$AB = \frac{1}{4n} [abc - bc + ab - b - ac + c - a + (1)] \quad (7)$$

$$AC = \frac{1}{4n} [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc] \quad (8)$$

$$BC = \frac{1}{4n} [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc] \quad (9)$$

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] \quad (10)$$

Olarak hesaplanır.

Bir faktörün, cevap değişkenine olan etkisi, diğer faktörün hangi değerde bulunduğuna bağlı ise, iki faktör arasında etkileşim var denir.

1.10.1.2.2. Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımları

Faktör sayısının artması ile deney sayısının nasıl hızla attığını görmek için sadece en alt ve en üst seviyelerinin incelendiği toplam 7 faktörün olduğu deney sisteminde Tam faktöriyel bir tasarım uygulandığında tablo 8 (a)'da görüldüğü gibi $2^7=128$ deney ortaya çıkmaktadır. Ancak bu kadar deneyin yapılması verimli olmamaktadır. Çünkü yapılan bu kadar çok deneyin sonuçlarının çoğu ancak üç ve

daha fazla faktörün birbirleri arasındaki etkileşimlerin belirlenmesi için gereklidir. Bu tür etkileşimler ya hiç söz konusu olmamakta ya da ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Yapılan bu kadar çok sayıda deneye rağmen faktörlerin etkileri sadece doğrusal olarak hesaplanabilmektedir (her faktörün sadece alt ve üst değerleri alındığı için aralarında ancak doğrusal bir bağlantı kurulabilir). Dolayısıyla bu sayıda deney ve bu deneylerin sonuçları çok da verimli olmayan seviyede bir bilgiyi elde etmek için kullanılmış olacaktır (Savaşkan, 2003: 43 -44).

Tablo 8: 2 Seviyeli 7 Faktör İçin Deney Tasarımı

			A ₁								A ₂							
			B ₁				B ₂				B ₁				B ₂			
			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			
			D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
E ₁	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																
E ₂	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																

a)

			A ₁								A ₂							
			B ₁				B ₂				B ₁				B ₂			
			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			
			D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
E ₁	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																
E ₂	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																

b)

			A ₁								A ₂							
			B ₁				B ₂				B ₁				B ₂			
			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			
			D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
E ₁	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																
E ₂	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																

c)

			A ₁								A ₂							
			B ₁				B ₂				B ₁				B ₂			
			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			C ₁		C ₂			
			D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
E ₁	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																
E ₂	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																

d)

Bunun yerine sergilenebilecek farklı bir yaklaşım Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımıdır. Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımında mümkün olan kombinasyonların sadece bilinçli şekilde seçilmiş olan belli kısmı denenir ve değerlendirilir. Bu deneylerin yapılmasında insan gücü başta olmak üzere tüm kaynaklardan, zamandan ve paradan tasarruf edilmiş olur. Ancak buna karşılık bir de dezavantaj oluşmaktadır. Seçilen kısmi faktöriyel seviyesine ve dolayısıyla deney sayısındaki azalmaya göre bir veya daha fazla ana etki ve/veya etkileşimler birbirleri ile karıştırılmış olur ve etkileri birbirinden ayrı olarak tahmin edilemez.

Öte yandan, imalat sektöründe uygulanan deneylerde, ikili etkileşimlerden daha yüksek derecede önemli etkileşim çok ender gözlenmektedir. Pratik uygulamalarda, genellikle ana faktörlerin bir bölümü ile ancak bazı ikili etkileşimlerin etkisi önemli bulunmaktadır. Bu nedenle, uygulamalarda ikilinin üzerindeki etkileşimleri ihmal etmek mümkündür. Yedi faktörlü bir deneyde, 120 etkileşimden 99'u ikilinin üzerinde etkileşimdir. Bunların ihmal edilmesi ile deneyin boyutunu küçültmek ve böylece, deneyin maliyetinde de önemli derecede tasarruf sağlamak mümkündür (Mulluk vd., 1985: 56).

Kesirli deneyleri kullanmaktaki amaç, ikili ve daha yüksek dereceli etkileşimleri ihmal ederek, deneyleri daha ucuza mal etmektir. Böylece faktörler arasındaki etkileşimlerin ayrıştırılmasından fedakarlık edilirken, gerekli deney sayısında önemli azalmalar elde edilebilir. Kesirli deneyler, tam faktöriyel için gereken gözlem sayısı n'nin belli bir kesrini içerir. Örneğin 7 faktörlü ve $n=128$ gözlem gerektiren deney, kesirli deney olarak tasarımlanırsa, $\frac{1}{2}$ oranında kısmi faktöriyel tasarım ile deney sayısı yarıya indirilmiştir. Tablo 8 (b)'de görüldüğü gibi deney sayısı 64 olmuştur. Deney sayısı azaltılırken sistem dışında bırakılan deneyler özellikle en üst seviyeden etkileşimler elenecek şekilde seçilmiştir. Ayrıca deney düzeninin dengede kalmasına dikkat edilmiştir.

Daha düşük seviyede etkileşimlerin de sistem üzerinde olumlu bir etkisinin bulunmadığı ve karışımların da kabul edilebilir olduğu varsayılarak yapılan $\frac{1}{4}$ kısmi faktöriyel tasarım için oluşan 32 deney tablo 8 (c)'de gösterilmektedir. Tablo 8 (d)'de $\frac{1}{8}$ kısmi faktöriyel tasarımda ise 128 deneyden 16 deney indiği görülmektedir.

Bu durumdan bir adım daha ilerleyip sadece ana faktörlerin etkilerini doğrusal olarak belirlemek istersek; diğer bir deyişle faktörler arasında hiçbir etkileşim olmadığını veya bu etkileşimlerin ihmal edilebilir olduğunu varsayabilirsek sadece 8 deneyin gerektiği $\frac{1}{16}$ 'lık tasarım kullanılabilir. Böyle bir tasarım örneği tablo 9'da görülmektedir. Bu tür tasarımlar daha çok ön deney çalışmalarında kullanılırlar. Amaç hangi faktörlerin gerçekten sistem üzerinde belirgin etkisinin olduğunu ortaya koyarak asıl deney çalışmasında ihmal edilebilir durumda olan faktörleri sistemden çıkartabilmektir.

Tablo 9: 2 Seviyeli 7 Faktör İçin 1/16 Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımı

	Kolon						
Deney	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Faktör sayısı $n = 7$ için, en küçük 1/16 kesirli deney, 8 denemeli deneydir. Böyle bir deneyde $n - 1 = 8 - 1 = 7$ etki hesap edilebilir. Faktör sayısı da 7 olduğu için, bu kesirli deneyde etkileşim hesap etmek mümkün değildir. Bu tür kesirli deneylere, deney tasarım literatüründe, aşırı doymuş deney denmektedir. Yalnızca ana etkilerin hesabını mümkün kılmasına karşın, bu deneyin maliyeti, $n=128$ 'lik deneyin maliyetinin ancak 1/16'sıdır.

1.10.2. Modern Deney Tasarımı Yöntemleri

Sonuçların varyans analizi ve regresyon analizi ile incelendiği deney tasarımı yöntemleri geliştirildikten sonra daha verimli deney tasarımı yaklaşımları oluşturulmuştur. Varyans analizinin kullanıldığı metot Taguchi Deney Tasarımı metodu iken, regresyon analizi Cevap Yüzeyi Analizinde kullanılır (Savaşkan, Taptık ve Ürgen 2004: 119).

Taguchi'nin geliştirmiş olduğu deney tasarımının özelliği kısmi faktöriyel deney tasarımında açıklanmış ve kullanılmıştır. Örneğin Taguchi'nin L_8 deney tasarımı 8 deney içerir. Tablo 10'daki deney tasarımı da 2 seviyeli 7 faktör için sadece ana etkiler incelenmek istendiği için 1/16'lık bir kısmi faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır.

Taguchi'nin kullanmış olduğu 128 deney kombinasyonundan sadece 8 tanesi deney tasarımıda yer almıştır. Bu 8 deneyin nasıl belirlendiği analizin konusudur. Bunu yaparken konulan kriter dengeli bir deney sistemi oluşturmaktır. Tablo 10'da da görüldüğü gibi 8 kolon arasında birbirinden bağımsız 7 karşılaştırma yapılmaktadır ve bu nedenle en fazla 7 faktör için ana etkiler hesaplanabilmektedir. 7 ayrı kolon ile 7 faktörün değerleri birbirinden bağımsız olarak incelenirken 8. Kolon hata terimi için ayrılmaktadır. Sistemdeki belirsizlikler ve kontrol edilemeyen etken bu hata terimi içindedir.

1.11. DENEY TASARIMINDA HESAP TABLOLARININ KULLANILMASI

Burada yer verilen formüller dışında fabrika ortamında yapılan deneylerde hesaplamaları kolaylaştırmak amacıyla hesap tabloları oluşturulmuştur. L_8 deneyleri için kullanılan hesap tablosu aşağıda gösterilmiştir. Tablo üzerinde işlem yaparken deney sonucu elde edilen gözlem değerleri ilgili sütuna girilir. Bu gözlem değerleri faktör sütunlarındaki boş hücelere aynen yazılır. Sonuçta sütun toplamaları toplam satırına girilir ve eleman sayısına bölünerek ortalama satırı doldurulur. Etki değerlerini bulmak için faktörün yüksek seviyesindeki ortalama değeri düşük seviyesindeki ortalama değerinden çıkarılır. Sıra satırına ise faktör etki değerleri büyükten küçüğe doğru numaralandırılır. Bundan sonraki aşamada etki değerlerinin hangilerinin daha önemli olduğunu analiz edebilmek için “normal olasılık grafiği” kullanılır. Etkileşimler ise cevap değişkenine olan etkilerini ölçebilmek için 2'li gruplar halinde ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilir. Hesaplama yöntemini örnek üzerinde incelemek gerekirse (Durmaz, 2008: 20-21);

A, B ve C, Y kalite karakteristiğine etki eden 3 farklı faktör olsun. Bu faktörlere ait veri değerleri yukarıda verilmiş ve anlatılan yöntemle hesaplama tablosu doldurulmuştur. Buna göre faktör etkileri hesaplanarak tablonun en altında sıra numarası verilmiştir. Bundan sonraki aşamada etki değerlerinin analiz edilmesi için varyans analizi yerine “Normal Olasılık Grafiği (NOG)” yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde kullanılan normal olasılık grafik kâğıdının yatay eksen, etki değerleri için, dikey eksen ise sıra numaraları için kullanılır. Bu 7 nokta grafiğe işlenir ve “0”a en yakın üç - dört nokta ele alınarak, bu noktalardan uzaklığı en az olan bir doğru çizilir. Etkilerin istatistiksel önemliliği çizilen doğrulara göre belirlenir. Önemli noktalar ya grafiğin alt tarafında doğrunun solunda, ya da grafiğin

üst tarafında doğrunun sağında kalan noktalardır. Bu kriterlere göre bu örnek için B ve AB etkilerinin istatistiksel olarak önemli oldukları ortaya çıkmaktadır (Şirvancı, 1997: 32).

Tablo 10: Örnek Veri Değerleri

Standart sıra	A	B	C	Gözlem değeri, Y
1	-	-	-	25
2	-	-	+	21
3	-	+	-	44
4	-	+	+	43
5	+	-	-	38
6	+	-	+	31
7	+	+	-	40
8	+	+	+	36

A, B ve C, Y kalite karakteristiğine etki eden 3 farklı faktör olsun. Bu faktörlere ait veri değerleri yukarıda verilmiş ve anlatılan yöntemle hesaplama tablosu doldurulmuştur. Buna göre faktör etkileri hesaplanarak tablonun en altında sıra numarası verilmiştir. Bundan sonraki aşamada etki değerlerinin analiz edilmesi için varyans analizi yerine “Normal Olasılık Grafiği (NOG)” yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde kullanılan normal olasılık grafik kâğıdının yatay eksen, etki değerleri için, dikey eksen ise sıra numaraları için kullanılır. Bu 7 nokta grafiğe işlenir ve “0”a en yakın üç - dört nokta ele alınarak, bu noktalardan uzaklığı en az olan bir doğru çizilir. Tablo 12’de de görüleceği gibi etkilerin istatistiksel önemliliği çizilen doğrulara göre belirlenir. Önemli noktalar ya grafiğin alt tarafında doğrunun solunda, ya da grafiğin üst tarafında doğrunun sağında kalan noktalardır. Bu kriterlere göre bu örnek için B ve AB etkilerinin istatistiksel olarak önemli oldukları ortaya çıkmaktadır.

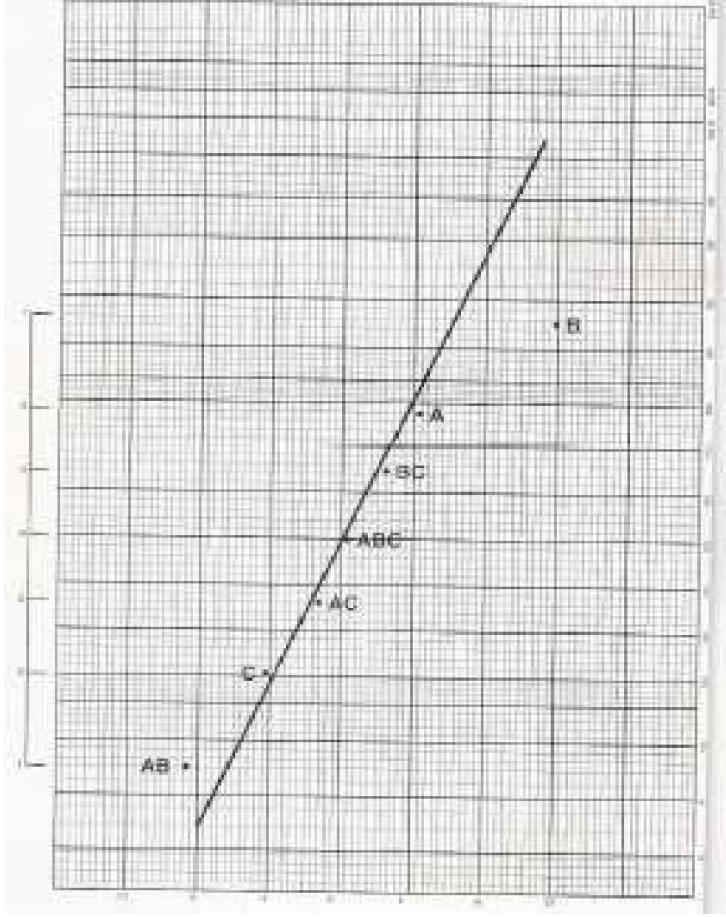
Tablo 11: Hesap Tablosu

Standart Sıra	Gözlem Değeri	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	25	25		25		25			25		25		25	25	
2	21	21		21			21		21	21		21			21
3	44	44			44	44		44			44	44			44
4	43	43			43		43	43		43			43	43	
5	38		38	38		38		38		38			38		38
6	31		31	31			31	31			31	31		31	
7	40		40		40	40			40	40		40		40	
8	36		36		36		36		36		36		36		36
Top.	278	13	14	11	16	14	13	15	12	14	13	13	14	13	13
		3	5	5	3	7	1	6	2	2	6	6	2	9	3
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ort.	34.75	33.25	36.25	28.75	40.75	36.75	32.75	39.00	30.5	35.5	34.0	34.0	35.5	34.75	34.75
Etki		3.0		12.0		—4.0		—8.5		—1.5		1.5		0.0	
SIRA		6		7		2		1		3		5		4	

Diğer yandan A noktası doğrunun tam üstünde yer alıyor ve C'nin doğrudan uzaklığı fazla değildir. Dolayısıyla B ve AB dışındaki faktörler önemsizdir.

Bu yöntemde doğrunun çiziminde ve önemli etkenlerin belirlenmesinde her zaman bir miktar sübjektivite rol oynamaktadır. Bu nedenle çok sayıda faktör ve etkileşimin söz konusu olduğu daha kompleks problemlerde hesap tablosu yöntemi yerine alt bölümlerde yer verilecek varyans analizi yöntemi tercih edilmelidir.

Tablo 12: Normal Olasılık Grafiği



2^4 faktör L_{16} deneyinde ise 4 adet ana etki, 6 adet iki faktör etkileşimi, 4 adet üç faktör etkileşimi ve 1 adet dört faktör etkileşimi vardır.

İKİNCİ BÖLÜM

TAGUCHI YÖNTEMİ

2.1. TAGUCHI DENEY TASARIMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Japonya'nın kalite konusunda yaptığı büyük atılımlarda katkısı olan kişilerden bir tanesi de, özellikle 1940'lardan bugüne kadar kalite konusunda birçok çalışma yapan Dr. Genichi Taguchi'dir.

Dr. Taguchi Japonya'da endüstriyel ürün ve proses geliştirmesinde önemli çalışmalar yapmış olan bir mühendistir. Deney tasarımı ile ilgili çalışmaları vardır. Taguchi, Ronald Fisher'in geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, İkinci Dünya Savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalardaki başarısıyla adını dünyaya duyurmuştur. Projenin amacı ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sistemin aynısının Japonya'da kurulmasıydı. Ancak Nippon telefon ve telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin %2'si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin edilmekteydi. Dr. Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metotların standardize edilmesini ve faktöriyel tasarımların kullanılmasını önermiş ve projenin sadece 4 yılda bitirilmesini sağlamıştır. Bu olay Taguchi'nin tanınmasını sağlamıştır Robust tasarımı geliştiren ve birçok ürünün geliştirilmesinde kullanan Taguchi 1962'de kalite alanındaki en önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülüne layık görülmüştür (Şirvancı, 1997: 87).

1970'li yıllara kadar deneysel tasarımın temel prensipleri batıda pek fazla bilinmez iken Japonya'da oldukça yoğun kullanım alanına sahipti. 1980'li yıllardan itibaren Taguchi'nin kalite ve kalite geliştirmeye ilişkin görüşleri Batı Endüstrisinde büyük ilgi çekmektedir. 1984 yılında da Ford Otomotiv Şirketi Taguchi metotlarının tartışıldığı bir dizi seminer ve konferans düzenlemiştir. Bu tarihten itibaren Taguchi metotlarına olan ilgi ve tartışmalar artmış ve bu konuyla ilgili birçok yeni fikirler makalelerle dergilerde yayınlanmıştır (Okudan, 1995: 98 – 100).

Dr. Taguchi geleneksel hata denetleme yaklaşımlarında ciddi eksikler olduğunu tespit etmiş ve deney tasarımı yöntemlerinde başarılı olarak kullanılan, belirli bir sistematığe sahip ve temeli istatistik yöntemlerine dayanan yeni bir yöntem geliştirmiştir.

Taguchi'nin geliştirdiği yöntem, kalite ile uğraşan bilim adamlarının süregelen çalışmalarından farklı bir yöntemdir. Taguchi'ye göre kalite, ürün ve prosesteki değişkenliğin azaltılarak hedef değere yaklaştırılması ve buna bağlı olarak tüketici gereksinimlerinin optimum düzeyde karşılanmasıdır (Hamzaçebi, 2000: 54 – 56). Taguchi Yöntemi, kalite tanımına değişik bir bakış açısı getirmiştir. Toplam Kalite Kontrolün uygulanmasını desteklemek amacıyla geliştirilmiş olan Taguchi metotları spesifik bir amaca ulaşmak için en iyi kalite karakteristiği değerlerini elde etmede deneysel tasarım tekniklerinin kullanıldığı bir yaklaşımdır. Kalite mühendisliği olarak da anılan bu yaklaşım, tasarım kalitesi ve kalite-maliyet konularını analiz etmektedir. Taguchi metotları deneysel tasarımın yalnız istatistiksel bir uygulaması olmayıp aynı zamanda istatistiksel deney tasarımını güçlü bir mühendislik aracına çevirmiştir (Roy, 1990: 79).

Taguchi'nin kalite anlayışı ile geleneksel kalite anlayışı arasındaki en önemli farklılıklar tablo 13'deki şekilde sıralanabilir.

Tablo 13: Geleneksel Kalite Anlayışı Ve Taguchi'nin Kalite Anlayışı Arasındaki Farklar

Geleneksel Kalite Anlayışı	Taguchi'nin Kalite Anlayışı
❖ Kalite, maliyeti arttırır.	❖ Kalite, maliyeti düşürür.
❖ Kalite, kontrolle sağlanır.	❖ Kalite, tasarım aşamasında sağlanır.

Kaynak: Canıyılmaz, 2001: 97.

2.2. TAGUCHI DENEY TASARIMI YÖNTEMİNİN FELSEFESİ

Taguchi, kalite kontrolünün sadece üretim esnasında değil, aynı zamanda üretim öncesinde de önemini vurgulayarak, deney tasarımı ve analiz tekniklerini daha da geliştirmiştir. Taguchi'nin tam ve bütünlük sistemi, dünyada üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemekte, bu spesifikasyonlara göre tasarım geliştirmekte ve ürünün ya da üretim sürecinin bu spesifikasyonlara göre gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır (Barker, 1990: 13). Ayrıca Taguchi'ye göre ürün kalitesi ya da kalitesizliği ürünün müşteriye teslim edilmesinden sonra oluşan toplumsal kayıptır. Taguchi felsefesi ürün kaybını önlemeye yönelik çalışmalar doğrultusunda şekillenmektedir. Ürün, üretim sürecinde karşılaşılabilecek kontrol edilemeyen çevresel etkenlerden etkilenmeyecek kadar sağlam olmalıdır.

Taguchi yaklaşımını diğer lider kalite uzmanlarının yaklaşımlarından ayıran en önemli özelliklerden birisi; Taguchi'nin kalitenin yönetim felsefesi ya da istatistiğinden ziyade, teknik tarafıyla ilgilenmesidir. Ayrıca, Taguchi deney tasarımı, ürünleri gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı hale getirmek için temel bir araç olarak kullanmaktadır. Başka bir deyişle, Taguchi deney tasarımı, ürün ve üretim süreci kalite özelliklerindeki değişkenliğin etkilerini azaltmak için bir araç olarak görmektedir. Deney tasarımının ilk uygulamaları değişkenliğin etkilerini göz ardı ederek, ortalama ürün performans özelliklerini hep eniyilemeye çaba göstermiştir (Kağrıoğlu, 1998: 43).

Taguchi'nin görüşüne göre kalite geliştirme süreklilik arz eden ve bunun için devamlı hedef değer çevresindeki değişkenliğin azaltılması gereken bir çalışmadır. Üzerinde çalışılan ürün, hedef değerden farklı ortalama değere sahip bir dağılım gösterebilir. Kalite geliştirmede birinci adım, olabildiğince ortalaması hedef değere yakın ana kütle dağılımı elde etmektir.

Taguchi yöntemini anlamak için, ilk olarak Taguchi'nin oluşturduğu kalite anlayışının temellerini oluşturan yedi temel fikri anlamak gerekmektedir. Bu fikirler, aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kackar, Shoemaker, 1986: 41).

- Üretilen bir ürünün kalitesi o ürünün kullanımı sırasında toplumda meydana getirdiği kayıpla ölçülür.

Taguchi'ye göre bir ürünün fabrikadan çıkıp müşteriye ulaşmasından sonra meydana gelen olumsuzluklar toplumsal kayıp olarak adlandırılır. Sözü edilen toplumsal kayıp; ürünün kullanım amacına, dolayısı ile tüketici gereksinmelerine uygunsuzluğu, kendisinden beklenen performans düzeyine ulaşmaması ve kullanımı sırasında ortaya çıkan zararlı yan etkilerden kaynaklanmaktadır. Bu zayıf performansın neden olduğu tüm bu kayıplar söz konusu ürünün kalite düzeyini belirlemektedir. Tüm bunların engellenebilmesi için ürün tasarımından itibaren değişkenliklere karşı duyarsız ürün üretilmelidir. Ayrıca bu kayıp ürünün talebini etkileyen önemli bir faktördür. Toplumsal kayıp ne kadar küçük olursa talep o kadar artacaktır.

- Bir işletmenin pazarda kalabilmesi için sürekli olarak kaliteyi geliştirip maliyeti azaltması gerekmektedir.

Çalışmaları sonucunda gereken kar oranını elde edemeyen firmalar varlığını sürdüremeyeceklerdir. Serbest piyasada satış fiyatının oluşmasında rakip firmaların benzer ürünlerinin satış fiyatı ile piyasa koşulları etkili olmaktadır. Bu nedenle bir işletmenin karını belirleyen en önemli faktörler işletmenin pazar payı ile üretim sürecidir. Pazar payını arttırmanın da en önemli yolu pazara, uygun fiyatta ve kaliteli ürünler sunabilmektir. Bu yüzden kalite önemlidir. Varlığını devam ettirebilen işletmeler, hiçbir zaman kalitesini yeteri kadar fazla, üretim maliyetini de yeteri kadar az olarak görmeyen işletmelerdir (Altınbilek, 2001: 51). Taguchi, deney tasarımını kalite maliyetlerini azaltmak için de kullanmaktadır. Taguchi üç tür kalite maliyeti tanımlamaktadır: Araştırma ve geliştirme maliyetleri, üretim maliyetleri ve yönetim maliyetleri. Bu üç tür maliyet, deney tasarımının en iyi şekilde uygulanmasıyla, azaltılabilir.

- Kalite geliştirme programı sürekli olarak ürün performans karakteristiklerinin hedef değerlerinden olan sapmalarını azaltmayı amaçlamalıdır.

Bir ürün için, performans karakteristikleri belirlenip ölçülmediği sürece o ürünün kalitesinin iyileştirilmesi zordur. Performans karakteristikleri değişkenlik gösterebilen büyüklüklerdir. Bir ürünün kalitesinin iyileştirilmesi sürecinde bütün kalite karakteristiklerinin ayrı ayrı iyileştirmeye çalışılması pratik bir yaklaşım değildir. Yapılması gereken ürünün birincil kalite karakteristiklerinin iyileştirilmesidir.

Performans karakteristiği, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli ve belirleyici olan özelliklerdir. Performans karakteristiğinin ideal değeri 'hedef değeri', performans karakteristiğinin bu ideal değeri sapmasına da 'performans sapması' denilmektedir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 209). Bu sapma küçüldükçe ürünün kalitesi artar. Ürün performans karakteristiğinin ölçümlerinin anlamlı ve kullanılabilir olması için bu ölçümlerin sürekli olarak yapılması gerekir. Ancak bu şekilde kalitedeki küçük değışikliklerin saptanması mümkün olur.

- Bir ürünün performansındaki sapmanın, tüketici üzerinde meydana getirdiği kayıp, söz konusu performans karakteristiğinin hedef değeri sapma miktarının karesi ile doğru orantılıdır.

Bu ilişki Taguchi tarafından geliştirilen kayıp fonksiyonu olarak tanımlanmakta olup eşitlik 11'de verilmektedir.

$$L(Y) = k(Y - m)^2 \quad (11)$$

$L(Y)$ = Ürünün kullanım ömrü içinde kalite karakteristiğinin hedef değeri sapmasının neden olduğu parasal kayıptır.

k = Maliyet katsayısı

Y = Ölçülen kalite karakteristiğinin değeri

m = Hedef değeri

İkinci dereceden kayıp fonksiyonuna göre, hedeften az sapmalar müşteri için kayba neden olur, fakat hedeften büyük sapmalar çok daha büyük kayıplara neden olur.

- Ürün kalitesi, büyük ölçüde ürün tasarımı ve üretim sürecince belirlenebilmektedir.

Ürün geliştirme süreci birbirini izleyen üç aşamadan oluşmaktadır. Ürün tasarımı, süreç tasarımı ve imalat aşamasıdır. Bu aşamalar birinin çıktısı diğeri

girdisi olan birçok basamaktan oluşmaktadır. Bu nedenle kaliteyi arttırmanın ve ürün maliyetini azaltmanın en etkili yolu ilk aşama olan tasarım aşamasının iyi etüt edilerek, sonraki aşamalara daha verimli bir girdi vermektir.

- Bir ürünün performansındaki sapmayı azaltmak için, ürünün performans karakteristiğinin üzerinde etkili olan parametrelerin etkilerini kontrol altına almak gerekir.

Taguchi'ye göre kalite kontrol çalışmaları iki ayrı kısımda yapılır. Bunlar, off-line (çevrimdışı) ve on-line (çevrimiçi) kalite kontroldür. Özellikle çevrim dışı kalite kontrol çalışmalarıyla, yani üretime geçmeden önce yapılacak kalite geliştirme çalışmalarıyla ürün veya süreç üzerinde etkili olan parametrelerin performans karakteristiği üzerindeki negatif etkilerini kontrol altına almak mümkündür (Altınbilek, 2001: 61 – 63).

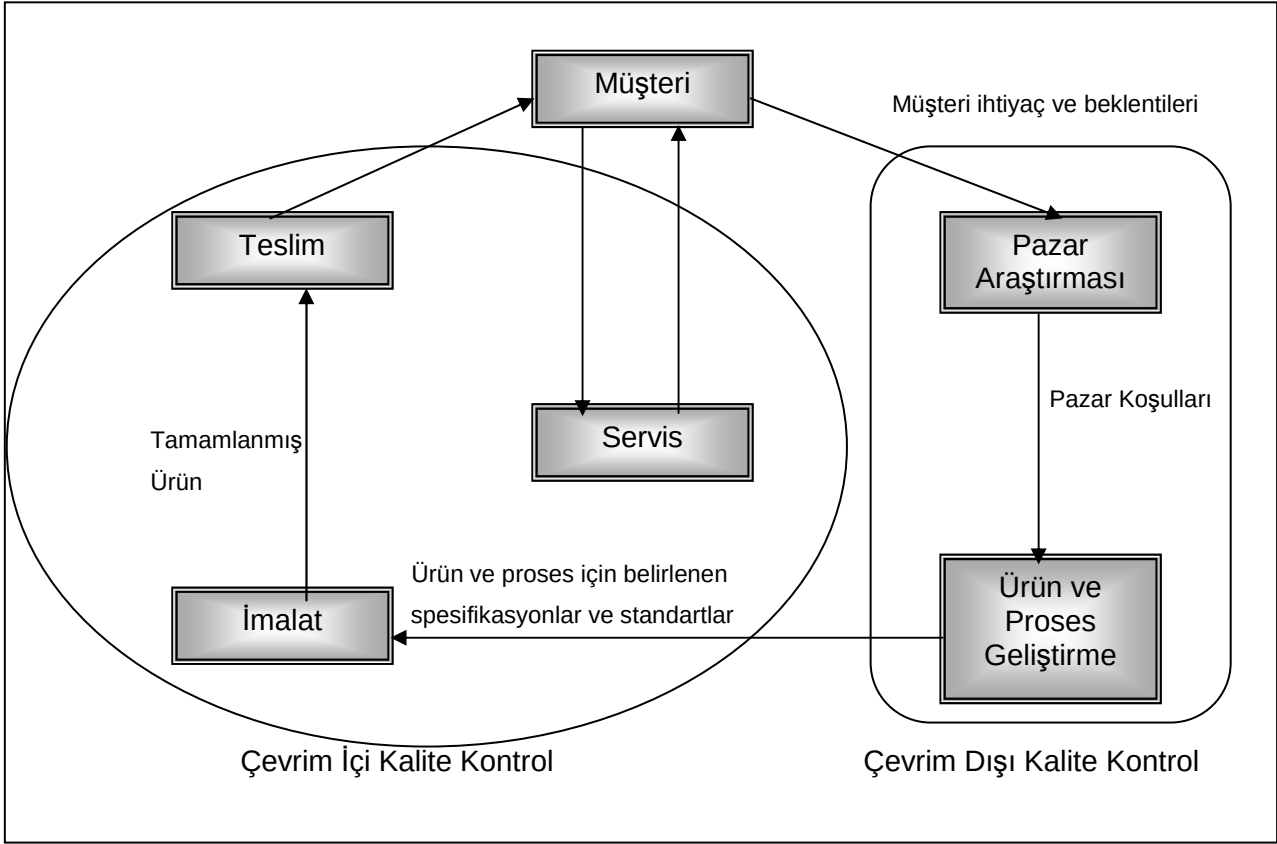
- Ürün karakteristiklerindeki değişimi azaltan parametre kombinasyonları tanımlamak amacıyla deneysel tasarım yaklaşımı kullanılabilir.

İstatistiksel deney tasarımları, performans değişkenliğini azaltan ürün ya da üretim süreci faktör değerlerinin saptanmasında kullanılabilir. Böylece, kalite, verimlilik, performans, güvenilirlik ve kar gelişir. İstatistiksel deney tasarımları günümüzün stratejik kalite silahlarıdır.

2.3. TAGUCHI YÖNTEMİNDE KALİTE KONTROL

Kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmalar Taguchi tarafından şekil 9'da görüldüğü gibi çevrim içi kalite kontrol ve çevrim dışı kalite kontrol olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Şekil 9: Taguchi'nin Üretim-Kalite Çemberi



Kaynak: Şirvancı, 1997: 14.

Çevrim İçi Kalite Kontrol: Ürünün üretim sırasındaki ve üretim sonrasındaki faaliyetleri kapsar. Üretimine başlanan ürünün, muayene yöntemleri ile kalitesinin sağlanmaya çalışılması aşamasıdır. Bu kontrol çalışmaları sırasında istenilen spesifikasyon değerleri dışında kalan ürünlerin ayıklanarak, ıskartaya ayrılması veya düzeltme işlemlerine tabi tutulması aşamasıdır. Aynı zamanda müşteriye iletildikten sonra kusurlu olarak geri gelen ürünün servis ve bakım aşamasıdır.

Çevrim içi kalite kontrol, proses tasarımı sırasında geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımını sırasında belirlenen spesifikasyonlar içinde ürün üretmeyi gerektirir.

Taguchi'ye göre çevrim içi kalite kontrol iki aşamadan oluşur (Baynal, 2003: 123):

1. Üretim Kalite Kontrol Yöntemleri: Bunun üç şekli vardır.

- Proses Teşhisi ve Ayarlama: Proses gerekli aralıklarla gözlenir. Gerekli durumlarda düzeltmeler yapılır.
- Öngörü ve Düzeltme: Düzenli aralıklarla proses parametreleri ölçülür. Proses hedef değerden uzak olduğu zaman doğru durum ayarlaması yapılır.
- Ölçme ve Eylem: Muayene ile kalitenin sağlanmasıdır. Her parça muayene edilir. Hatalı Parçalar yeniden işlenir ve ıskartaya ayrılır. En pahalı kalite kontrol şeklidir.

2. Müşteri İlişkileri: Hatalı ürünlerin değiştirilmesi veya tamir edilmesi aşamasıdır. Bu aşamada ürünle ilgili müşteri algıları hakkında geri bildirim sağlanmalıdır.

Çevrim Dışı Kalite Kontrol; Yeni geliştirilen bir ürün için pazar araştırması ile ürün veya üretim prosesinin geliştirilmesi, var olan bir kalite probleminin çözümü için ise problemin tespiti ve problemin ortadan kaldırılması sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretim başlamadan önce gerçekleştirilen tasarım faaliyetleridir (Şirvancı, 1997: 77 – 79)

Çevrim dışı kalite kontrol yöntemleri, ürün ve proses üzerinde, kalite ve maliyetlerin kontrolü için teknik destek çalışmalarıdır ve üretim prosesinin dışında kullanılan istatistiksel deney tasarımı ve güvenilirlik testleri gibi yöntemleri içerir. Çevrim içi kalite kontrol disiplini, ürün geliştirme ve proses mühendisinin işini hep aynı kalitede yapma ve aynı zamanda en düşük maliyetle kaliteli ürün ve proses üretilmesini esas alır (Barker, 1986: 32)

Taguchi'nin çevrim dışı kalite kontrol yönteminin diğerlerinden farklı özelliği ortogonal diziler kullanarak deneysel tasarım ve sinyal/gürültü oranının analizidir. Ortogonal diziler sayesinde proses ortalaması ve varyansı üzerine etki eden birçok

eşzamanlı ve ekonomik olarak incelemek olanaklıdır. Bunların yapılmasının amacı: en uygun proses koşullarının robust ve düzenli olmasını sağlamaktır. Bunun anlamı da en düşük proses varyansıdır (Reddy vd., 1998: 650).

Kalite kontrol çalışmalarının etkili olabilmesi için ürün kalitesinin izlenmesinden ve değerlendirilmesinden daha çok, çevrim dışı kalite kontrol yöntemleri olarak bilinen ürün ve proses tasarımı çalışmalarına yer verilmelidir. Çevrim dışı kalite kontrol yöntemlerine örnek olarak; duyarlılık, prototip, hızlandırılmış ömür ve güvenilirlik testleri verilebilir (Peşkircioğlu, 1990: 68).

Tablo 14: Kalite Mühendisliği Bileşenleri ve İçerikleri

ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	1.Aşama Ürün Tasarımı	<u>Konular</u> 1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenmesi 2. Müşteri ihtiyaç ve beklentisini karşılayacak ve aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak imal edilebilecek ürünün tasarımı.	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
	2.Aşama Süreç Tasarımı	<u>Konu</u> İmalat için açık ve yeterli standart, spesifikasyon, yöntem, üretim araçlarının tasarımı.	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre Tasarımı 3. Tolerans Tasarımı
ÇEVİRİM İÇİ KALİTE KONTROL	1.Aşama Üretim	<u>Konu</u> Ürünün, daha önce ürün tasarım ve süreç tasarım aşamalarında belirlenen standart ve spesifikasyonlara göre üretilmesi.	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Süreç Teşhisi 2. Ayarlama 3. Muayene ve ıskartaya ayırma
	2.Aşama Müşteri İlişkileri	<u>Konu</u> Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve ürünün kullanımı sırasında çıkan problemlerle ilgili bilginin, ürün ve süreç tasarımının gelişmesi için kullanımı.	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Tamir, değiştirme 2. Geri besleme bilgisi 3. Ürün, süreç spesifikasyon dizaynının değiştirilmesi

Kaynak: Taguchi, 1990: 45.

Çevrim dışı kalite kontrol;

- Müşteri ihtiyaçlarını ve beklentilerini doğru olarak tanımlamak,
- Müşteri beklentilerini karşılayacak bir ürün tasarlamak,
- Sürekli ve ekonomik olarak üretilebilir bir ürün tasarlamak,

- Üretim için açık ve yeterli standartlar, spesifikasyonlar, prosedürler ve donatılar geliştirmek ile ilgilenir.

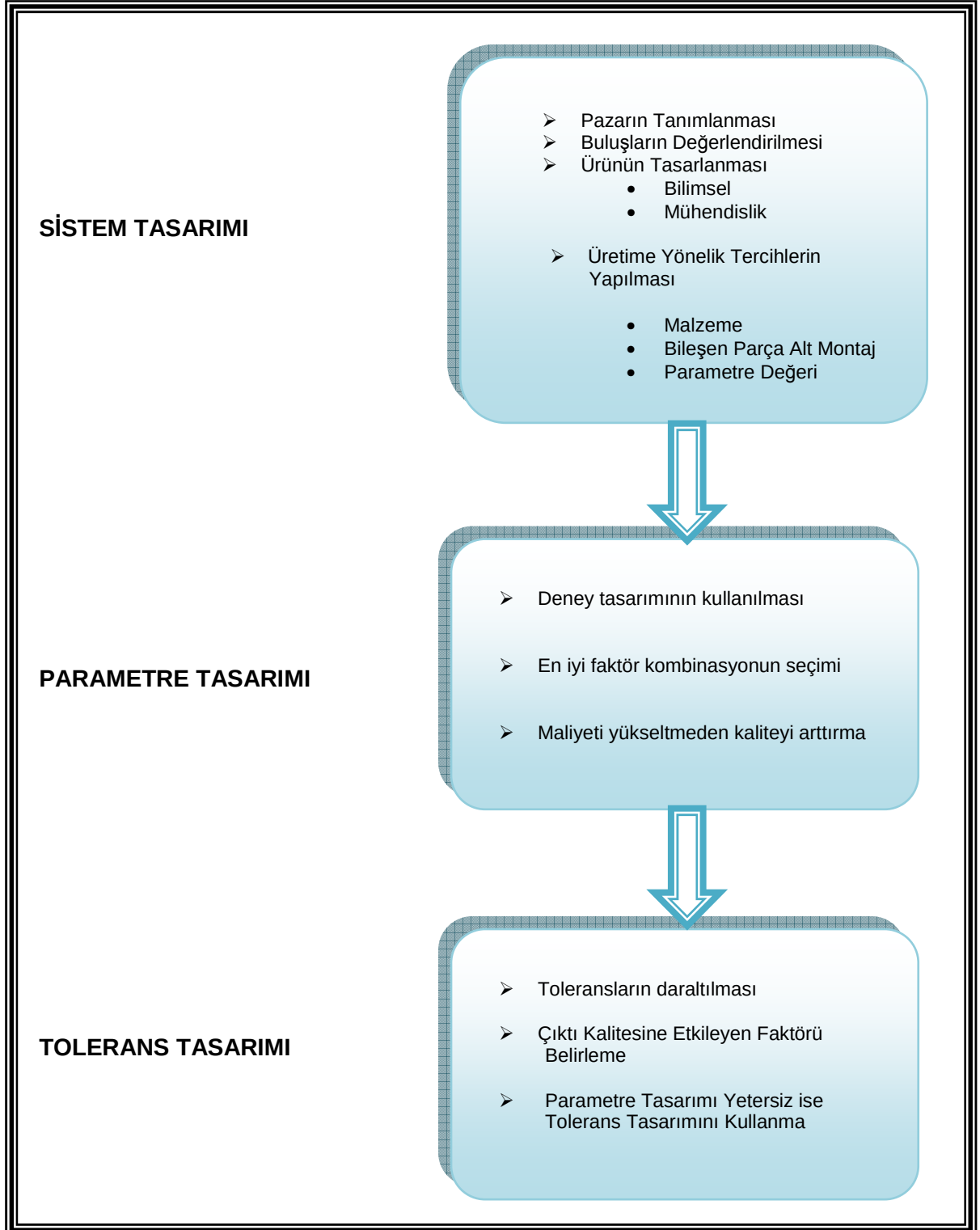
Taguchi çevrim dışı kalite kontrolü ürün tasarımı ve proses tasarımı olmak üzere iki aşamaya ayırmaktadır. Ürün tasarımı aşamasında, yeni bir ürün geliştirilir veya mevcut ürünün tasarımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır. Buradaki amaç müşteri isteklerini karşılayacak ürünü tasarlamaktır. Süreç tasarımı aşamasında ise, ürün tasarımı aşamasındaki gereksinimleri karşılayacak üretim prosesleri geliştirilir (Canıylmaz, 2001: 32–45). Tablo 14’de bu aşamalar ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Taguchi çevrim dışı kalite kontrolün her iki aşamasında da ürünün kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir (Pignatiolle, Burman, 1985: 203).

- Sistem Tasarımı (fonksiyon belirleme)
- Parametre Tasarımı (hedef belirleme)
- Tolerans Tasarımı aşamalarıdır (tolerans belirleme)

Bu aşamalara ilişkin bilgiler ve her tasarımın ilgilendiği ayrı ayrı konular şekil 10’da gösterilmektedir.

Şekil 10: Taguchi Metodunun Sistematiği



Kaynak: Koç, 2003: 98.

2.3.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, prosesin ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından ürünün istenen fonksiyonlarının sağlanabilmesi için teknolojiler tasarlanır ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçilir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 221).

Sistem tasarımı müşterinin gereksinimlerinin ve üretim koşullarının anlaşılmasını gerektirir. Bir ürün fonksiyonunu yerine getirecek şekilde tasarlanmadıkça, müşteri gereksinimlerini tatmin edemez. Aynı şekilde üretilebilirlik için tasarım ve üretim koşullarının doğru analiz edilmesi gerekir (Kackar, 1985: 181).

Üretilmesi düşünülen ürün ile ilgili pazarın tanımlanması, konu ile ilgili yapılan yeni buluşların değerlendirilmesi, mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Sistem tasarımında hem tüketici gereksinimlerinin hem de imalat süreci gereksinimlerinin ve üretim prosesinin çevresel faktörlerinin anlaşılması gerekir. Bir ürün, tüketici gereksinimlerine göre tasarlanmamışsa pazarlama aşaması zor olacaktır. Benzer şekilde imalat gereksinimlerini karşılayamıyorsa ürünün üretilmesi mümkün olmaz (Çelik, 1993: 132 – 136).

Sistem tasarımı daha çok kavramsal yönlü bir aşama olduğu için mühendislik deneyimi gerektirir ve istatistiksel yöntemlerin bu aşamadaki rolü azdır.

Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarına yatırıma hazırlık aşaması da denilebilir. Burada temel amaç üretim aşamasında spesifik limitler ve toleranslar dahilinde en küçük maliyetle mamul üretimini gerçekleştirmektir. Bunun için Pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 223 – 225).

2.3.2. Parametre Tasarımı

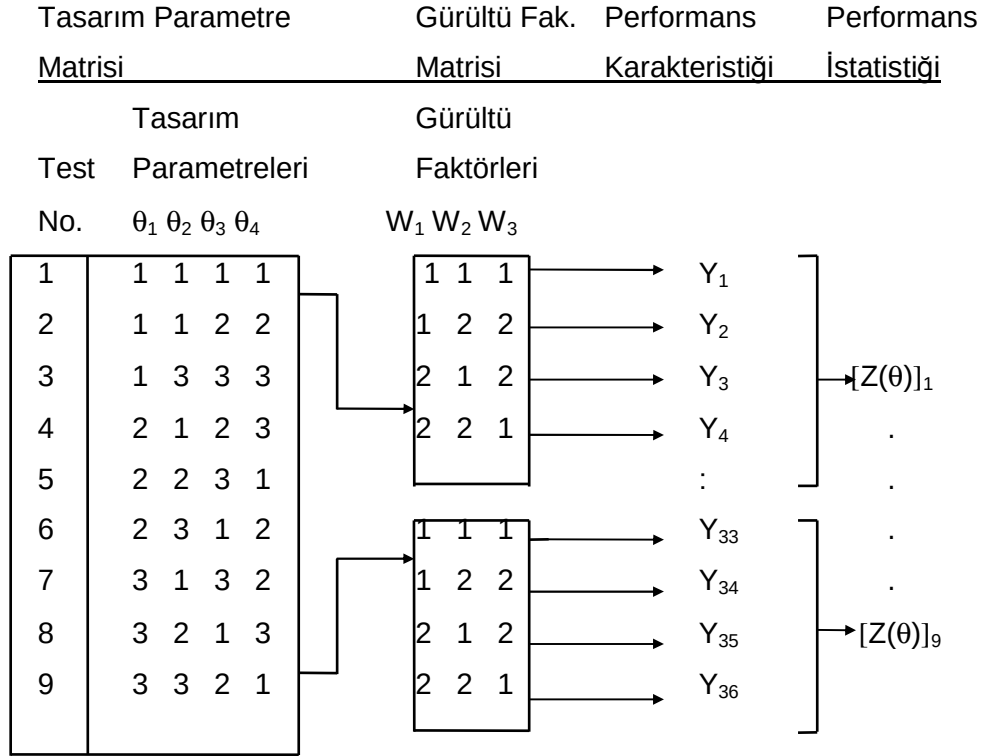
Taguchi'ye göre ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılacağı aşama hem ürün hem de proses tasarımı için parametre tasarımı aşamasıdır. Parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, boyutlar, yüzey örnekleri gibi optimal değerlerin belirlenmesi anlamına

gelmektedir.

Parametre tasarımının gerçekleştirilmesindeki asıl amaç, üründe ve proseste değişkenlik (hedef değerden olan farklılık) meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin optimum seçilerek ürün ve prosesteki değişkenlikleri en aza indirmektir (Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 253). Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına robust tasarım demektedir. Robust tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında parametre tasarımı Taguchi yönteminin temel adımı olarak yorumlanabilir.

Bir parametre tasarım deneyi iki kısımdan oluşur. Bunlardan biri tasarım matrisi diğeri de gürültü matrisidir. Tasarım matrisinin sütunları, tasarım parametrelerini; sütunlardaki yazan değerler tasarım parametrelerinin test ayarlarını ve matrisin her bir satırı bir ürün tasarımını gösterir. Gürültü matrisinin sütunları, gürültü faktörlerini ve matrisin satırları gürültü faktörlerinin seviyelerinin farklı kombinasyonlarını göstermektedir. Tamamlanmış bir parametre tasarım deneyi şekil 11’de görüldüğü gibi tasarım ve gürültü matrisinin kombinasyonundan oluşmaktadır. Eğer tasarım matrisi “m” satırda, gürültü matrisi de “n” olarak sütunda gösterilirse birleştirilmiş parametre tasarım deneyinde toplam satır sayısı $m \times n$ olur. Tasarım matrisinin m satırının her biri için, gürültü matrisinin n satırı, performans karakteristiklerinde n veya daha fazla tekrarlı gözlem sağlar. Tasarım matrisinde her bir deneme performans karakteristiğinde tekrarlı gözlemler, performans istatistiği denen kriteri hesaplamak için kullanılır (Kackar, 1986: 25).

Şekil 11: Parametre Tasarım Deneyi Planının Örneği



Kaynak: Saat, 2000: 13.

Taguchi yönteminin başlıca bileşeni parametre tasarımıdır. Ürün parametreleri gürültüye en az duyalı hale gelecek şekilde eniyilenir. Gürültü kontrol edilemeyen tüm tasarım faktörlerini içerir. Parametre tasarımının amacı gürültünün neden olduğu tüm ürün kalite kaybını en küçükmektir (Huang, Tai, 2001: 3).

Parametre Tasarım Prosedürü şu şekilde özetlenebilir:

- Kalite karakteristiğini belirleme: Uygun bir kalite karakteristiği hedef değer olarak belirlenmelidir.
- Etkili faktör ve bu faktörlerin seviyelerini saptama: Deneye kaç tane faktörün dahil edilmesi gerektiği ve her bir faktörün seviyesinin belirlenmelidir.
- Uygun ortogonal diziyi belirleme: Ortogonal dizi belli sayıda satır ve sütundan oluşmaktadır. Her bir sütun deney için etkili faktörlerden birini temsil ederken ve her bir satır etkili faktörlerin toplamını temsil etmektedir.

2.3.3. Tolerans Tasarımı

Bu aşamada, parametre tasarımı ile oluşturulmuş nominal parametre bileşimlerine uygun toleranslar belirlenir. Dar toleransların üretim maliyetini yükseltmesi, geniş toleranslarında performans sapmaları arttırması nedeniyle tolerans tasarımı bu ilişki arasındaki en iyi orta nokta belirlenmesi sorunu vardır. Bu noktanın bulunması tüketicilerin kaliteyi ucuza satın alma istekleri ile üreticilerin kaliteyi ucuza üretme istekleri arasındaki eniyileme probleminin çözümüne benzemektedir (Peşkircioğlu, 1990: 69).

Sistem tasarımını tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı katlanılacak kalite maliyeti ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça üretim maliyetleri artacağı için ürün de daha maliyetli olarak üretilir. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi, daha dar toleransla çalışan teknolojik açıdan daha pahalı tezgahlara ihtiyaç duyulmasıdır. Aksi taktirde, tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları artacaktır (Ross, 1995: 101).

Tolerans tasarımı değişkenlik, performans karakteristiği üzerinde önemli etkiye sahip olan faktörlerin toleransları ve maliyetleri dikkate alınarak hesaplanır. Toleransın dar olması imalat maliyetlerini, geniş olması da performans değişkenliğini arttırır. Parametre tasarımı düşük maliyetli, geniş ölçüde toleransa sahip bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Değişkenliği istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa tolerans tasarımı gündeme gelir (Ross, 1989: 54).

Tolerans tasarımı ürünündeki değişkenliğe katkısı en fazla olan faktörler belirlenir. Böylece bütün performans faktörlerinin toleranslarının sıkı olması yerine önemli bileşenlerin performans faktörlerinin toleransları küçük, diğerlerinin ise normal bırakılması sağlanır. Böylece tolerans tasarımı için maliyeti düşürülür. Tolerans tasarımı aşamasında toplam ürün varyansı üzerinden yapılacak olan tasarımlar hem maliyeti azaltır hem de kayıp fonksiyonu gibi birçok alanda verilerin rahatlıkla kullanılmasına olanak sağlar.

Tolerans tasarımı, faktör varyansı ile ilgilenilen performans karakteristiği varyansı arasındaki ilişki üzerine kuruludur. Bir miktar ilave harcama yapılarak performans karakteristiğinin varyansı azaltılırsa (kalitesi geliştirilirse) performans varyansı da azalacaktır. Sonuçta birim başına olan toplumsal kayıp ta azalacaktır (Ross, 1995: 102 – 105).

Bir ürün veya prosesin kalite karakteristiğini belirleyen iki temel özelliği vardır. Bunlardan birincisi ürünün hammaddesinin kalitesi, diğeri ise imalatı sırasında kullanılan metot ve bileşen parçalarıdır. Bu yüzden tolerans tasarımı aşamasında kullanılacak ölçüm aletlerinin seçimi ve kalibrasyonu önemlidir.

2.4. TAGUCHI KAYIP FONKSİYONU

Taguchi'nin kalite felsefesinin dayandığı temel nokta kayıp fonksiyonudur. Kayıp fonksiyonu, ürünlerdeki kalitesizlikten dolayı meydana gelen tüketici memnuniyetsizliğinin derecesini belirleyen sürekli bir fonksiyondur (Bayrak,1996: 134). Kayıp fonksiyonu, kalitenin parasal açıdan değerlendirilmesini sağlar, buna göre dağılımın orta değeri en az, uç değerleri ise en fazla kayba neden olmaktadır. Kayıp, tüketici memnuniyetsizliği olabileceği gibi üreticiye gelen ilave işçilik, malzeme, enerji ve garanti giderleri de olabilir. Bunların yanı sıra firma adının kötü bir şöhret kazanması ve uzun dönemdeki pazar payındaki azalmalarda kayıp olarak değerlendirilebilir.

Kalite kaybı, bir ürün teslim edildikten sonra topluma yüklenen bir kayıptır. Bu toplumsal kayıp bir ürünün istenilebilirliğini belirler. Burada kaybın az olması ürünün istenilebilirliğini arttırır. Taguchi için toplumsal kayıp kalite maliyetine ilişkin kararları etkiler. Diğer bir deyişle, kalite geliştirme için yapılan yatırımlar, yalnızca işletmede değil, toplumda yaratacağı tasarruflarla karşılaştırılmalıdır. Sonuçta, toplum işletmeyi toplumda sağlayacağı tasarruflara bakarak ödüllendirecek veya cezalandıracaktır (Schonberger, Knod, 1991: 156).

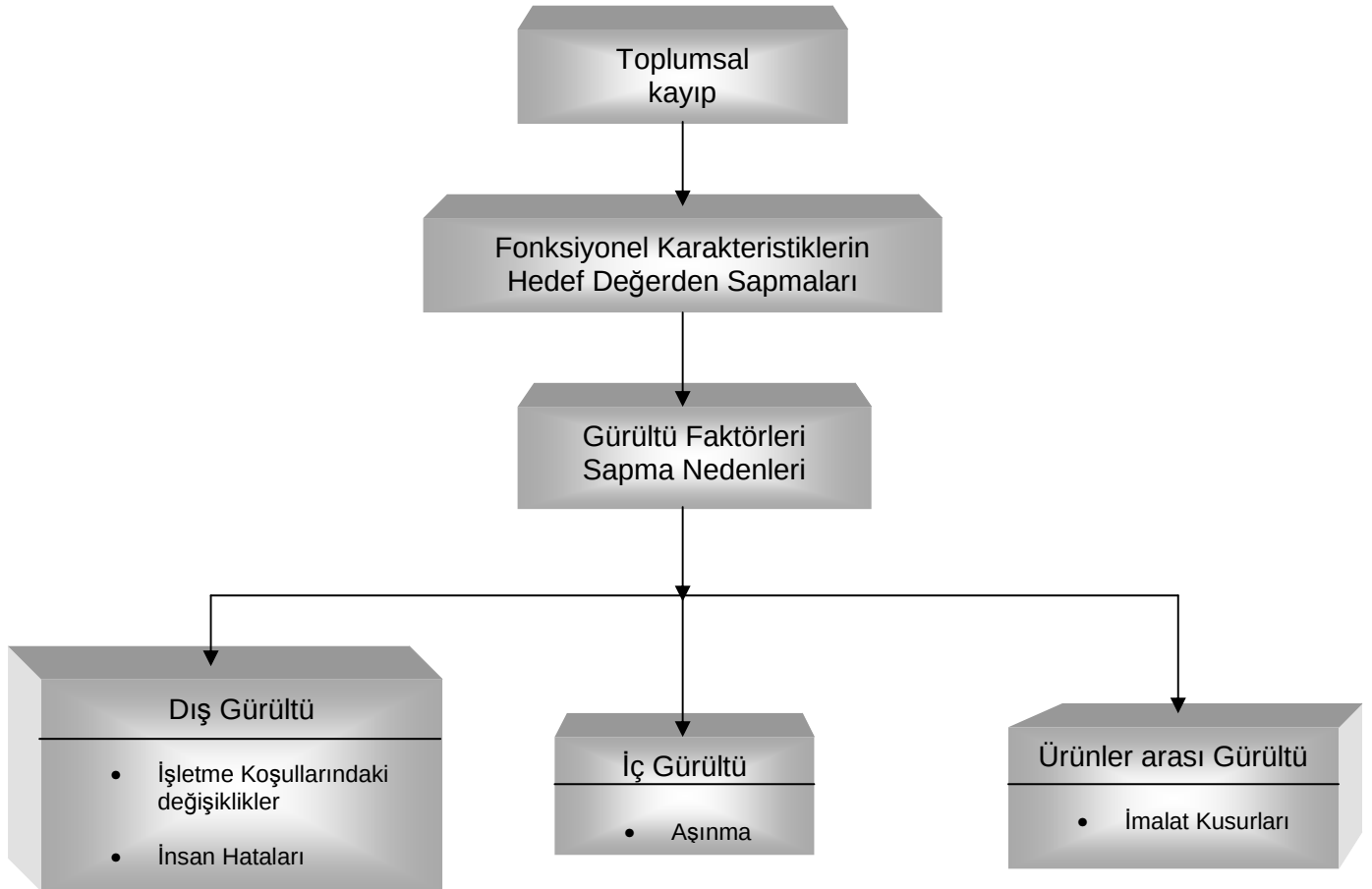
Bir ürünün toplumsal kayıpları şunlardır;

- Müşterilerin kullanım amacına uygunluktaki eksiklik,
- İdeal performansa uymadaki eksiklik ve ürünün sebep olduğu zararın yan etkileridir.

Topluma mal olan zararları minimum yapmak için tek tip ürünlerin üretimine özen gösterilmesi gerekmektedir (Chen, 1999: 904).

Taguchi'nin topluma olan kayıp düşüncesi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

Şekil 12: Topluma Olan Kaybın Yapısı



Kaynak: Byrne, Taguchi, 1987: 20.

Taguchi tarafından önerilen kayıp fonksiyonu ürünün kalitesinin kantitatif olarak ölçülmesini sağlar. Bu yaklaşımda bir ürünün kalite veya fonksiyonel karakteristiklerinin tasarım hedeflerinden sapması halinde ekonomik olarak zarar etmesi beklenir. Diğer bir deyişle son ürünün performansı ölçülen karakteristik parametreleri ile saptanır. Bir ürünün karakteristik parametreleri hedef değerine eşit olması halinde, o ürün en iyi performansı veya sıfır kaybı gösterir. Aksi taktirde parametreler tasarım hedeflerinden saptıkça ürünün performansı bozulacaktır (Lee, Tang, 2000: 1677).

İstenen kalite düzeyinden (hedeften) uzaklaştıkça kalitesizlikten meydana gelen maliyet artacaktır. Ürün performansının güvenilirliği ve sürekliliği azalmasından dolayı en büyük zararı tüketici, dolayısıyla toplum görmektedir (Taguchi, Elsayed ve Hsiang, 1988: 2).

Düşük kalite, tüketiciyi beklentilerini karşılayacak başka ürünler aramaya yöneltecektir. Bu durumda toplumda meydana gelen kayıp aynı zamanda işletmeyi de etkileyecektir. Bu yüzden kalite önemlidir. İşte bundan dolayı ürünle kaliteli veya kalitesiz olarak iki grupta ele alınan bir basamak fonksiyonu değil, sürekli bir fonksiyon ile değerlendirilmelidir.

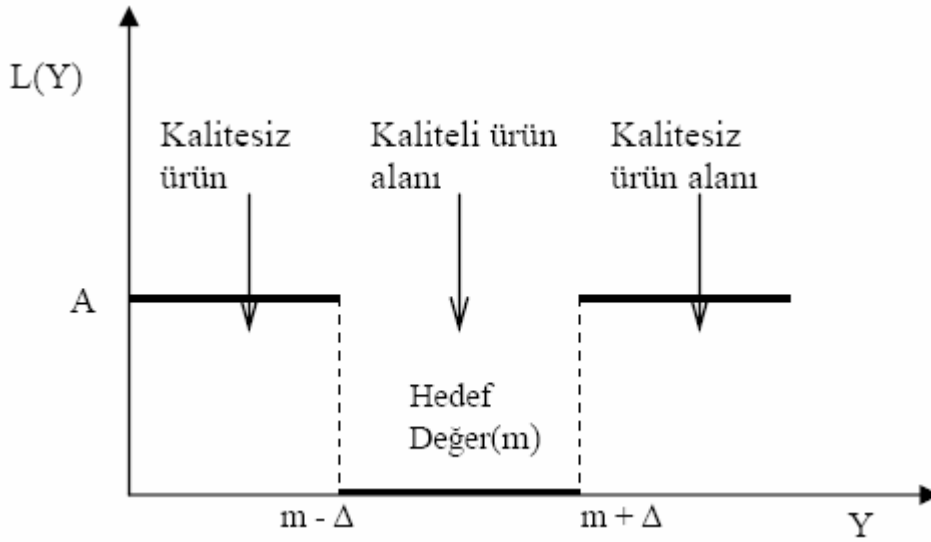
Performans karakteristiğinin (kalite değişkeni) değeri 'Y' ile Y'nin hedef değeri de 'm' ile gösterilsin. Y'nin m'den sapması istenmeyen bir durumdur. Δ gibi bir tolerans olduğunu kabul edilirse ve $|Y - m| > \Delta$ olan ürünler tüketici tarafından kabul edilmiyorsa, tüketici toleransını, 'm - Δ ' ve 'm + Δ ' ise tüketici spesifikasyon sınırını gösterir (Çelik, 1993: 114).

Performans karakteristiği Y olan bir ürünün herhangi bir tüketiciye vermiş olduğu kayıpların parasal değeri L(Y) ile gösterilir ve Y'nin kayıp fonksiyonu olarak adlandırılır. Geleneksel yaklaşımda kayıp fonksiyonunun 12 eşitliğinde olduğu gibi bir basamak fonksiyonu olduğu kabul edilir (Çelik, 1993: 116).

$$L(Y) = \begin{cases} 0, & m - \Delta \leq Y \leq m + \Delta \\ A, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (12)$$

Burada A, tüketicinin eline geçmiş hatalı bir ürünü onarma veya değiştirme maliyetidir. Kalite maliyetini hesaplamadaki geleneksel yöntem, reddedilen ve yeniden işlenen parçaların sayısına dayanır. Şekil 13'de geleneksel kayıp fonksiyonu anlayışına göre alt ve üst sınırlar bir model parametresinin kabul edilebilir sınırlarını göstermektedirler. Belirlenmiş parametrelerin değerleri bu sınırlar arasında ise ürün normalde işlevsel olarak kabul edilir. Toplumsal bir kaybın meydana gelmesi beklenmez ve ürün tüketicilere ulaştırılır. Bununla birlikte, bu sınırların dışındaki bölgede işlevsel bozulma olacak ve ürün ya atılacak ya da kurtarma işlemine tabi tutulacaktır. Geleneksel kalite kontrolün amacı ürünü bu sınırlar içerisinde tutarak üretim sürecini kontrol etmektir (Roy, 1990: 210). Geleneksel kayıp fonksiyonu şekil 13'deki gibi bir grafikte ifade edilebilir.

Şekil 13: Geleneksel Kayıp Fonksiyonu



Kaynak: Çelik, 1993: 115.

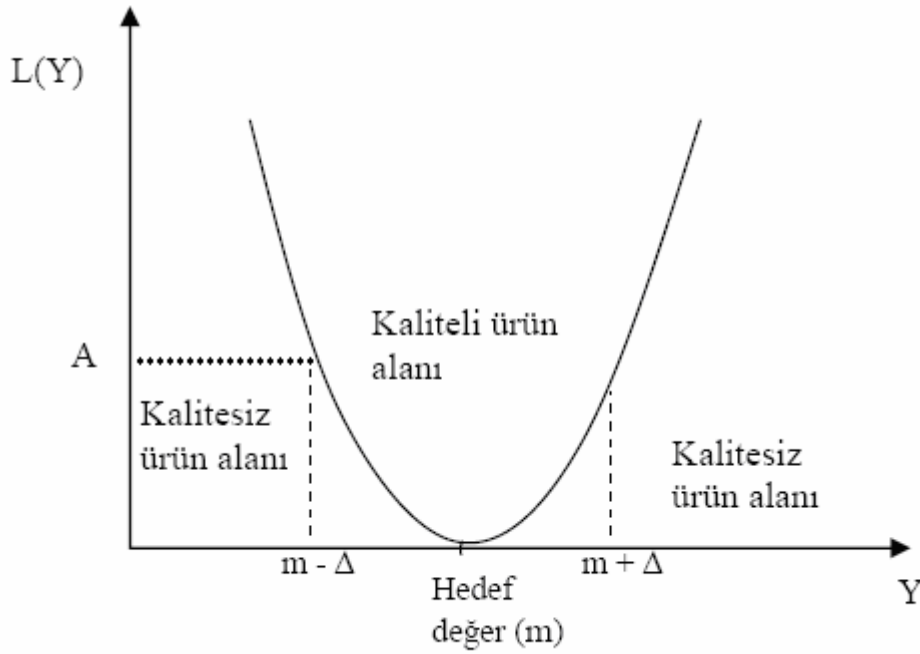
Taguchi'ye göre ise kayıp fonksiyonu eşitlik 13'deki gibi sürekli bir fonksiyon olmalıdır.

$$L(Y) = k(Y - m)^2 \quad (13)$$

Burada $L(Y)$, kalite karakteristiği y , m de bu kalite karakteristiği için hedef değer olduğunda oluşan kalite kaybı olmaktadır, k değeri kalite kayıp katsayısıdır (Pignatiolle, Burman, 1985: 204).

Taguchi'nin kayıp fonksiyonu şekil 14'deki grafikte gösterilmiştir.

Şekil 14: Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu



Kaynak: Ross, 1989: 232.

Burada k , hedeften sapan bir birim ürünü tekrar hedef değerine getirebilmek için üreticinin alacağı önlemlerin birim maliyetini gösterir. Hedeflerin her iki yönde olacak uzaklaşmalarının aynı anlamı taşıdığını dikkate alındığında eşitlik 14 yazılabilir.

Bu durumda eşitlikte, $y = m$ olduğunda formülden de görülebildiği gibi kayıp sıfır olmaktadır, bu durumda kayıp fonksiyonun eğimi de sıfır olmaktadır. y değeri m' den uzaklaştığında başlarda kayıp yavaş yavaş artmakta ama y değeri m' den çok fazla uzaklaştığında diğer bir deyişle y ile m arasındaki sapma çok arttığında kayıp miktarı daha fazla artmaktadır. Eğer " $m + \Delta$ " ile " $m - \Delta$ " de müşteri tolerans limitleri ise ve y değeri bu aralığın dışında ise ürün performansı memnuniyet verici olmamakta ve eğer müşteriye bu ürünün tamiri veya değiştirilmesinin maliyeti A TL ise, bu durumda (Cho, Cho, 2006: 456).

$$k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (14)$$

ve

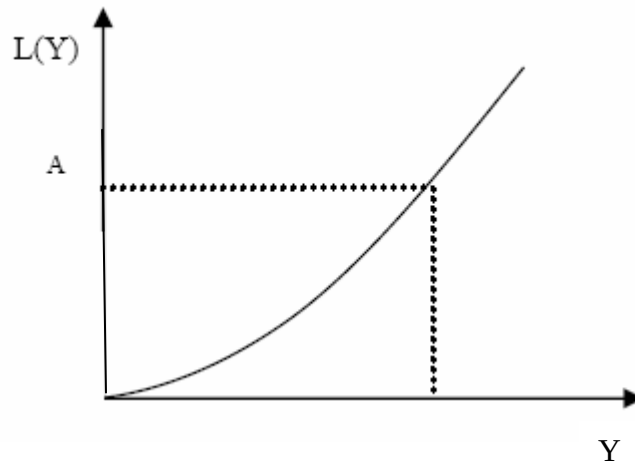
$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} \times (y - m)^2 \text{ dir.} \quad (15)$$

Kayıp fonksiyonunun biçimi, performans karakteristiği (Y)'nin özelliğine göre belirlenir. Y'nin özelliğine göre kullanılan kayıp fonksiyonları bazı durumlarda simetrik, bazı durumlarda simetrik olmayan bir yapı gösterir. Taguchi'nin geliştirdiği kayıp fonksiyonlarından en çok kullanılanları şu şekilde sıralanabilir (Saat, 2000: 14 – 15).

- Hedef değer en iyi: Eşitlik 15'te ifade edilen ve şekil 14'de gösterilen temel kayıp fonksiyonudur.
- En küçük en iyi: Simetrik olmayan bir kayıp fonksiyonu türüdür. Hedef değer m'nin en küçük değer olan '0' değerini aldığını kabul edilirse kayıp fonksiyonu eşitlik 16'daki gibi yazılabilir (Çelik, Burnak, 1993: 118 – 119). Bu durumda fonksiyonun grafiği şekil 15'deki gibi olacaktır.

$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} \times y^2 \quad (16)$$

Şekil 15: En Küçük En İyi Kayıp Fonksiyonun Grafiksel Gösterimi

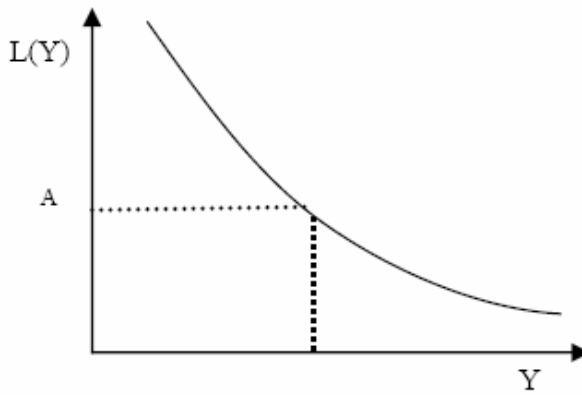


Kaynak: Roy, 1990: 87.

- En büyük en iyi: Bu da simetrik olmayan bir kayıp fonksiyonu türüdür. Burada amaç hedef değerin maksimum (sonsuz) olmasıdır. Burada hedef değerin sonsuz değerini aldığı kabul edilirse, kayıp fonksiyonu eşitlik 17’de gösterildiği gibi yazılabilir (Çelik, 1993: 121 – 124). Bu durumda En büyük en iyi kayıp fonksiyonu şekil 16’da görüldüğü gibi olacaktır.

$$L(y) = A \times \Delta^2 \left(\frac{1}{y^2} \right) \quad (17)$$

Şekil 16: En Büyük En İyi Fonksiyonunun Grafiksel Gösterimi



Kaynak: Roy, 1990: 87.

Kalite kayıp fonksiyonu iki kullanım amacına sahiptir. En önemli uygulaması; bir ürün ya da süreç düzenini en iyilemekle meydana gelecek gelişmelerden sonra tahmini maliyet tasarruflarını hesaplamak, ikinci uygulaması ise, tolerans aralığının tüketici anlayışına dayandırılmasıyla ürünü kullanacak olan nihai üretici ve tüketici toleransını belirlemektir (Maghsoodloo, 1990: 59). Burada tüketici sürekli hedef değerde ürün isterken üretici ise sürekli tolerans sınırları içerisinde ürün üretmek istemektedir. Her iki grup da kendi açılarından olaya bakmaktadırlar. Oysaki kayıp fonksiyonu burada üretici ve tüketici için toplam toplumsal maliyeti değerlendirmekte, eğer hedef değerden sapmaları önlemenin maliyeti bu sapmalar dolayısıyla tüketicinin kaybından fazla olarsa bu önleme işlemini yapmanın ekonomik olmadığına, tersi durumda ise bu işlem toplam toplumsal maliyeti düşüreceği için bu sapmaların önlenmesi gerektiği görüşünü savunmaktadır. Böylelikle, kayıp fonksiyonu üretici ya da tüketicinin toleransını saptamada ürünün kontrolü için sınır ayarlamasını tarafsız bir yolla sağlamaktadır (Cho, Cho, 2006: 456).

2.4.1. Sinyal/Gürültü (SN) Oranı

Taguchi, Sinyal-Gürültü oranı (Signal-to-Noise Ratio) kavramını elektrik mühendisliğinden alarak kalite mühendisliğine kendine has bir şekilde adapte etmiştir. Taguchi deney tasarımı metodunda ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranı kalite karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüttür. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder (Taguchi, Konishi ve Wu, 1991: 69).

Sinyal/Gürültü oranının hesaplanmasında deneyler sonucu ulaşılması hedeflenen kalite değerinin özelliği de önemlidir. Bu durumda üç farklı SN oranı söz konusudur. Ancak SN oranının değişkenliği sınırsızdır.

SN oranı hesaplanırken dikkat edilmesi gerek nokta, bu değer dB (desibel) cinsinden hesaplanmasıdır. Dolayısıyla 3 dB cinsinden bir farklılık, 10'luk logaritmik değer olarak 0,3' lük bir farkı bu da doğrusal değere çevrildiğinde yaklaşık iki kat oranında bir farklılığı ifade eder.

Performans istatistiği (SN oranı) gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini hesaplar. $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ kontrol faktörleri, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_l)$ de parametre tasarım deneyindeki gürültü faktörlerini gösterebilir. Performans karakteristiği Y'nin θ ve ω 'nin bir fonksiyonu, yani, $Y = f(\theta, \omega)$ olduğunu varsayalım. Kontrol faktörleri θ , Y' nin dağılım parametreleridir ve verilen bir θ için gürültü faktörleri dağılımını üretir (Baynal, 2003: 136).

$\eta(\theta) = E[Y]$ ve $\sigma^2(\theta) = E[(Y - \eta(\theta))^2]$, Y'nin ortalaması ve varyansını gösterebilir. Bu modellemede beklenen kayıplar θ 'nın fonksiyonlarıdır.

Performans istatistiği terimi performans ölçüsünün istatistik değeri için kullanılır. Oysa Taguchi bu terimi SN oranını gösteren bir terim olarak kullanmaktadır. Kalite karakteristikleri statik olduğu zaman nominal en iyi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi SN oranları kullanılır. Örneğin, nominal en iyi dinamik karakteristikli SN oranının özel durumudur (Lin, Sullivan ve Taguchi, 1990: 56).

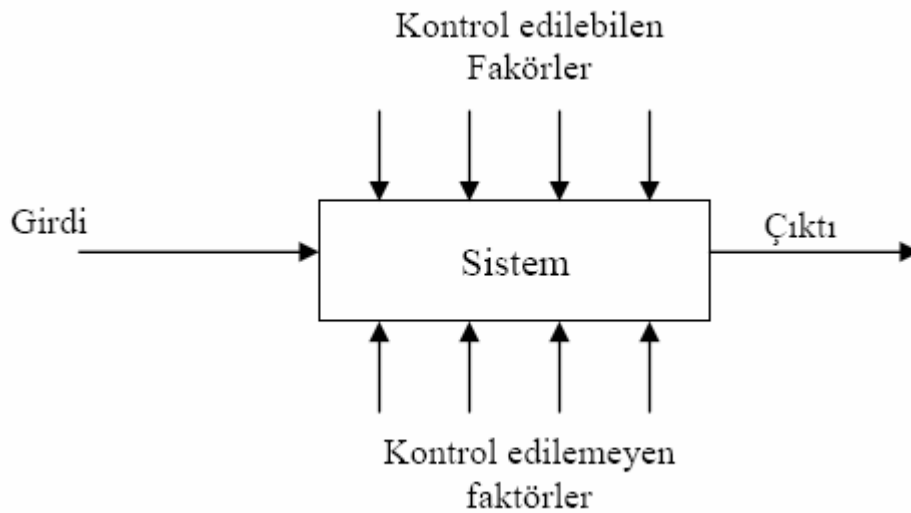
Kalite ve robustluk arasında doğrudan ilişki olduğu ortaya konduğunda, tasarımı duyarsız kılmak istendiği için, bütün gürültü koşullarına karşı tasarım performansını göstermek önemlidir. SN oranı ölçüsü yapının robust performansının eniyilemesinde kullanılır.

2.4.2. Robust Tasarım

Robust tasarım, performans karakteristiğinin, kontrol edilemeyen faktörlerdeki değişikliklerden etkilenmemesini sağlar. Robust tasarımla kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi kontrol edilebilen başka bir faktörün ayarlanması ile azaltılmaktadır.

Taguchi robust tasarım yönteminin amacı; performansı imalat kusurları, çevresel varyasyonlar ve bozulmalar gibi gürültülere karşı duyarsız hale getirerek hedeflenen değerden çıktı varyasyonunu azaltmaktır. Bu amaç, ürünü geliştirmede ve üretim proses tasarımında etkili olmasıyla tanınır. Ancak uygulamada ortalama kaybı modelleme yaklaşımı optimal olmaya çözümlere, verimlilik kaybına ve bilgi kaybına neden olabilir.

Şekil 17: Robust Tasarım Diyagramı



Kaynak: Taguchi, Chowdhury ve Wu, 2005: 247.

Yukarıda da bahsedildiği gibi robust tasarımda amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Şekil 17'de görüldüğü gibi varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler).

➤ Kontrol Edilebilen Faktörler:

Taguchi'nin tasarım parametreleri kavramı ile ifade ettiği bu faktörler, ürünü veya süreci direkt olarak etkileyen, üretici tarafından seçilen ve bir parçanın boyutları, malzeme cinsi veya bir devrenin çıkış voltajının seçimi gibi basit olarak kontrol edilebilen faktörlerdir (Taguchi, Wu, 1989: 143). Kontrol edilebilen faktörlerden her biri birden fazla değer alabilir bu değerlere seviye denir. Taguchi yönteminin de asıl amacı bu faktörlerin optimum seviyelerinin belirlenmesidir.

➤ Kontrol Edilemeyen (Gürültü) Faktörler:

Ürün kullanım ortamındaki sıcaklık, nem, rüzgâr, gürültü, toz, titreşim, ürünün aşınması, özelliğini kaybetmesi, hammadde ve bileşenlerinin toleranslarındaki değişiklikler, vb. gibi kontrolleri çok zor, mümkün olmayan veya kontrol edilebilir fakat bu durumda da maliyeti çok fazla olan faktörlerdir (Taguchi, Wu, 1989: 144).

Gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkansız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünler arası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır:

İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalat hataları, ürün aşınması vb.'dir. Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı arttırıcı yönde etki yaparlar.

Ürünlerarası gürültü faktörleri aynı spesifikasyona göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Örneğin enjeksiyon

yoluyla yapılan plastik döküm işleminde, ısı ve nem dış gürültü faktörlerini, makinaların yaşı ve üretim sürecindeki toleranslar iç gürültü faktörlerini, imalattaki hatalar ürünler arasındaki gürültü faktörlerini oluşturmaktadır. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına robust tasarım demektedir. Burada robust, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır. Bir ürün veya sürecin robustluğu, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır (Snee, 1993: 37). Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robust tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir.

Robust tasarımı ürün ve proses performansındaki değişkenliğin azaltılması ile kalitenin artırılması amacını güder. Bu da üründe ve proseste değişkenlik meydana getiren ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerinin optimum değerlerini seçmek suretiyle ürün ve prosesteki değişkenliğin en aza indirilmesi ile sağlanır. Burada robust, kontrol edilemeyen faktörlere örneğin nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklılıklara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız yani bu faktörlerden etkilenmeyen ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır (Bayrak, 1996: 123 – 125).

2.4.3. Ortogonal Diziler

Ortogonal düzen ilk kez 1897’de Fransız matematikçi Jacques Hadamard tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur. Ortogonal diziler temel olarak hangi denemede, hangi faktörün hangi düzeyinin kullanılacağını belirler (Ross, 1989: 123). Dr. Taguchi ortogonal dizini sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekle kalmayıp aynı zamanda ortalama sonuçlardan doğan değişimi irdelenmiştir. Taguchi deneysel faktörleri haritalamak için lineer grafik geliştirilmiştir (Peace, 1996: 45).

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlanması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir (Anthony, 1998: 172).

Tam faktöriyel çok faktörlü deneyler belirlenen faktörlerin tüm olası etkilerinden oluşur. 7 faktör içeren bir deneyde her bir faktör 2 düzeyli ise bu bileşimlerin toplam sayısı $2^7 = 128$ 'dir. Fakat bu deneylerin tümünü uygulamak genellikle çok zaman alan, ekonomik olmayan ve zahmetli bir işlemdir. Bu nedenle yeterli bilgi edinebileceğimiz olası deneylerin bir kısmını uygulamak hem zaman hem de maliyet açısından çok daha etkin olabilir.

Zaman ve finansman açısından kısıtların bulunması dolayısıyla tamamlanmış faktöriyel deneyler tercih edilmemektedir. Bunun yerine istatistikçiler kısmi faktöriyel deneyler olarak bilinen daha etkili test planları geliştirmişlerdir. Kısmi faktöriyel deneyleri tüm faktör etkileri ve sadece bazı etkileşimleri kestirebilmek için tüm kombinasyonları sadece bir kısmını kullanır. Taguchi tarafından geliştirilen 8 denemeli L_8 dizisi bu deney için uygundur. Yapılacak 8 deney ile istenilen analizler yapılabilir ve $128 - 8 = 120$ deney yapmak için geçen süre ve maliyetten tasarruf edilir. Aynı zamanda istatistiksel açıdan da proses ya da tasarımların genellikle bağıl olarak daha az parametre ile de uygun olarak ifade edilebileceği göz önüne alındığında tam faktöriyel tasarım ve denemenin çok gerekli olmadığı da bir gerçektir (Phadke, 1989: 32).

Taguchi çok etkenli deneyler için özel düzenekler kurarak kendine özgü yöntemler geliştirmiştir. Bu özel düzenler ortogonal (dik) diziler olarak bilinir. Ortogonal dizilerin kullanımı gerekli deneylerin en az sayısının belirlenmesine yardımcı olur. Deneysel matriste ortogonalin anlamı istatistiki olarak bağımsızlık anlamındadır. Buradan tipik ortogonal dizinlerde her sütunda her seviyenin ayrı sayıda incelendiği anlaşılabilir.

Tablo 15'de birinci kolonda A faktörünün birinci seviyesi dört defa oluşurken ayrı kolonda A'nın ikinci seviyesi de dört defa tekrarlanır. B faktörünün yer aldığı ikinci kolonda A'nın birinci seviyesinin dört tekrarına rağmen ikinci kolonda yer alan

B faktörünün birinci seviyesi iki kez ardından da ikinci seviyesi iki defa tekrarlanmıştır. A faktörü için ayrı yaklaşım diğer kolonlarla da yapılabilir. A faktörü ile ortogonal kolonun son faktörü olan G faktörü arasında dahi bu tür bir ilişki söz konusudur (Peace, 1993: 46).

Tablo 15: $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizisi

$L_8(2^7)$ Ortogonal dizisi								
Deneme	A	B	C	D	E	F	G	Sonuç
1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	2	2	2	2	
3	1	2	2	1	1	2	2	
4	1	2	2	2	2	1	1	
5	2	1	2	1	2	1	2	
6	2	1	2	2	1	2	1	
7	2	2	1	1	2	2	1	
8	2	2	1	2	1	1	2	

Kaynak: Peace, 1993: 46.

Ortogonal dizilerde her kolon $L_A(B^C)$ şeklinde gösterilir. Ortogonal dizinin latin kareden türetildiği için L latin kareyi gösterir. A, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını içerir. B her kolondaki seviyelerin sayısını gösterir. C ise ortogonal dizindeki kolonların sayısını gösterir.

2.4.3.1. Ortogonal Dizilerin Çeşitleri

En az iki seviyeden en çok beş seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal dizinler mevcuttur. En çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizinler L_4 , L_8 , L_{12} ve L_{32} 'dir; en çok kullanılan 3 seviyeli dizinleri ise L_9 , L_{18} , L_{27} 'dir. Fakat bazen ilkelere ve belirlenen stratejiye göre iki ve üç seviyeyi beraber ele alan dizinler de kullanılabilir. Bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar.

Bu dizilere ortogonal dizi denmesinin sebebi, her faktörde eşit miktarda farklı kademenin bulunmasıdır. Bunun testini yapmak istediğimizde 1'lere (-1), 2'lere de (+1) değerlerini vererek her faktöre ait sütunu toplarsak sonucun 0 olduğunu görürüz. Bu da eşit miktarda farklı kademenin bulunduğuna işarettir. Örnek olarak L_8 dizisindeki 6. faktörü ele alalım. Toplam = $(-1)+(1)+(1)+(-1)+(-1)+(1)+(1)+(-1) = 4*(-1)+4*(1) = 0$.

Tablo 16: Teklif Edilen Deneysel Dizaynlar

2 ^k Dizaynı								Taguchi Dizaynı												
								L ₈ Ortogonal Dizisi							L ₉ Ortogonal Dizisi					
Deneme No	Faktör No							Deneme No	Faktör No											
	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	2	1	3	1	2	2	1	1	2	2	3	1	3	3	3
4	1	1	1	1	1	2	2	4	1	2	2	2	2	1	1	4	2	1	2	3
5	1	1	1	1	2	1	1	5	2	1	2	1	2	1	2	5	2	2	3	1
6	1	1	1	1	2	1	2	6	2	1	2	2	1	2	1	6	2	3	1	2
.	.	.	.	.	.	.	.	7	2	2	1	1	2	2	1	7	3	1	3	2
.	.	.	.	.	.	.	.	8	2	2	1	2	1	1	2	8	3	2	1	3
128	2	2	2	2	2	2	2									9	3	3	2	1

Kaynak: Ross,1989: 132.

Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney yukarıda bahsedilen standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulunamadıysa faktörlerde bir takım düzenlemeler yapılmalıdır. Dizilerin seçimi kademe sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. Kademe sayısı yukarıda açıklandığı gibi dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Bu bakımdan 2 seviyeli faktör gurubuna 3 kademeli bir diziye teklif edilemez. Eğer kademelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerdeki kademe homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılmaktadır (Ross, 1989: 132).

➤ 2ⁿ Serisi Ortogonal Dizinler

Tüm sütunlarını iki seviye yer alan dizinler serileri olarak anılır. $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$, ve $L_{16}(2^{15})$ en sık kullanılan dizinlerdir. Daha büyük kolonlarda mevcuttur. Fakat deney matrisinin boyutunun büyümesi karışıklık yaratacağı için ya yanlış veri veya yanlış deneysel kombinasyonların kurulmasına neden olacaktır (Kackar, Shoemaker, 1986: 43).

$L_4(2^3)$; temelde tam faktöriyel deney tasarım matrisi olup iki temel faktör ve aralarındaki etkileşimi ele alır. Eğer mühendis etkileşimin zayıf olduğuna karar verirse yerine üçüncü bir faktörü alabilir (Peace, 1993: 48).

$L_8(2^7)$; faktörler arası etkileşimlerin görüntülenmesinde esnek bir matristir. Yedi faktöre kadar olan faktörleri ve etkileşimleri matriste yer alabilir.

$L_{12}(2^{11})$; etkileşimlerin etkileri tüm dizinler arasında uygun olarak dağıldığı için özel bir ortogonaldır. Bu özelliği ile faktörlerin ve etkileşimlerinin karışması en aza indirilir. Diğer taraftan etkileşimler bu ortogonal dizine dahil edilmezler. Eğer deney matris boyutu olarak $L_{12}(2^{11})$ yeterli fakat faktörler arası etkileşimler söz konusu ise bu durumda $L_{16}(2^{15})$ ortogonal dizinin kullanılması gereklidir (Peace, 1993: 48).

$L_{16}(2^{15})$ ve $L_{32}(2^{31})$ ortogonal dizinleri büyük matrislerdir ve faktörler ve etkileşimlerin bir arada kullanma imkanı verirler (Kackar, Shoemaker, 1986: 44).

➤ 3ⁿ Serisi Ortogonal Dizinler

Genelde üç seviyeli sütunları içeren dizinlerdir. $L_9(3^4)$, $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ve $L_{27}(3^{13})$ en sık kullanılan çeşitleridir gereklidir (Peace, 1993: 49). $L_9(3^4)$; dört faktörün veya iki faktör ve bir etkileşimin incelenebileceği bir ortogonal dizidir.

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$; birkaç durumdan dolayı tekdir. Birincisi ilk sütun iki seviyelidir ama diğer 7 si üç seviye içerir. İkincisi $L_{12}(2^{11})$ ortogonal dizinine benzer olarak birinci ve ikinci sütun arasındaki ilişki haricinde etkileşimlerin etkisi diğer sütunlar

arasında dağılmıştır. Üçüncüsü sütun bir ve iki arasında özel bir ilişki mevcuttur. Bu iki kolonun yerleşimi açısından aralarındaki etkileşim bir başka sütuna ihtiyaç duymaksızın kendi sütunlarının birinde ele alınır.

$L_{27}(3^{13})$; çok kullanılan bir ortogonal dizin olup her sütununda üç seviye ele alınır. Maksimum 13 faktör yer aldığı kolonda en çok 3 etkileşim yer alabilir. Etkileşim sayısının artması faktörlerin azalması anlamına gelir.

2.4.3.2. Ortogonal Dizilerin Seçimi ve Serbestlik Derecesi

Taguchi metodunda mevcut olan standart ortogonal dizilerin seçimi de ayrı bir işlemdir. Dizilerin seçiminde öncelikle faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunluk sağlarsa o tercih edilir.

Serbestlik ilgilenilen kavramlarla ilgili bilginin miktarının ölçüsüdür. Genel anlamda ise sonucu saptırmaksızın yapılan karşılaştırmaların sayısıdır (Peace, 1993: 49). Faktörler için serbestlik derecesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$V_{LN} = N - 1 \text{ (Deneme sayısı } N \text{ olan diziye ait toplam serbestlik derecesi)}$$

$$V_{LN} > V \text{ (Faktör etkileşimleri için gerekli olan miktar) (Ross, 1989: 133)}$$

Faktörde kullanılan seviye sayısı seçilecek olan ortogonal dizinin iki ya da üç seviyeli oluşunu belirler. Eğer bazı faktörler iki seviyeli, bazıları da üç seviyeli ise daha baskın olanı kullanılacak olan dizinin tipini belirler. Kullanılacak olan dizinin iki ya da üç seviyeli oluşuna karar verdikten sonra, yeterli serbestlik derecesini sağlayacak sayıda deney içeren dizi seçilir.

Dizide sütunlara atanan A ve B faktörlerinin arasında etkileşim olduğu düşünülürse AxB etkileşimi için serbestlik derecesi;

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$: A ile B etkileşiminin serbestlik derecesi

K_A : A faktörünün kademe sayısı

$$\begin{aligned}
V_A &: k_A - 1 \\
V_B &: k_B - 1 \\
V_{A \times B} &: (V_A) \cdot (V_B)
\end{aligned} \tag{18}$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Bu aynı zamanda toplam veri sayısından bir çıkarmakla da bulunur.

$$\begin{aligned}
V_T &= N - 1 \\
V_T &: \text{Dizinin toplam serbestlik derecesi} \\
N &: \text{Dizinin toplam veri sayısı}
\end{aligned}$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılarak bulunur.

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_{A \times B} \tag{19}$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi;

$$V_T = \text{Deneme sayısı} - \text{Tekrar sayısı} - 1 \text{ olur.}$$

Belirlenen probleme uygun ortogonal dizi seçiminde, öncelikle faktör grubunun toplam serbestlik derecesine bakılmıştır. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunluk sağlıyorsa o tercih edilmiştir.

Tablo 17: Faktör ve Seviyelerin Serbestlik Derecesi Ve Toplam Serbestlik Derecesi

Faktör	Serbestlik Derecesi
A	$V_A = K_A - 1 = 2 - 1 = 1$
B	$V_B = K_B - 1 = 2 - 1 = 1$
C	$V_C = K_C - 1 = 2 - 1 = 1$
D	$V_D = K_D - 1 = 2 - 1 = 1$
E	$V_E = K_E - 1 = 2 - 1 = 1$
F	$V_F = K_F - 1 = 2 - 1 = 1$

Faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplamıdır. Tablo 17’de gösterildiği gibi toplam serbestlik derecesi 6 olarak bulunmuştur.

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktör gurubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Uygun düşme hesaplamasında toplam serbestlik derecesi en fazla, seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksiği olabilmektedir. Eşit olması durumunda bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir. Daha sonra seçilen dizinin sütunlarına faktörler atanır (Şahin, 2008: 82).

Faktörler arasında gürültü faktörleri bulunuyorsa eğer o taktirde kontrol faktörlerini ayrı, gürültü faktörlerini ayrı değerlendirilip ayrı ayrı diziler seçmek gerekir. Kontrol faktörleri için seçilen diziye (Inner Array) iç dizi, gürültü faktörlerine seçilmiş diziye de (Outer Array) dış dizi denmektedir.

Bir faktör grubunun toplam serbestlik derecesinin gruptaki tüm faktörlerin ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamı olduğu daha önce belirtilmişti. Ayrıca her

ortogonal dizideki kolonların serbestlik derecesi kolondaki seviye sayısının bir eksiği olup, kolonların toplam serbestlik derecesi tek tek kolonların serbestlik derecelerinin toplamıdır. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, doğal olarak etkileşimlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Ortogonal dizilerde etkileşimli faktörler için de sütunlar bulunmaktadır. Etkileşim sütununun serbestlik derecesi etkileşen faktörlerin serbestlik derecesi çarpılarak elde edilir. Toplam serbestlik derecesi bulunurken etkileşim sütununun serbestlik derecesi de ilave edilir (Park, 1996: 18).

İki seviyeli iki faktör arasındaki etkileşimin serbestlik derecesinin hesabı ve AB etkileşiminin ortogonal dizinlerde gösterimi oldukça kolaydır. Üç seviyeli veya farklı seviyelerde faktörlerin ele alındığı deney tasarımlarında serbestlik derecesinin hesabı tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18: Etkileşimler İçin Serbestlik Derecesi Hesapları

A= 2 seviyeli, B= 2 seviyeli $(2-1) \times (2-1) = 1$ serbestlik derecesi
A= 2 seviyeli, B= 3 seviyeli $(2-1) \times (3-1) = 2$ serbestlik derecesi
A= 3 seviyeli, B= 3 seviyeli $(3-1) \times (3-1) = 4$ serbestlik derecesi
A= 4 seviyeli, B= 2 seviyeli $(4-1) \times (2-1) = 3$ serbestlik derecesi
A= m seviyeli, B= n seviyeli $(m-1) \times (n-1) = mn - (m+n)+1$ serbestlik derecesi

Kaynak: Peace, 1993: 51.

Serbestlik dereceleri doğrudan ortogonal kolonlardaki sütunların sayısı ile ilişkilidir. Deneyde yer alan faktörlerin serbestlik derecelerinin ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin toplamı sütun sayısını verir.

Farklı faktör ve seviyeli deneyler için faktöriyel tasarım ve Taguchi yöntemi için gerekli deney sayıları tablo19'da gösterilmiştir.

Tablo 19: Aynı Faktör Ve Seviyeler İçin Faktöriyel Tasarım Ve Taguchi Yönteminin Öngördüğü Deney Sayıları

Faktör	Seviye	Deney sayıları	
		Faktöriyel tasarım	Taguchi yöntemi
2	2	4 (2^2)	4
3	2	8 (2^3)	4
4	2	16 (2^4)	8
7	2	128 (2^7)	8
15	2	32768 (2^{15})	16
4	3	81 (3^4)	9

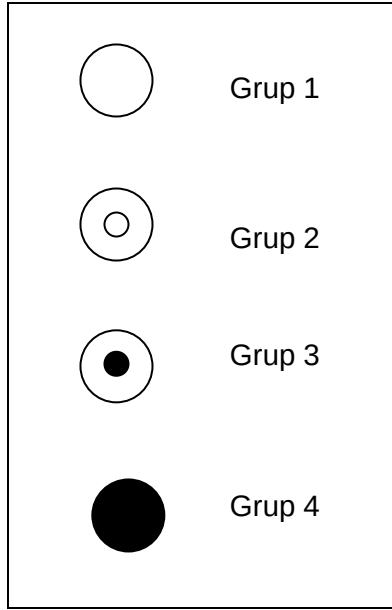
Kaynak: Canıyılmaz, 2001: 101.

2.4.3.3. Doğrusal Grafikler

Faktörler arasındaki etkileşimlerin ortogonal dizinlere rastgele yerleştirilmesi doğru olmayan analizlere ve hatalı sonuçlara yol açabilir. Taguchi bu tip hataları önlemek için faktörleri ve faktörler arasındaki etkileşim faktörlerini ortogonal dizinlerin uygun sütunlara yerleştirilmesi için grafikler tasarlamış ve faktörlerin sistematik bir şekilde sütunlara atanmasını sağlamıştır. Bu grafiklere doğrusal grafikler denir. Doğrusal grafikler birbirine bağlı çemberlerden oluşur. Her çember ortogonal dizindeki temel faktörleri, bu çemberleri birbirine bağlayan çizgiler ise iki faktör arasındaki etkileşim faktörünü ifade eder (Taguchi, Wu, 1989: 143).

Doğrusal grafiklerde faktörler şekil 18'deki gibi semboller ile gösterilmektedir. Bu semboller faktör seviyelerinin zorluklarını ifade etmek için kullanılır.

Şekil 18: Doğrusal Grafiklerde Kullanılan Faktör Simgeleri



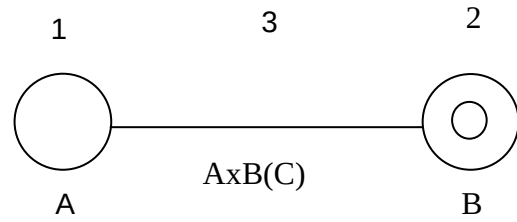
Kaynak: Taguchi vd., 2005: 87.

Şekil 19'da $L_4(2^3)$ ortogonal dizini için temel faktörlerin ve bu faktörler arasındaki etkileşimlerin ortogonal dizinde hangi sütunlara atanması gerektiği görülmektedir.

Şekil 19: $L_4(2^3)$ Ortogonal Dizini Ve Doğrusal Grafiğinin Gösterimi

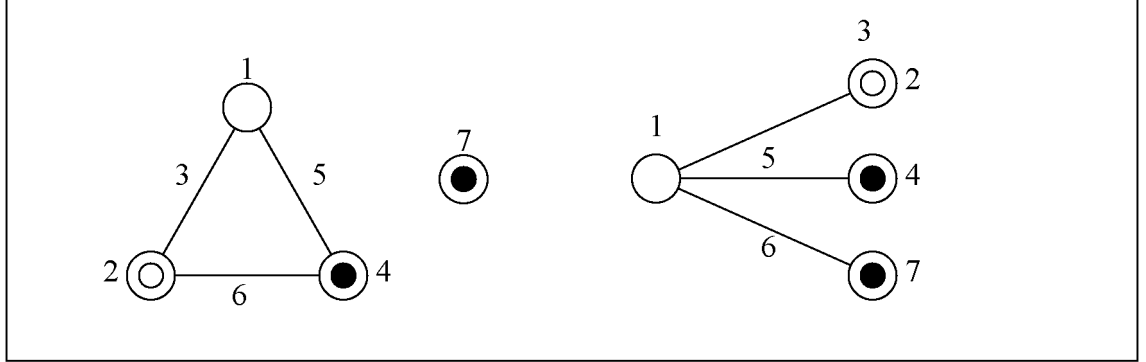
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Kaynak: Park,1996: 86.



Burada çemberlerin altındaki harfler faktörlerin isimleri, üzerindeki numaralar ise ortogonal dizinde atanması gereken sütunları ifade etmektedir. Yani birinci sütundaki faktörle ikinci sütundaki faktör arasındaki etkileşim üçüncü sütuna atanmalıdır. Bu durumda C sütunu etkileşim sütunudur. $L_8(2^7)$ ortogonal dizini için faktörlerin ve bu faktörler arasındaki etkileşimlerin ortogonal dizinde hangi sütuna atanacağını gösteren doğrusal grafikler şekil 20'de görülmektedir.

Şekil 20: $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizini İçin Doğrusal Grafikler



Kaynak: Park, 1996: 83.

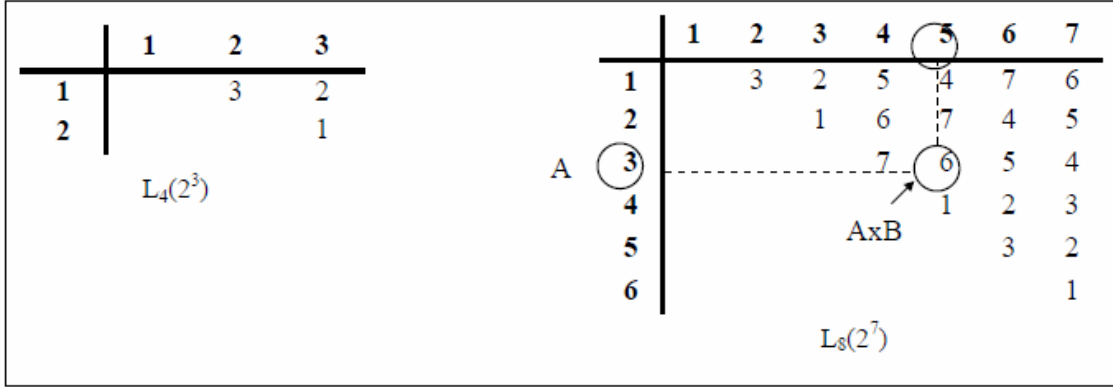
$L_{12}(2^{11})$ ve $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizinleri özel dizinlerdir. Taguchi mümkün olduğunca bu dizinlerin kullanılmasını tavsiye etmektedir. $L_{12}(2^{11})$ dizinini için hiçbir doğrusal grafik yoktur. Buradan da anlaşılacağı gibi etkileşim faktörlerinin analizinde bu dizin genellikle kullanılmaz. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ dizininde ise yalnızca birinci ve ikinci sütunlara atanmış dizinler arasında bir etkileşim olabilir. Ancak böyle durumlarda da bu etkileşim göz ardı edilebilir (Canıyılmaz, 2001: 56).

2.4.3.4. Üçgensel Tablolar

Etkileşim faktörlerinin ortogonal dizinlere atanmasında kullanılan diğer bir yöntem de üçgensel tablolardır. Üçgensel tablolar doğrusal grafiklerle eşdeğerdir. $L_4(2^3)$ ve $L_8(2^7)$ ortogonal dizinleri için geliştirilen üçgensel tablolar Şekil 21’de gösterilmiştir.

Örnek olarak $L_8(2^7)$ ortogonal dizininde 3. ve 5. kolonlardaki temel faktörlerin etkileşimleri olan faktör ortogonal dizinin 6. kolonuna atanmalıdır

Şekil 21: $L_4(2^3)$ ve $L_8(2^7)$ Ortogonal Dizinlerinin Üçgensel Grafikleri



Kaynak: Taguchi vd., 2005: 8.

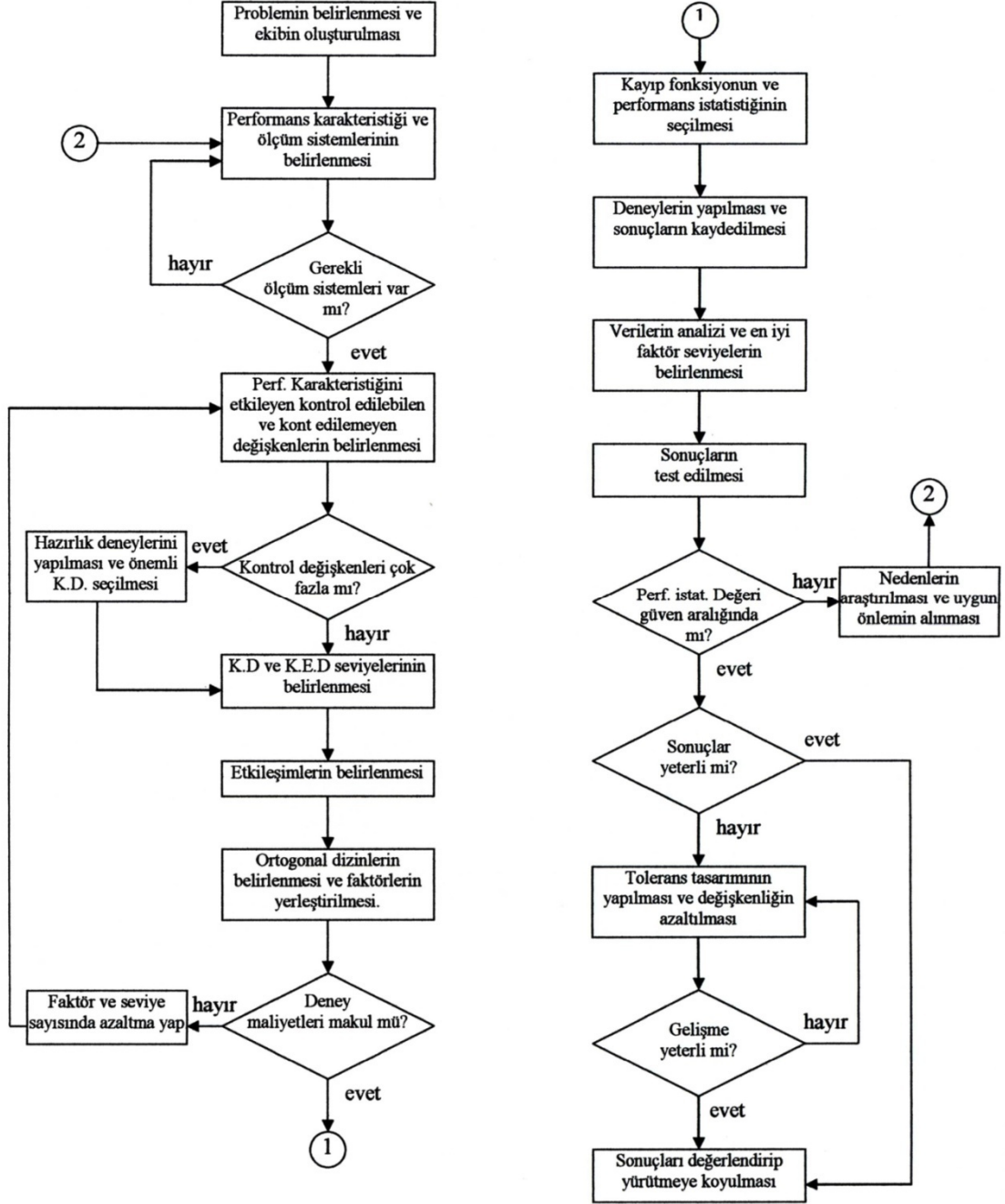
Tek seviyeli deney tasarımları için ortogonal dizinlerin seçimi ve faktörlerin sütunlara atanması belirtilen yöntemler gerçekleştirerek yapılabilir. Ancak karşılaşılan deney tasarımları her zaman tek seviyeli tasarımlar olmayabilir. Deney tasarımlarının karışık seviyeli olduğu durumlarda bazı metotlar kullanılarak yapılacak dönüşüm işlemleri ile standart ortogonal dizinleri değiştirmek mümkündür.

Karışık seviyeli faktörler için de standart ortogonal dizinler vardı. Fakat bunlar en ekonomik ya da ihtiyaçlara en uygun dizinler olmayabilirler. Taguchi karışık seviyeli uygulamalarda genellikle standart dizinlerde mevcut şartlarda en uygun dizini elde etmek için bazı dönüşümler yapmıştır. Buna göre 2 seviyeli bir sütun, 4 ya da 8 seviyeli bir sütuna veya 4 seviyeli bir sütun 8 seviyeli bir sütuna dönüştürülebilir. Aynı şekilde yüksek seviyeli sütunların seviye sayıları da daha düşük seviyeli sütunlara dönüştürülebilir (Park, 1996: 75).

2.5. TAGUCHI YÖNTEMİNİN UYGULAMA ADIMLARI

Taguchi yöntemini bir ürün veya süreçte başarılı bir şekilde uygulayabilmek için sistematik bir yaklaşım izlemek, hem deneysel tasarımının anlaşılabilirliği, hem de en doğru sonuçların daha kolay bir şekilde alınabilmesi için gereklidir. Bu amaçla geliştirilen sistematik yaklaşımın akış şeması şekil 22'de görülmektedir.

Şekil 22: Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında İzlenecek Sistematik Yaklaşımın Akış Şeması



Kaynak: Çelik, 1993: 122.

Şekil 22'deki akış şemasına bakarak, Taguchi yöntemlerinde yapılacak işlemler aşağıdaki gibi 10 başlık altında toplanabilir (Bayrak, 1996: 124 – 126).

1. Problemin belirlenmesi.
2. Performans karakteristiğinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi.
3. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi.
4. Faktörlerin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler olarak ayrılması.
5. Etkileşimlerin belirlenmesi.
6. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi ve faktörlerin bu dizinlere atanması.
7. Performans istatistiklerinin belirlenmesi.
8. Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi.
9. Verilerin analizi.
10. Doğrulama deneyinin yapılması.

2.5.1. Problemin Belirlenmesi

Pratikte çoğunlukla bir problemi çözmek için deneysel tasarımın kullanılması gerektiğinin anlaşılması kolay değildir. Bu yüzden problemi açık ve kabul edilebilir bir şekilde tanımlamak zordur. Buna rağmen, problem ile ilgili geliştirilebilecek fikirler ve deneyin spesifik amacının saptanması gerekmektedir. Problem ile ilgili deney amaçlarıyla problemin açık bir şekilde ifade edilmesi sürecin daha iyi anlaşılmasına ve çözümün daha gerçekçi bir şekilde elde edilmesinde yardım edecektir.

Yapılacak çalışmaya konu olan problem, yeni bir ürün veya proses geliştirme çalışmaları olabilir. Böyle durumlarda tasarımcı, konu ile ilgili gerekli bilgileri, pazarlama departmanından ve mühendislerden temin ederek, konu ile ilgili teknolojik gelişmeleri de göz önünde tutarak ürün veya prosesin tasarlanmasına başlamalıdır. Eğer yapılacak çalışmanın konusu, var olan bir ürünün veya prosesin kalitesinin geliştirilmesi ise, problem ürün veya prosesin aksayan yönlerinin tespit edilmesi ve müşteri beklentilerine göre ürün veya prosesin yeniden tasarlanması olacaktır.

Problemin belirlenmesi aşamasında ve Taguchi yönteminin bundan sonraki her aşamasında çalışmayı yürütecek belirli bir ekibin oluşturulması çalışmanın verimliliği açısından önemlidir.

2.5.2. Performans Karakteristiğinin ve Ölçüm Sistemlerinin Belirlenmesi

Performans karakteristiği ürünün kalitesinin ölçüldüğü özelliğidir. Başka bir ifade ile ürünün müşteri tarafından istenilen fonksiyonlarını yerine getirmesinde kalitesini belirleyen özellikleridir. Performans karakteristiği belirlenip ölçülmedikçe, ürün kalitesi geliştirilemeyeceğinden performans karakteristiğinin seçilmesi çok önemlidir. Amaçları yansıtmayan performans karakteristiklerinin seçilmesi, yapılan çalışmanın başarısını etkileyecektir (Taguchi vd., 2005: 97).

Performans karakteristiklerinin belirlenmesi deney sonuçlarını etkileyebildiği için üzerinde önemle durulmalıdır. Uygun bir performans karakteristiği ve ölçüm sistemi seçilirken birçok konu göz önüne alınmalıdır. Bunlar içinde önemli olanları belirlenen performans karakteristiğinin açık ve ölçülebilir olması, müşteri isteklerini göz önüne alması, maliyeti çok arttırmaması, ölçüm biriminin anlaşılır olması, ölçümlerin yapılacağı koşulların uygunluğu ve çevre koşulları ve ölçüm yapılacak alet ve araçların var olmasıdır.

Bu aşamada ilk olarak, ilgilenilen ürünün tüketici açısından önemli olan performans karakteristiği belirlenir. Bir ürünün veya sürecin birden fazla performans karakteristiği olabilir. Bunların içinden çalışmanın amacı olarak belirlenecek performans karakteristikleri belirlenmelidir.

Performans karakteristiği ürünün kullanım amaçlarına uygun olarak seçilmelidir. Bütün performans karakteristiklerinin hepsinin birden geliştirilmesi ne ekonomik, ne de gereklidir. Bu yüzden ürünün kullanım amaçlarına en uygun olan özelliklerinin performans karakteristikleri olarak belirlemek gerekir (Thornton vd., 2000: 134).

Bu aşamada ikinci olarak bütün çalışma boyunca gerekli olacak ölçüm sistemlerinin seçimi yapılmalıdır. Mühendislik işlemleri için ölçü birimleri ve ölçüm aletleri önemlidir. Farklı karakteristikler için farklı ölçüm sistemleri ve farklı ölçüm aletleri gerekecektir.

2.5.3. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Bu aşamada, meydana gelen hedef değerden sapmaların kaynakları araştırılır. Sapmalara neden olan bu kaynaklara faktör denir. Bu faktörler sonuç üzerinde belli etkilere sahip olan herhangi bir faktör olabilir.

Ürün performansına etki eden bu faktörler belirlenirken, deney tasarımcısı daha önceden bu konu ile ilgili yapılan çalışmalara ve kendi bilgi birikimine dayanarak hedef değerden sapmalara neden olabileceğini düşündüğü belirli faktörleri seçer. Bu faktörler belirlenirken beyin fırtınası, sebep-sonuç diyagramı gibi kalite araçları kullanılabilir (Durmaz, 2008: 50).

Faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin seviye sayıları da belirlenmelidir. Taguchi seviye sayılarının mümkün olduğunca 2 veya 3 olarak seçilmesi gerektiğini belirtmektedir. Çünkü seviye sayıları yapılacak deney sayısını doğrudan etkilemektedir.

Ürünün performans karakteristiklerini etkileyen bağımsız değişkenler tanımlanır. Bu tanımlamada ürünle ilgili ön bilgi ve deneyim kullanılır. Beyin fırtınası, neden-sonuç diyagramları ve akım diyagramı yararlı araçlardır. Kolay kontrol edilen bağımsız değişkenler kontrol faktörleri grubu içinde yer alır, diğerleri ise gürültü faktörleri grubu içinde yer alır.

2.5.4. Faktörlerin Kontrol Edilebilen ve Kontrol Edilemeyen Faktörler Olarak Ayrılması

Kontrol faktörleri, ürün ya da proses üzerinde etkili olduğu varsayılan kontrol edilebilir girdilerdir. Talaşlı imalat örneğinde proses üzerinde etkili olması muhtemel kesici uç, dalma derinliği, ilerleme hızı, dönme hızı gibi kontrolü elimizde olan faktörler kontrol faktörleridir. Deneyisel tasarımdan maksat bu faktörlerin farklı düzeylerini kullanarak, kalite karakteristiğini ne şekilde etkilediklerini tespit etmektir (Savaşkan, 2003: 44).

Sistem üzerinde etkili olması muhtemel, sıcaklık, nem gibi kontrol edilmesi güç ya da kontrol edilmesi düşünülmeyen faktörler ise gürültü faktörleri olarak

adlandırılır. Gürültü faktörleri kısa bir süreliğine kontrol altında tutulabilir ancak sürekli kontrolleri oldukça pahalıdır. Taguchi Yaklaşımının önde gelen getirilerinden biri de gürültü faktörlerinin ürün ya da proses üzerindeki etkisini minimize ederek her koşulda sağlam bir tasarım elde etmektir.

Seçilen faktörler en az iki seviyeli olmalıdır. Seviye sayıları ölçülebilen ve seviyelerinin ayarlanması kolay olan faktörler kontrol edilebilir faktörler, seviyesi olmayan veya kontrolü zor olan faktörler ise kontrol edilemeyen (hata) faktörleri olarak ayrılır (Ross, 1995: 72).

Kontrol ve Gürültü faktörleri sıcaklık, basınç, zaman, hız, akım gibi sayısal büyüklükler şeklinde ifade edilebilen sürekli faktörler olabileceği gibi, malzemenin cinsi, bir durumun varlığı veya yokluğu gibi soyut faktörler de olabilirler.

2.5.5. Potansiyel Etkileşimlerin Belirlenmesi

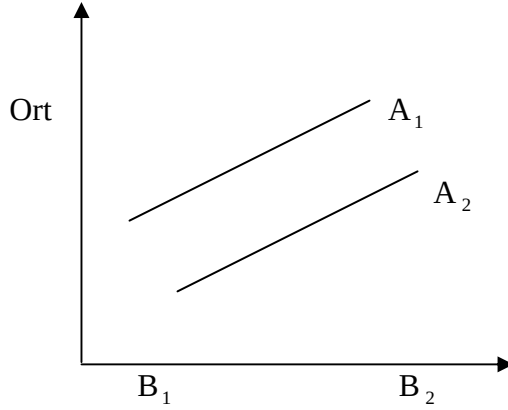
Etkileşim, bir faktörün (A), performans karakteristiği üzerindeki etkisinin diğer bir faktöre (B) bağlı olduğu durumlardır. (A faktörünün etkisinin B Faktörünün durumuna bağlı olarak değişmesi gibi) Bu durum AxB şeklinde gösterilir.

Deneyler yapılmadan önce faktörler arasında bir etkileşim olup olmadığı o zamana kadar yapılmış olan çalışmalardan elde edilen veriler yardımıyla anlaşılabilir. Ancak böyle durumlarda çok dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü hesaba katılmayan önemli bir etkileşim deney sonuçlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Performans karakteristiği üzerinde etkisinin olabileceği düşünülen etkileşim faktörleri deneylerde göz önünde tutulmalıdır (Şanyılmaz, 2006: 41).

İki faktör arasında bir etkileşim olup olmadığı, bu iki faktörle yapılacak bir deneyle anlamak mümkündür. İki faktör arasındaki etkileşimi en açık olarak grafiksel gösterim metodu ile anlaşılabilir. Deneyler sonucu elde edilen grafiklere bakıldığında;

- İki faktör çizgisi arasında paralellik varsa bu iki faktör arasında bir etkileşim yoktur.

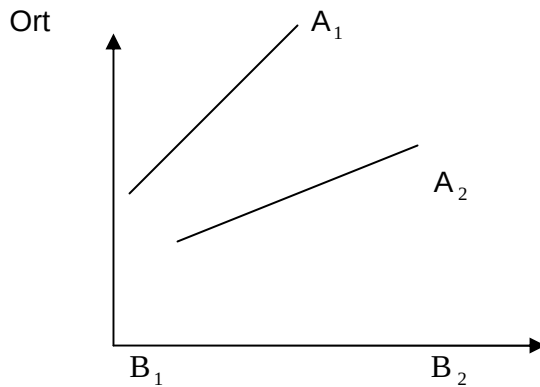
Şekil 23: İki Faktörün Etkileşimsiz Olduğunu Gösteren Durum Grafiği



Kaynak: Ross,1989: 45.

- İki faktör çizgisi arasında paralellik yok fakat kesişmiyorlarsa, belirlenen değerler civarında zayıf bir etkileşim vardır.

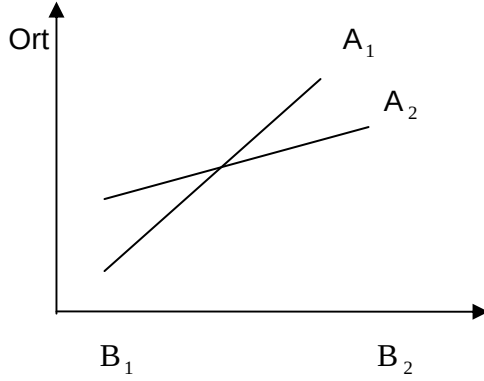
Şekil 24: İki Faktör Arasında Zayıf Bir Etkileşim Olduğunu Gösteren Durum Grafiği



Kaynak: Ross,1989: 46.

- İki faktör çizgisi belirlenen değerler içerisinde birbiri ile kesişiyorsa bu iki faktör arasında kuvvetli bir etkileşim vardır.

Şekil 25: İki Faktör Arasında Kuvvetli Bir Etkileşim Olduğunu Gösteren Durum Grafiği



Kaynak: Ross,1989: 46.

Faktörler arasında belirlenen etkileşimler deney tasarımı çalışmaları boyunca etkisi araştırılacak ana faktörler gibi işlem görecektir. Hazırlanacak ortogonal dizinlerde de etkileşimler için ayrılan kolonlara yerleştirilecektir.

2.5.6 Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi ve Faktörlerin Bu Dizinlere Atanması

Uygun bir ortogonal dizi seçimi için toplam serbestlik derecelerinin hesaplanması gerekir. Serbestlik derecelerinin tanımı şöyledir: Proses parametreleri arasında hangi seviyenin ne ölçüde daha iyi olduğunu gösterecek karşılaştırmaların sayısıdır. Örneğin, iki seviyeli bir proses parametresinin serbestlik derecesi birdir. İki proses parametreleri arasındaki etkileşimle ilgili serbestlik dereceleri, iki proses parametresi için serbestlik derecesinin sonuçları ile verilir. Serbestlik derecesi proses parametrelerinkine eşit veya daha büyük olmalıdır (Ross,1995: 117).

Ortogonal dizinler, Taguchi yönteminin önemli adımlarından biridir. Deney tasarımında kullanılacak ortogonal dizinin seçimi her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamı ile bulunur. Her bir faktörünün serbestlik derecesi ise seviye sayısının bir eksisidir.

$$V_A = k_A - 1 \quad (20)$$

V_A = A faktörünün serbestlik derecesi

k_A = A faktörünün seviye sayısı ise,

Ortogonal dizinlerin kolonlarına yerleştirilecek olan etkileşim faktörlerinin seviye sayıları ise temel faktörlerin serbestlik sayılarının çarpımına eşittir.

$$V_{A \times B} = V_A \times V_B = (k_A - 1) (k_B - 1) \quad (21)$$

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

Faktör grubunun serbestlik derecesi ise her bir faktörün serbestlik derecelerinin toplamına eşittir.

$$V_T = V_A + V_B \quad (22)$$

Faktör grubunun serbestlik derecesi belirlendikten sonra, serbestlik sayısının uygun düştüğü deneme sayısına sahip olan tasarım seçilir. Serbestlik sayısı en fazla seçilecek olan ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Ortogonal dizinlerin gösterildiği $L_a(b^c)$ Standart ifadesinde a deney tasarımında kullanılacak deney sayısını ifade ettiğinden faktör grubunun serbestlik derecesi ve a arasındaki ilişki eşitlik 23'de verildiği gibi olacaktır.

$$V_T \leq a - 1 \quad (23)$$

Örnek olarak 2 seviyeli 3 faktörün olduğu bir deney tasarımı uygulamasında toplam serbestlik derecesi $1+1+1=3$ olacaktır. Bu durumda yapılacak deney sayısı en az 4 olmalıdır. Buna karşılık gelen ortogonal dizin ise $L_4(2^3)$ ortogonal dizini olacaktır.

Ortogonal dizinler seçilirken dikkat edilecek diğer bir nokta ise sütun seviye sayılarıdır. Örnek olarak 3 seviyeli bir faktör 2 seviyeli bir sütuna atanamaz. Bu yüzden serbestlik dereceleri bulunduktan sonra ortogonal dizinlerin deney sayılarına ve seviye sayılarına dikkat etmek gerekir.

Ortogonal dizilerde kesirli deneylerin kullanımı halinde faktörler dizilerin sütunlarına atanırken birbirlerinin yerlerini alabilirler. Örneğin L_8 dizayn matrisi 4 faktörlü bir deney için kesirli olarak kullanılabilir. 4 faktörlü 2 seviyeli bir deneyde 16 deneme yapılması gerekmekte ve tam faktör için 15 sütunlu L_{16} matrisi kullanılmalıdır. Ancak 1/2 kesirli tasarlanan deneyde L_8 Matrisi kullanılabilir ve ilk 3 faktör aynı kalmak şartıyla 4. faktör 7. sütuna atanabilir. Bu durumda $ABC=D$ olacaktır. Eşitliğin her iki tarafının C ile çarpıldığı düşünülürse $AB=CD$ elde edilir. Bu şekilde çoğaltılabilecek eşitlikler ile oluşan çiftlere eşad adı verilir (Şirvancı, 1996: 57).

Tablo 20: L_8 Ortogonal Dizini

Deneme	A	B	C	D	E	F	G
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
3	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1
4	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
6	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
7	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1

DeneySEL Kararlılık kavramı ise, bir deneyde oluşan eşadların durumuna göre kesirli deneylerin sınıflandırılmasında kullanılan yararlı bir yöntemdir. Kararlılık düzeyleri şu şekilde özetlenebilir.

Kararlılık 1: Ana etkiler 2 faktörlü etkileşimler ile eşitlenebilirler.

Kararlılık 2: Ana etkiler 3 faktörlü etkileşimler ile veya 2 faktörlü etkileşimler birbirleri ile eşitlenebilirler.

Kararlılık 3: Ana etkiler 4 faktörlü etkileşimler ile veya 2 faktörlü etkileşimler, 3 faktörlü etkileşimler ile eşitlenebilirler.

Kararlılık 4: Bütün faktör ve etkileşimler ayrı kolonlarda yer alırlar (Montgomery, 1991: 87)

Karışık seviyeli tasarımlar için gerekli görüldüğü durumlarda kullanılan standart ortogonal dizinin sütun seviye sayıları artırılabilir veya azaltılabilir (Altınbilek, 2001: 34)

2.5.7. Performans İstatistiklerinin Belirlenmesi

İlgilenilen problemin geliştirilmesi sırasında birden fazla performans karakteristiği olabilir. Seçilecek olan performans istatistiği performans karakteristiklerinin özelliklerine (hedef değeri ve sürekli veya kesikli oluşu) uygun olarak seçilmelidir.

Deneyler yapıldıktan sonra elde edilecek verilerin analizi seçilen performans istatistiklerine göre yapılmaktadır. Performans istatistiklerinin hatalı seçilmesi seçilecek faktör-seviye kombinasyonunun hatalı belirlenmesine ve analizin başarısız olmasına neden olacaktır.

Taguchi tasarımlarında en çok kullanılan performans istatistiği SN oranıdır. SN oranı en iyi robust tasarım performansını ölçmek için kullanılır. Ancak bu aşamada seçilecek olan SN oranının kullanılıp kullanılmaması değil, SN oranının performans karakteristiklerinin hedef değerine ve yapısına göre belirlenen farklı tipleridir.

2.5.8 Deneylerin Yapılması

Ortogonal dizi seçildikten ve kolonlarına faktör ve etkileşimlerin ataması yapıldıktan sonra deneylerin fiilen gerçekleştirilmesine başlanabilir. Ortogonal dizinin öngördüğü şekilde, faktörlerin düzeyleri kullanılarak deneyler yapılır, ancak burada karar verilmesi gereken iki nokta deneylerin tekrarlı yapılıp yapılmayacağı ve hangi sıra ile yapılacağıdır.

Deney sonucunda ölçülen kalite karakteristiği sürekli bir veri ise (sıcaklık, basınç, hız gibi) deneyleri tekrarlamak sadece güvenilirliğini artıracaktır. Ancak kalite karakteristiği açık-kapalı, var-yok, 1-0 gibi süreksiz bir veri ise deneyler muhakkak tekrarlı şekilde yapılmalıdır. Çünkü en ufak bir hata sonuçları büyük ölçüde

etkileyecektir. Eğer mümkünse kalite karakteristiğinin sınıf sayısı da artırılmalıdır. (açık-yarı açık-kapalı gibi) (Ross, 1995: 78).

Deneyler makinelerin ve ölçüm cihazlarının hatalarını en aza indirmek, önceden saptanamayan hata kaynaklarının etkilerini azaltmak için Ortogonal dizinin öngördüğü sıra ile değil de rastgele yapılmalıdır. Faktörleri değiştirmenin kolay olduğu durumlarda deney sırasının tamamen gelişigüzel belirlenmesi uygun olacaktır. Ancak faktörleri değiştirmenin zor olacağı durumlarda tekrarların ardı ardına yapılmasına müsaade edilebilir.

Yapılacak deneyler, seçilen ortogonal dizinlerin sütunlarına yerleştirilen faktör kombinasyonlarına göre oluşturulacaktır. Deneylerin yapılış sırası belirlenirken rassallığın sağlanması gerekir. Rassallaştırmalar çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir (Açar, 2001: 67).

- Tamamen rassallaştırma
- Basit tekrar
- Bloklar içinde tamamen rassallaştırma

Tamamen rassallaştırma yönteminde, tüm deneyler ilk olarak seçilmek için eşit şansa sahiptir. İlk olarak bütün deneyler rassal sayılar yardımıyla tamamlanır. Eğer tekrarlama yapılacaksa ilk deneyler bittikten sonra ikinci deneyler tekrar rassal sayılarla belirlenen sıra doğrultusunda yapılır.

Basit tekrarda da bütün deneyler ilk deney olarak seçilmek için eşit şansa sahiptir. Tamamen rassallaştırmadan farkı, tekrarlama söz konusu olduğunda seçilen deney için gerekli olan bütün tekrarlar arka arkaya yapılır. Bu yöntem deneylerin hazırlanışı zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir

Bloklar arasında tamamen rassallaştırma yöntemi ise, sadece bir faktör için deneylerin kurulması ve değiştirilmesi zor veya pahalı olduğunda uygulanmaktadır. Eğer A faktörünün değiştirilmesi zor ise deney iki blokta tasarlanabilir. A₁ faktörünü içeren deneylerin tümü tamamlandıktan sonra, A₂ faktörünü içeren deneyler yapılır.

Deneyler yapılırken seçilen her bir deney tasarımının birden fazla sayıda test edilmesi istatistiksel olarak deneyin güvenilirliğini arttıracaktır. Tekrarlamalar yapılarak

hata payının azaltılmasının sağlanacağı gibi kontrol edilemeyen faktörlerin deney sonuçları üzerindeki etkisinin azaltılması ve bu etkilerin daha kolay ölçülmesi sağlanır (Açar, 2001: 67).

2.5.9. Verilerin Analizi

Deney sonuçlarının çözümlenmesinde gözlem metodu, sıralama metodu, sütun farkları metodu, grafiksel metot ve varyans analizi (ANOVA) metodu kullanılabilir. Taguchi, bir anlamda basitleştirilmiş ANOVA olan sütun etkileri metodunu önermektedir

➤ Sütun Farkları Metodu

Bu yöntem Taguchi tarafından kullanılan basitleştirilmiş varyans analizidir. Çıktı üzerinde büyük etkisi olan sütunlara vurgu yapan öznel bir metottur. Sütun etkileri metodu her bir sütun için, 1. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçlarının toplamının 2. düzeyin kullanılması ile ortaya çıkan deney sonuçları toplamından çıkarılması esasına dayanır. Böylece her bir sütun için, sayısal bir değer elde edilecek ve bu değer büyüklüğü ilgili sütunda incelenen faktör ya da etkileşimin etki derecesine karar verecektir (Ross, 1995: 185).

Sütun farkları metodu ile performans karakteristiği üzerinde fark meydana getiren faktörler ve bu faktörlerin birbirlerine göre göreceli etki değerleri bulunabilir.

Göreceli olarak en büyük etkileri tespit etmek için farkların büyüklükleri birbiriyle karşılaştırılır. Göreceli büyüklükler, sonuçlara etki eden faktörlerin göreceli gücünü gösterir. En güçlü faktörler veya etkileşimler en büyük farka sahip olacaktır.

➤ Sinyal/Gürültü Oranı

Deney sonuçlarının yorumlanması noktasında Taguchi'nin önerilerinden bir diğeri ise Sinyal Gürültü Oranlarıdır. Performans kriteri olarak kullanılmak üzere önerilen Sinyal Gürültü Oranları (SN) kontrol edilemeyen gürültü faktörlerinin varlığı halinde varyasyonun bir ölçüsüdür. Taguchi, parametre tasarımının mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere 60'ın üzerinde sinyal gürültü oranı tanımlamıştır (Anthony, 2001: 135). Bunların en yaygın olanları; En büyük-en iyi, en küçük-en iyi

ve hedef değeri en iyi şekilde tanımlanmıştır. Her üç durumda da maksimize edilmesi amaçlanan bu oranlar şu şekilde tanımlanmıştır;

En Küçük - En İyi:

$$S/N = -10 \log \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i^2}{n} \right] \quad (24)$$

En Büyük – En İyi:

$$S/N = -10 \log \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{y_i^2} \right] \quad (25)$$

Hedef Değer – En İyi

$$S/N = 10 \log \left[\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right] \quad (26)$$

Ancak bazı istatistikçiler SN oranlarının optimal sonuçlar vermeyeceğini savunmuş ve standart sapma analizini önermişlerdir. Yani her bir deneme için elde edilen standart sapma (S) analiz edilip varyasyonu etkileyen faktör veya etkileşimler de ortaya çıkarılabilir. Ancak varyasyona ilişkin yorumların sağlıklı yapılabilmesi için denemelerin en az 5 tekrarlı yapılması tavsiye edilmektedir (Şirvancı, 1996: 59).

➤ Faktör Etkilerinin Grafikselleştirme Metodu

Bu metod faktör ve etkileşimlere ait farklı seviyelerdeki gözlem değerlerinin performans istatistiklerinin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Seçilen faktör için performans istatistiği değerinin büyük ve küçük değerleri belirlenir. Tüm faktörlerin ortalama performans değerlerini kapsayan değerleri düşey bir skala üzerinde işaretlenir.

Her faktörün düşük ve yüksek seviyedeki performans istatistiği değerleri bu grafikte işaretlenir. Bu noktalardan biri genel ortalama çizgisinin altında diğeri üstünde kalacaktır. Bunlar genel ortalamadan eşit uzaklıktadır. Daha sonra bu grafikler incelenerek amaçlar doğrultusunda en uygun faktör-seviye kombinasyonu seçilir (Canıyılmaz, 2001: 76).

2.5.9.1. Varyans Analizi (ANOVA)

Ürün ya da proses geliştirmenin amacı müşterilerin beklenti ve ihtiyaçları doğrultusunda ürün veya prosesin karakteristik özelliklerini belirlemek ve iyileştirmektir. Deney tasarımının amacı ise hangi faktörlerin ürün veya prosesin karakteristik özelliklerini ne ölçüde etkilediğini ortaya koyarak optimum performansı yakalayacak seviyeleri tespit etmek ve bu seviyeler etrafında oluşacak olan değişkenliği kontrol altına alarak azaltmaktır (Fowlkes, Creveling, 1995: 98).

ANOVA yani varyans analizi, deneysel bilgilerin analizinde ve gerekli kararların verilebilmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Temelde basit bir yöntemdir ve sadece bir grup değerlerin ortalama performansa kıyasla oluşturduğu farkı ve değişkenliği incelemektedir (Neter, Wassermann ve Whitmore, 1999: 527). ANOVA, test edilen grupların ortalama performansındaki değişimi tespit etmek için kullanılan yöntemdir ve temelde varyansın, yani değişkenliğin değil, faktörlerin ve bu faktörlerin farklı seviyelerinin yol açtığı değişimin ölçülmesidir.

Varyans analizi toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Deneysel dizayn esasında varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930'larda İngiliz İstatistikçisi Fisher tarafından geliştirilmiştir. İsminin baş harfi F'ye dayanılarak yöntem "F testi" diyenler de vardır. Varyans analizi tek faktörlü, iki faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduklarından çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır (Ross, 1989: 178).

Varyans Analizinde kullanılacak olan formüller aşağıda verilmiştir.

➤ Kareler Toplamı

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_e \quad (27)$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (28)$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (29)$$

$$SS_{A \times B} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(A \times B)_i^2}{n_{A \times B_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (30)$$

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B} \quad (31)$$

SS_T : Genel kareler toplamı

SS_A : A faktörüne ait kareler toplamı

$SS_{A \times B}$: A ve B faktörlerinin etkileşim faktörüne ait kareler toplamı

SS_e : Hata kareler toplamı

N : Ölçümlerin toplam sayısı

y_i : i. ölçüm değeri

T : Tüm ölçümlerin toplamı

$\bar{y}$: Tüm ölçüm değerlerinin ortalaması $= \frac{T}{N} = \bar{y}$

k_A : A faktörünün seviye sayısı

A_i : A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı

n_{A_i} : A_i seviyesi altında ölçüm sayısı

c : Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı
 (AxB)_i : A ve B faktörlerinin i. koşulu altındaki verilerin toplamı

Tablo 21: Varyans Analizi Sonuç Tablosu

Değişimin kaynağı	Serbestlik Derecesi (sd)	Kareler Toplamı (SS _T)	Kareler Ortalaması (SS _m)	F _{hesap}
Deneme (denemeler arası)	k-1	SS _{deneme}	SS _{m(deneme)}	$SSm(deneme) / SSm(hata)$
Hata (denemeler içi)	N-k	SS _{hata}	SS _{m(hata)}	
Genel	N-1	SS _{genel}		

Kaynak: Kasap, 2006: 49.

2.5.9.2. Serbestlik Derecesi

Varyans analizini tamamlayabilmek için gerekli olan diğer kavram da serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi istatistiksel olarak bakıldığında ölçümleri sonucunda elde edilen veriler yardımıyla tahmin edilen her bilgiyle ilişkilendirilebilir. Yapılan deneyler sonucunda ölçülen veriler aracılığı ile yapılabilen bağımsız her karşılaştırma bir serbestlik derecesine eşittir. Dolayısı ile eğer 10 deney yapılmış ve 10 veri elde edilmişse, bunlar arasında 9 karşılaştırma yapılabilir. Bunun yanı sıra eğer ortalama değer de ANOVA hesabına katılırsa bir karşılaştırmada 10 ölçümün ortalaması ile 0 değeri arasında yapılabilir. Bu durumda bir serbestlik derecesi de buradan doğar. Böylece ortalama değer tahmin edildiği durumlarda serbestlik derecesi 10 olur. Yani yapılan deney sayısı ile elde edilen veri aynı olur (Fowlkes, Creveling, 1995: 100).

Aşağıda varyans değerine ilişkin formüller verilmektedir;

$$Sd_T = Sd_A + Sd_B + Sd_{A \times B} + Sd_e \quad (32)$$

Sd_T : Toplam serbestlik derecesi

Sd_A : A faktörünün serbestlik derecesi

Sd_m : Ortama değerin serbestlik derecesi

$Sd_{A \times B}$: AxB faktörünün serbestlik derecesi

Sd_e : Hata serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksigidir;

$$Sd_T = N - 1 \quad (33)$$

Bir faktör ya da sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksigidir;

$$Sd_A = k_A - 1 \quad (34)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşim faktörlerinin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$Sd_{A \times B} = (Sd_A) \cdot (Sd_B) \quad (35)$$

Hata serbestlik derecesi ise toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinden çıkartılması ile bulunur.

$$Sd_e = Sd_T - Sd_A - Sd_B - Sd_{A \times B} \quad (36)$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise serbestlik derecesi;

$$Sd_T = (\text{Deneme sayısı}) \cdot (\text{Tekrar sayısı}) - 1 \quad (37)$$

2.5.9.3. Varyans Değeri

ANOVA'da hesaplanan bir başka değer de varyans değeridir. Varyans değeri Varyans karelerin toplamının buna ilişkin serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Burada varyans değeri ile bahsedilen aslında hata varyansıdır.

A faktörünün varyansı;

$$V_A = \frac{KT_A}{Sd_A} \quad (38)$$

Aynı şekilde hata varyansı da hata kareler toplamının, hata serbestlik derecesine bölümü ile bulunur. Hata varyansı hata (kontrol edilemeyen) faktörlerden kaynaklanan değişimin ölçüsüdür ve deneylerdeki ölçüm hatalarını da kapsamaktadır.

$$V_e = \frac{KT_e}{Sd_e} \quad (39)$$

Standart sapma değeri tanım olarak hata varyansının kareköküdür. S değeri, yapılan deneylerin sonucunda hesaplanan standart sapmadır. Toplam olarak bakıldığında ise gerçek standart sapma değeri σ ile ifade edilir ve standart sapma değeri S, σ değerinin sadece deneylerle elde edilen ölçüm değerleri yardımıyla hesaplanan bir tahminidir (Fowlkes, Creveling, 1995: 101).

$$S = \sqrt{V} \quad (40)$$

Standart sapma ve dolayısı ile hata varyansını hesaplamak için kullanılan formüller ise şu şekildedir:

Standart sapma için:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1}} \quad (41)$$

Varyans değeri için;

$$S^2 = V = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1} \quad (42)$$

Ortogonal dizinde atama yapılmamış olan sütunların genel kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir. Deneyler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen ancak varyans analizi sonucunda etkisinin göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu düşünülen bazı faktörler olabilir. Bu faktörlerin varyansları da hata varyansına eklenebilir.

2.5.9.4. F- Testi

F- Testi istatistiksel olarak bakıldığında hedeflenen bir güvenilirlik seviyesi çerçevesinde belirli bir kararın verilebilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Belirli iki değer arasında önemli bir farklılık olup olmadığı F-testi ile tespit edilir. İsmi ANOVA'yı geliştiren Sir Ronald Fisher'den almıştır. Deney tasarımı, analiz sırasında faktörlerin hesaplanan etkisinin hangi güvenilirlik seviyesi içerisinde olduğunun kontrol edilmesi şeklindedir (Ross, 1995: 132).

Eğer bu oran yeteri kadar büyükse, iki örnek varyansının belirli bir güvenilirlik seviyesi çerçevesinde “eşit olmadıkları” veya “birbirlerinden farklı oldukları” ortaya konur. Belli bir güvenilirlik seviyesi oranı için ulaşılması gereken F oranları F tablolarından alınır.

F testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleriyle, belirlenen güven düzeyindeki F tablo değerleri karşılaştırılır, tablo oranından büyük F değerine sahip olan faktörlerin performans karakteristiği üzerine etkisinin önemli olduğu düşünülür. İki örnek varyansı arasında istatistiksel olarak yeteri kadar büyük bir F oranının olup olmadığını belirlemek için üç önemli bilgiye ihtiyaç duyulur. Bunlardan birincisi hedeflenen güvenilirlik seviyesidir(α). İkincisi ise örnekleme dağılımının payında bulunan serbestlik derecesi(v_1). Üçüncü olarak de örnekleme dağılımının paydasında bulunan serbestlik derecesi(v_2).

Tablo 21’de varyans analizi sonuç tablosundan elde edilen F değeri faktör ya da etkileşim varyansının hata varyansına oranıdır (Düzgüneş vd., 1987: 76).

F testi basit olarak bakıldığında değişkenliklerin birbirine oranıdır ve matematiksel bir formül olarak aşağıda ifade edilmiştir.

$$F = \frac{S_{y1}^2}{S_{y2}^2} = \frac{V_{y1}}{V_{y2}} \quad (43)$$

Burada;

$$F_{tablo} = f_{a, v_1, v_2} \quad (44)$$

α : anlamlılık düzeyi

v_1 : faktörün serbestlik derecesi

v_2 : hata serbestlik derecesi

2.5.9.5. Deney Sonuçlarının Yorumu

Verilerin analizi tamamlandıktan sonra analiz sonuçlarına bakılarak önemli faktör veya etkileşimler belirlenir. Verilerin yorumlanmasında kullanılan bazı metotlar aşağıda açıklanmıştır (Ross, 1989: 182).

➤ Katkı Yüzdesi

Deneyde gözlenen her bir önemli faktör ve etkileşime yüklenen toplam değişkenlik oranı katkı yüzdesi ile yansıtılmaktadır. Katkı yüzdesi önemli faktörlerin karelerinin toplamının bir fonksiyonudur ve değişkenliği azaltabilmek için faktör ya da etkileşimin gücünü göstermektedir. Eğer faktör ve etkileşim seviyeleri tam olarak kontrol edilebilirse toplam değişkenlik katkı yüzdesi ile belirlenen miktarda azaltılabilir.

Bir faktör veya etkileşimin varyansı, aynı zamanda hata varyansını da içerdiği kabul edilmektedir. Bu durumda;

V_A , sadece A faktörüne ait beklenen varyanstır.

$$V_A = V_A' + V_e \quad (45)$$

$$V_A' = V_A - V_e \quad (46)$$

A Faktörü için varyans;

$$V_A = \frac{SS_A}{Sd_A} \text{ ise,} \quad (47)$$

$$V_A' = \frac{SS_A'}{Sd_A} \text{ olur} \quad (48)$$

$$\frac{SS_A'}{Sd_A} = \frac{SS_A}{Sd_A} - V_e \text{ olduğuna göre;} \quad (49)$$

$$SS_A' = SS_A - (V_e) \cdot (Sd_A) \text{ dır.} \quad (50)$$

SS_A' , A faktörüne göre kareler toplamının beklenen değeridir. Buradan toplam varyanstaki katkı yüzdesi (P) hesaplanabilir.

A faktörü için katkı yüzdesi aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi bulunur.

$$P_A = \frac{SS_A'}{SS_T} \times 100 \quad (51)$$

Hatanın katkı yüzdesi (P_e) , deneyin yeterliliği ile ilgili bir tahmin değerinin bulunmasını sağlamaktadır. Eğer hata katkı yüzdesi düşükse, bu deney tasarımında hiçbir önemli faktörün etkisinin gözden kaçırılmadığı görülür. Hata katkı yüzdesinin yüksek çıkması ise bazı önemli faktörlerin etkisinin deneylere dahil edilmediğini gösterir.

➤ Ortalama Tahmini

Ortalamanın tahmini, belirlenen en iyi faktör-seviye kombinasyonu için performans karakteristiğinin beklenen değerinin hesaplanabilmesine yarar. Belirlenen kombinasyondaki faktör seviyelerinin ortalama değerleri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$\mu_{A_1A_2} = A_1 + B_1 - (n-1)\bar{T} \quad (52)$$

Burada;

n = Belirlenen faktör-seviye kombinasyonundaki faktör sayısı

$\bar{T}$ = Seçilen faktör-seviye kombinasyonundaki faktörlerin tüm seviyelerinin ortalamasıdır.

➤ Tahmin Edilen Ortalama Etrafında Güven Aralığı

Ortalamanın tahmini (μ) deneyden elde edilen sonuçların ortalamalarına dayandırılan bir nokta tahminidir. Deney tasarımcısı belirli bir güven düzeyinde gerçek ortalamanın içine düşmesi beklenen bir dağılım aralığına sahip olmayı ister. Güven aralığı belirlenen güven düzeyinde gerçek ortalamanın, arasına düşmesi beklenen maksimum ve minimum değer aralığıdır. Güven düzeyi istatistiksel anlamda hata payının bırakılması anlamına gelmektedir.

Doğrulama deneyi, seçilen faktör-seviye kombinasyonunun ürün veya prosesin performans karakteristiği üzerindeki etkilerinin belirli bir biçimde davranmasına sebep olup olmadığını doğrulamak için yapılır. Seçilen sayıda deney belirlenen koşullarda yapılır ve gözlemlerin öngörülen değere yakın olması beklenir.

Ortalama etrafındaki güven aralığı aşağıdaki formül ile hesaplanır (Ross, 1989; 190).

$$G.A. = \sqrt{F_{a, sd_T, sd_e} \cdot V_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (53)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + c} \quad (54)$$

Burada;

- C = μ bulunurken kullanılan tüm faktörlerin toplam serbestlik derecesi
r = Yapılan doğrulama deneyi sayısı
Sd_T = Ortalamaya ait serbestlik derecesi olup daima 1'e eşittir
Sd_e = Hata serbestlik derecesi
V_e = Hata varyansı
N = Deney sayısı

Performans karakteristiklerinin değerlerinin aşağıda gösterilen, eşitlikteki aralıkta olması beklenir.

$$\mu - G.A. \leq \text{performans karakteristiği değeri} \leq \mu + G.A.$$

2.5.10. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Son aşamada deney seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanır. Bu doğrulama deneyleri sonucunda elde edilen değerler beklenen güven aralığının içinde ise bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerini veren kombinasyondur ve deney tasarımı amacına ulaşmıştır.

Ancak doğrulama deneyi sonuçları belirlenen güven aralığı değerleri içerisinde değilse o zaman yapılan deney tasarımı bir başarısızlık vardır. Bu durumda proses tekrar incelenir ve hatalar tespit edilmeye çalışılır. Hataların bulunması ile deney tasarımı tekrar başlatılarak en iyi faktör-seviye kombinasyonu bulunmaya çalışılır.

2.6. TAGUCHI YÖNTEMİ İLE DİĞER DENEY TASARIMI TÜRLERİ ARASINDAKİ FARKLAR

Taguchi yöntemi bir kesirli faktöriyel deney tasarımı türüdür. Ancak Taguchi'nin bu deney tasarımı kattığı yeni fikirler ile son zamanlarda özellikle sanayi uygulamalarında hem kesirli faktöriyel deney tasarımı hem de diğer deney tasarımı yöntemlerine göre belirgin olarak öne çıkmıştır.

Klasik deney tasarımı türleri, mühendislerin ve bilim adamlarının deneylerin etkinliklerini geliştirmek için başvurdukları istatistiksel yöntemler bütünüdür. Klasik deney tasarımı yöntemlerinde vurgu, istatistik metotlarının uygulanması üzerinedir. Taguchi yönteminde ise kaliteyi müşteri gibi algılayarak geliştirme amacına yönelik kullanılan istatistiksel ve istatistiksel olmayan yöntemler bütünüdür. Taguchi yönteminin vurgu yaptığı en önemli nokta ise, gelişmeyi mümkün olduğunca etkin ve verimli olarak başarmaktır.

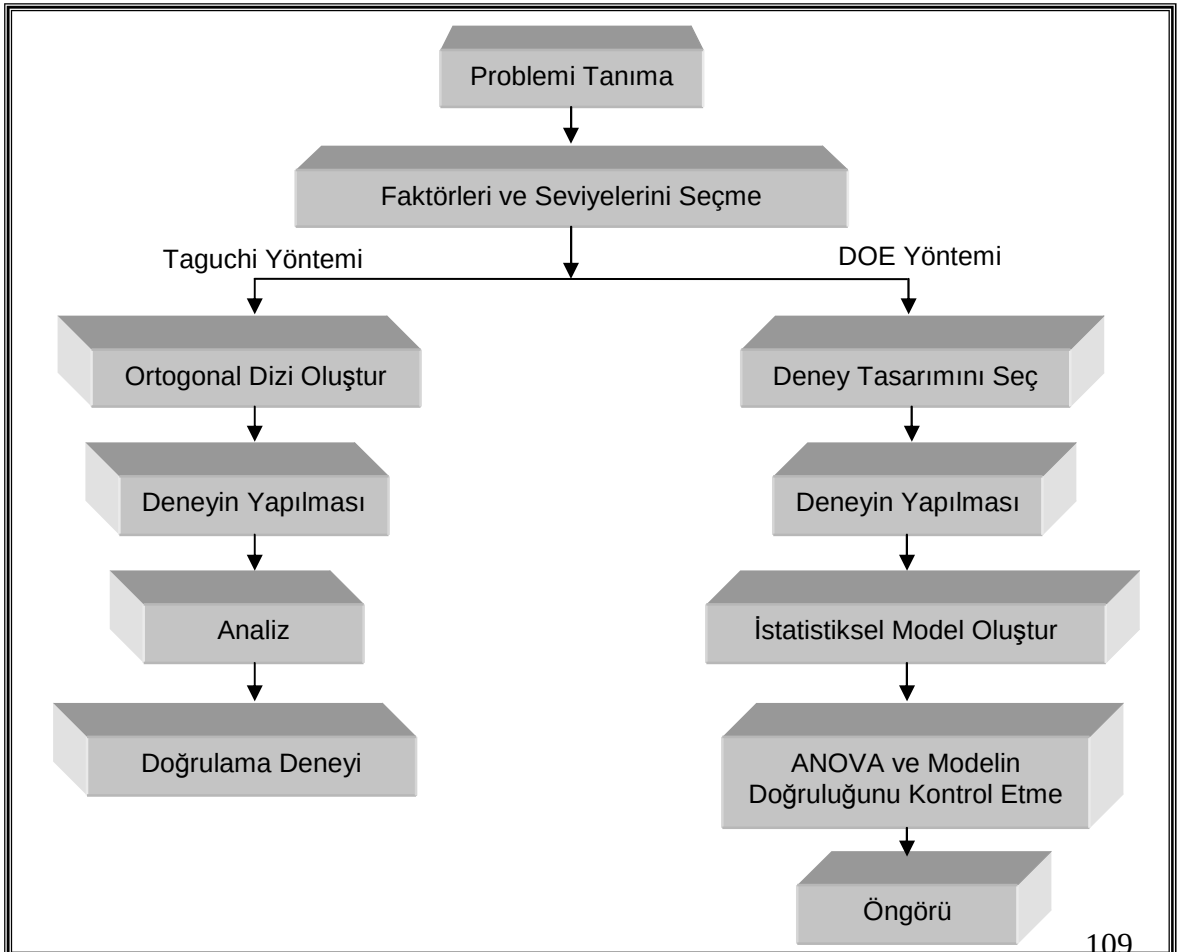
Taguchi yöntemi ve diğer deney tasarımı yöntemleri arasındaki diğer farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şanyılmaz, 2006: 51).

- Klasik yöntemlerde sadece performans karakteristiğinin ortalaması eniyilenirken, Taguchi yönteminde hem performans karakteristiği hem de değişkenlik eniyilenmektedir.
- Klasik yöntemlerde performans karakteristiğinin sadece sürekli biçimi incelenebilirken, Taguchi yönteminde hem sürekli hem de kesikli biçimleri incelenebilmektedir.
- Klasik yöntemlerde daha fazla deney yapmak gerekirken, Taguchi yönteminde çok daha az deney yaparak aynı sonuçlara ulaşmak mümkündür. Taguchi yönteminde bazı etkileşim faktörlerini etkisi göz ardı edildiğinden bir takım bilgilere ulaşılmamaktadır. Ancak deney maliyetlerinde elde edilen tasarruf, sonuçlardan elde edilemeyen bilgiler ile karşılaştırıldığında Taguchi yönteminin verimliliğinin yüksek olduğu gözlenmektedir.
- Kontrol edilebilen faktörler arasında performans karakteristiğinde etkili olan etkileşim faktörlerinin deneye dahil edilmemesi, Taguchi yönteminin başarısını etkileyecektir. Ancak Taguchi yönteminin etkileşim faktörlerini tamamen göz ardı ettiği düşüncesi yanlıştır. Çünkü performans karakteristiği üzerinde etkisi bilinen etkileşim faktörlerinin gerektiğinde bir temel faktör gibi deneylere katılabilmektedir. Bununla birlikte diğer bütün etkileşim faktörlerinin deneylere dahil edilmesi gerekli değildir.

Taguchi yöntemi ile bulunan sonuçlar her zaman tam doğru sonuçlar olmayabilir. Ancak zaman ve maliyet kazanımları nedeniyle, göz ardı edilen bilgi kaybının hatalı çıkarsamalara yol açmaması için doğrulama deneyleri yapılır. Bu tür olumsuz fikirlere rağmen Taguchi yöntemi, endüstride deneysel çalışmaların yapılabilirliğini arttırmış ve bu sayede çözilemeyen veya teşhis konulamayan birçok problemin çözümüne de olanak sağlamıştır.

DOE yöntemi ve Taguchi Yönteminin karşılaştırılması: DOE tasarımcının girdi parametrelerindeki değişikliklerin nedenlerini gözleyebildiği ve tanımlatabildiği test veya testlerin bir serisidir. Şekil 26'da aynı anda DOE prosesini de göstermektedir. Taguchi yönteminde farklı olarak istatistiksel model için simülasyon ve deney oluşturulur. Bu nedenle hem deneyden önce hem deneyden sonra, modelin bazı kabulleri ve geçerlilikleri yapılmalıdır. Deney stratejisi, bir parametreyi değiştirmektir ve her bir adımda kalan parametreleri sabit tutmaktır. Bu nedenle deney ve simülasyon zamanları, daha önce tanımlanmış olan Taguchi yönteminden daha uzundur. Burada varyans analizi ve diğer istatistiksel yöntemler kullanılır (Lin, Tseng, 2000: 5).

Şekil 26: Taguchi Yöntemi ve DOE Yöntemi



Kaynak: Lin, Tseng, 2000: 5.

DOE Yönteminde, deney matrisi bütün faktör ve seviyelerinin kombinasyonlarının hepsini içerir. Bu yüzden, analitik aşamasında istatistiksel modelleri oluşturmak için deney verileri yeterlidirler. DOE Yönteminde kuvvetli istatistik özünden dolayı, ANOVA DOE'de uygulanır, fakat Taguchi Yönteminde uygulanmaz. ANOVA, DOE'de duyarlılık analizi sağlar ve parametrelerin özellikleri anlaşılabilir. Aynı zamanda, tasarım parametrelerinin eniyi kombinasyonlarını bulmak için öngörü yapılabilir (Lin, Tseng, 2000: 6).

2.7. TAGUCHI YÖNTEMİNE YÖNELİK ELEŞTİRİLER

Kalite iyileştirmede Taguchi yaklaşımı, varyans indirgemesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Taguchi'nin varyans indirgenmesi metodu istatistiğe ve mühendisliğe çok önemli bir katkı olarak kabul edilmektedir. Daha önce birkaç yazar Taguchi' den önce gürültü faktörlerinin kullanılmasını önermekle birlikte, Taguchi'nin bu önerileri varyans indirgenmesinde kullanımı ile ilgili fikirleri orjinaldir ve çok büyük etkiye sahiptir (Myers, Montgomery, 1995: 471).

Taguchi metodunda analiz yöntemi basit ve çaprazlanmış dizi kavramıyla bağlantılıdır. Taguchi, nadiren kontrol faktörleri arasındaki etkileşimleri ele almaktadır. Taguchi tarafından ortaya konan tasarımların birçoğu bu etkileşimlerin tahmin edilmesine olanak vermemektedir. Taguchi'nin önerdiği tasarımların çoğu, doyurulmuş veya yaklaşık olarak doyurulmuş Plackett – Burman tasarımlarıdır ve kontrol faktörleri arasındaki etkileşimlerin tahmin edilmesine olanak vermemektedir. Standart varyans analizi teknikleri SN oranını etkileyen kontrol faktörlerinin tanımlanması için kullanılır. Ayrıca, varyans analizi, olası düzeltme faktörlerinin araştırılması için y üzerinde de uygulanır. SN oranını etkileyen faktörler SN oranını maksimize edilen seviyelere getirilirken y'yi etkileyen faktörler, ortalamayı hedefe yaklaştıran seviyelere getirilirler (Özler, 1997: 169).

Taguchi tarafından önerilen modeller çok yaygın olarak kullanılmakta ve kabul görmektedir ancak, modellerin istatistiksel yöntemlerine ilişkin bazı eleştiriler bulunmaktadır.

Çaprazlanmış dizi veya çarpım dizisi, biri gürültü faktörleri, diğeri kontrol faktörleri için olmak üzere, iki deney tasarımı ile kurulur. Bu iki tasarımın her ikisi de doyurulmuş ya da yaklaşık doyurulmuş olduğu için genellikle ekonomiktir. Bununla beraber iki tasarımın çarpımı, çoğu kez ekonomik bir tasarım türetmeyebilir (Özler, 1997: 170).

Box (1988), Easterling (1985), Pignatiello ve Ramberg (1991), Taguchi'nin katkılarını ve batıda geliştirilen istatistiksel yöntemler bağlamında eleştiriler sunmuşlardır. Box, standart veri transformasyonu yöntemlerinin, Taguchi'nin SN oranlarından nasıl daha etkin olabileceğini göstermiştir. Box, Taguchi'nin Robust tasarım yaklaşımında ardışık araştırmaların yetersizliğine değinmiştir. Ayrıca Taguchi'nin tasarım seçimindeki kısıtlamaları bulunduğunu ifade etmiştir.

Barker; Taguchi ve Wu; Byrne ve Taguchi, faktörlerin (proses değişkenleri) her biri için eniyi ayarı belirlemek için marjinal ortalamalar grafiklerini kullanmışlardır. SN oranı veya proses ortalaması gibi ilgili değeri eniyilemek için bu faktör değerleri ile proses çalıştırılarak sonuç çıkarılmaya çalışılmaktadır. Genelde bu çalışmaz. Bu yaklaşım, faktörlerin değiştirildiği ve herhangi bir zamanda bunların yanıt değişkenindeki etkisinin incelendiği bir deneye oldukça benzerdir. Her bir faktörün ayarını belirlemek için yapılan deney, diyelim ki yanıt değişkeninin değerini maksimize etmek gibi ise, etkileşim etkilerinin tümü sıfır olmadıkça, böyle bir yaklaşım ister istemez çalışmayacaktır (Ryan, 1988: 34).

Taguchi'nin robust parametre tasarımı yaklaşımıyla ilgili beş önemli eleştiri bulunmaktadır. Bunlar (Baynal, 2003: 181);

- Sinyal gürültü oranının yetersizliği,
- Tasarım değişkenlerini modellemede esneklik eksikliği,
- Deney tasarım planının ekonomik olmayışı,
- Eniyileme ile ilgili zihinsel meşguliyet,
- Ardışık deneye formal izin olmaması.

2.8. ÇOK YANITLI PROBLEMLER

Birden fazla değişken ve her değişkenin de birden fazla seviyesi söz konusu olduğu bir problemin en uygun çözüm değerlerinin bulunması çalışmasına "çok seviyeli, çok değişkenli eniyileme problemi" denir. Çoklu seviyenin anlamı her bir parametrenin; örneğin spesifikasyon gibi değişen derecelerde komplekslik gereklerinden oluşmasıdır. Çoklu değişken birden fazla değişken veya faktörün işin içinde olduğu anlamına gelir. Eniyileme, probleme en iyi çözümü bulma eğilimindedir ve bu durumda en rekabetçi çözüm aranır. Var olan eniyileme teknikleri her parametre içindeki ve parametreler arasındaki ilişkilerin bilindiği ve matematiksel olarak ifade edilebildiği problemlerin çözümünde kullanılabilir. Ancak ilişkilerin bazılarının, örneğin beşeri faktörle ilgili olanlar gibi, niteliksel olduğu durumlarda eniyileme problemleriyle uğraşmak son derece zor olabilmektedir (Baynal, 2003: 183).

Çok yanıtli problemlerin eniyilenmesinde Taguchi yöntemi ve Deney Tasarımı (DOE) kullanılan ana tekniklerdir. Bu alanda yapılmış daha önceki çalışmalardan farklı olarak Taguchi yöntemi, eniyileme problemlerini basitleştirmek amacıyla kullanılır. Daha sonra DOE kolay uygulanmaktadır. DOE yöntemlerinin yoğun istatistik esasından dolayı, bu tip yöntemlerde pek çok analiz kullanılabilir (Lin, Tseng, 2000: 5).

Taguchi yöntemleri yaklaşık son on beş yılda ürün kalitesinin ve proses performansının iyileştirilmesinde başarılı olduklarını kanıtlamışlardır. Pek çok Taguchi deneyinde tek kalite karakteristiğinin eniyilenmesi ele alınmıştır. Üretim proseslerinde çoklu kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi yaygın değildir. Ayrıca Taguchi yöntemi kullanıcılarının çok azı bu konuyla ilgilenmişlerdir. Taguchi yöntemlerini kullanan pek çok mühendis, üretim prosesi eniyilenmesinde çoklu kalite karakteristikleriyle ilgilendikleri zaman mühendislik yargısını kullanmışlardır. Bu yaklaşım sübjektiftir ve bu nedenle karar verme prosesinde daima bir belirsizlik ortaya çıkmaktadır (Antony, 2001: 134).

Taguchi'nin parametre tasarımı yöntemi göreceli olarak düşük maliyette yüksek kaliteli ürünleri üretmek için etkin bir yaklaşım olarak kanıtlanmıştır.

Parametre tasarımının amacı (aynı zamanda robust tasarım olarak da bilinir) proses fonksiyonel performanslarını çeşitli varyasyon kaynaklarına duyarsız kılacak, en iyi parametreler kümesini belirlemektir. Bu amacı başarmak için Taguchi istatistiksel deney tasarımının kullanılmasını savunur (Antony, 2001: 134). Taguchi deneylerini kullanan çoklu kalite karakteristiği eniyilemesi mühendisler arasında sınırlı ilgi görmüştür. Kalite karakteristiği, son ürün kalitesini etkileyen ve müşteriler için çok önemli olan performans karakteristiğini tanımlar. Karar verme prosesi esnasında belirsizliği arttıran çoklu kalite karakteristiklerinin eniyilenmesinde mühendislik bilgi ve deneyimine güvenilmektedir (Baynal, 2003: 184).

Çok yanıtlı bir problemde en önemli amaç, tüm yanıtların hedeflerini karşılamak ve tüm yanıtların değişebilirliğini eşzamanlı olarak enküçük değere indirmektir. Yanıtların korelasyon özelliği nedeni ile bu genellikle olanaklı değildir. Dolayısıyla bir uzlaşma devamlı olarak aranır. Ancak robustluk özelliği problemin içinde var olabilecek sınırlamalara yönelik değildir. Bu sınırlamalar olasılık anlamında tahmin edilmelidir (Gencel, 2007: 107).

Çok yanıtlı bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle yanıt değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Yanıtlar arasında var olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda. Birden çok yanıt fonksiyonu eş zamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır (Jarayam, Ibrahim, 1997: 200).

Çok yanıtlı mühendislik problemlerine bir yaklaşım da tek tek yanıtları birleştirici hedefte kombine etmektir. Yarar teorisinde çoklu hedef tekniklerini karşılaştırmak ve eleştirmek için bazı karakteristikler kullanılır. Bunlar riski önlemek, marjinal ikame oranları ve birleştirilmiş fonksiyondaki yanıtların ilişkileridir. Kullanıcı tarafından bilinmese de, çoklu yanıt teknikleri bu karakteristiklerle ilgili kuvvetli varsayımlar taşırlar. Kros ve Mastrangelo'nun, çalışmalarında bu karakteristiklerin dört ya da çok yanıtlı yönteme ait eniyi yanıt üzerine olan varsayımları aydınlatılmaktadır (Kros, Mastrangelo, 2004: 530).

Çok yanıtli bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle, yanıt değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Yanıtlar arasında var olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda, birkaç yanıt fonksiyonu eşzamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır. Bir yanıt için en iyi olan koşullar, diğer yanıtlar için en iyiden uzak, hatta fiziksel olarak uygulanması olanaksız olabilir. Keşifsel bir yaklaşım olarak, tüm yanıtların eş yükselti eğrilerinin üst üste koyularak, koşulların tüm yanıtlar için yaklaşık eniyi olduğu bir bölge belirlenebilir. Bununla birlikte, bu prosedür, çok sayıda girdi değişkeni ve yanıt içeren sistemlerde sınırlıdır. Bundan başka, bir koşullar setini (veya deney bölgesindeki bir noktayı) böyle bir prosedür ile eniyi olarak tanımlamak zordur (Özler, 1997: 134-135).

2.8.1. Çok Yanıtlı Problemler İle ilgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Taguchi yönteminde çok yanıtli problemler çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Phadke(1989) bir VLSI devre üretiminin polisilikon tortu işleminde, kalınlık ve yüzey kusurlarını incelemek için bu yöntemi kullanmıştır. Deneyim ve mühendislik bilgisine dayanarak, çok yanıtli kalite karakteristik probleminde en iyi faktör ve seviyeleri seçmek için bu araştırmasında birkaç tane ödünleşimli devre yapmıştır. Bu çalışma farklı mühendisler tarafından yapıldığında çelişkili sonuçlara ulaşılması muhtemeldir. Bu nedenle Phanke'nin çalışması sadece deneyimli mühendisler tarafından uygulanabilir bir çalışmadır (Baynal, 2003: 214).

Hung, değişik kalite karakteristiği tiplerini (daha büyük daha iyi,daha küçük daha iyi ve nominal en iyi) 0 hedefli nominal en iyi karakteristiğine dönüştürmüş ve SN hesaplamak için her bir kalite karakteristiğine bir ağırlık vermiştir. Ama bu yöntem sürekli ve kesikli veri içeren problemin çözümünde kullanılmamıştır. Uygulamanın bir sonucu da beşli bir kalite karakteristiğinin ağırlığı artırıldığında, söz konusu kalite karakteristiğinin en iyi şartları aynı yönde hareket etmemektedir.

Shiau, kalite karakteristiğinin her bir SN oranına bir ağırlık atamış ve çok yanıtli problemin performans ölçüsünü hesaplamak için bu ağırlıklandırılmış SN değerlerini toplamıştır. Örneğin SN oranlı iki kalite karakteristiği olsun: $SN_1 =$ -

$10\log L_1$ ve $SN_2 = -10\log L_2$. L_1 ve L_2 sırasıyla bu iki kalite karakteristiğinin kalite kaybını verir. Çalışmanın sonuçlarından biri; iki yanıtlı problemin ağırlıklandırılmış SN oranı $SN_0 = w_1(SN_1) + w_2(SN_2)$ olacaktır. Burada w_i , i . Yanıtın ağırlığı olarak kullanılmaktadır (Tong, Su ve Wang, 1997: 368).

2.8.2. Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü

Çok yanıtlı prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi'nin uygulanması aşağıdaki düşünceleri içerir (Baynal, 2003: 216);

- Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılmaz ve toplanamaz.
- Çoklu durumlarda ölçü birimleri, her bir yanıt için farklıdır. Dolayısıyla, her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp farklı olabilir.
- Çoklu durumlarda önem, her bir yanıt için farklıdır.
- Çok yanıtlı durumlarda nominal-en iyi kalite karakteristikleri olduğu zaman ayarlama faktörleri (adjustment factors) seçilebilecektir. Bu özellikle, ortalamayı hedef değere ayarlamak için bir faktör kullanıldığında ve diğer kalite karakteristiklerinde anlamlı bir değişme meydana geldiği zaman doğrudur.

Yukarıda sözü edilen dört problemin çözülmesi için, bir eniyileme prosedürü aşağıda açıklanmaktadır. Çok yanıtlı sinyal-gürültü (MRSN) oranını belirlemek için Taguchi'nin SN oranlarının uygulanması ile bütün yanıtların kalite kayıplarının hesaplanması yoluyla etkin bir yöntem geliştirilmiştir. Sonra geleneksel Taguchi Yöntemi MRSN tabanlı uygulanabilir. Söz konusu eniyileme prosedürü dört aşama içermektedir (Tong, Su ve Wang, 1997: 369);

Aşama 1: Kalite kaybını hesaplamak

- Aşama 2: Çok yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) oranını belirlemek
Aşama 3: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek.
Aşama 4: Doğrulama deneyinin yapılması

Bu aşamalar birer alt başlık altında açıklanmaktadır.

2.8.2.1. Kalite Kaybını Hesaplama

Bu aşamada, her bir yanıt için kalite kaybı hesaplanır. Taguchi'ye göre aşağıdaki üç formül kullanılmaktadır;

Daha küçük daha iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (55)$$

Daha büyük daha iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (56)$$

Nominal en iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_3 \left(\frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2 \quad (57)$$

Burada;

L_{ij} = j. denemede i. yanıtın kaybı

y_{ijk} = k. tekrar ve j. denemede i. yanıt için gözlenen veri

n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2$$

k_1, k_2, k_3 = kalite kayıp katsayıları

Nominal en iyi kalite karakteristiği için Taguchi, SN'i

$$-10 \log_{10}(MSD) = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - T)^2 \right] \quad (58)$$

olarak tanımlamamaktadır. Burada T, hedef değeri gösterir. Taguchi'deki tanımlama:

$$SN = -10 \log_{10} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (59)$$

dır. $\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2$ ve $(\bar{y} - T)^2$ 'nin ikisinin de en küçüklenmesini gerektirmeyen

$SN = -10 \log MSD$ 'yi en büyükleyen en iyi faktör seviyelerini seçmek ana nedendir.

Denklem 59 herhangi bir proses için istenen özellik olan SN'nin en büyüklenmesi $\frac{\bar{y}^2}{s^2}$ 'nin en küçüklenmeye uygun olması gerektiğini gösterir. Sonuç olarak nominal en iyi yanıtı için kalite kaybı aşağıdaki denklemden hesaplanabilmektedir.

$$L = k \left(\frac{s^2}{\bar{y}^2} \right) \quad (60)$$

2.8.2.2. Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirleme

Varyasyonun azaltılmasında ilk olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsünü normalleştirmek gerekmektedir. Her yanıt için, her bir denemedeki kalite kaybı, j. denemedeki en büyük kalite kaybına bölünür. Dolayısıyla normalleştirilen en büyük değer 1'dir. Normalleştirilen daha küçük değer, daha küçük kalite kaybı anlamına gelir. Böylece, normalleştirilen kalite kaybı, 0 ile 1 arasında değişir. Bu yüzden her bir yanıt için kalite kaybı doğrudan doğruya toplanabilir. İkincisi, her denemede normalleştirilen toplam kalite kaybını (TNQL) hesaplamak için her bir yanıtı uygun bir ağırlık verilir. En sonunda, MRSN oranı da TNQL'a dayanarak hesaplanır. Bu üç adım aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir (Tong, Su ve Wang, 1997: 371);

Adım 1: Her bir yanıt için her denemenin kalite kaybını normalleştir.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i}, \quad L_i = \max\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \quad (61)$$

Adım 2: Her deneme için normalleştirilen kalite kaybını hesapla.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \quad (62)$$

$w_i = i$. Normalleştirilen yanıtın ağırlığı ($i = 1, 2, \dots, m$)

Adım 3: Her deneme için MRSN oranı belirle.

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(TNQL_j) \quad (63)$$

2.8.2.3. Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunu Belirleme

Taguchi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumları için beklenen kalite kaybının dolaysız olarak enküçüklenmesini önermektedir. Nominal eniyi durumu için Taguchi, iki aşamalı, yani SN oranını enbüyüklemek ve sonra ortalamayı hedef değere ayarlamak, bir eniyileme (optimizasyon) prosedürü önermektedir. Bu kavramlara dayandırılan çok yanıtlı problemlerde eniyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek için kullanılan prosedür aşağıda açıklanmaktadır(Tong, Su ve Wang, 1997:373);

Adım 1: Faktör etkilerini hesapla.

- MRSN değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele.
- Nominal en iyi durum için ortalama yanıt değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele.

Adım 2: En iyi kontrol faktörlerini ve bunların seviyelerini belirle.

- MRSN üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörünü bul.
- Her bir kontrol faktörü için MRSN üzerinde enbüyük değere sahip olan eniyi seviyeyi belirle.

Adım 3: En iyi ayarlama faktörlerini belirle: Eğer çok yanıtlı problemlerde nominal en iyi karakteristiği varsa, uygun ayarlama faktörleri tanımlanmalıdır. Dört durum vardır;

- Daha küçük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
- Daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
- Daha küçük daha iyi, daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin en iyilenmesi durumu
- Hepsinin nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu.

Aşağıdaki iki gereksinimi karşılayan bir faktör, 1., 2. ve 3. durumlar için bir ayarlama faktörü olarak seçilebilir. Birincisi, nominal en iyi karakteristikler için, MRSN'de anlamlı etkiye sahip olmayan, fakat ortalama yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahip olan herhangi bir faktör, ayarlama faktörü olarak seçilebilir. İkincisi, ayarlama faktörü, ortalama hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumlarının amacını eşzamanlı olarak karşılamalıdır. MRSN' de anlamlı etkiye sahip olmayan, onun (aday faktörün) kalite karakteristiği için ortalama yanıt üzerinde etkiye sahip olan ve diğer kalite karakteristikleri için ortalama yanıt üzerinde bir etkiye sahip olamayan herhangi bir faktör 4. durum için ayarlama faktörü olarak seçilebilir (Tong, Su ve Wang, 1997: 371);

Çok yanıtlı bir problemde eniyi ayarlama faktörlerini belirlemek için ana noktalar yukarıda verilmiştir. Bu ana noktalardan, eniyilenecek çok yönlü karakteristikler olduğu zaman, eniyi ayarlama faktörlerini belirleme işleminin daha karışık hale geldiği sonucu çıkarılabilir. Bazen, uygun ayarlama faktörleri seçmek için gerekli ödünleşimler (trade-offs) yapılmalıdır. Bununla birlikte, ayarlama faktörlerinin seçiminde Phadke; uygun şekilde değiştirilebilen bir ayarlama faktörünün bulunmasının ortalama hedefe getiren ayarlama faktörünün

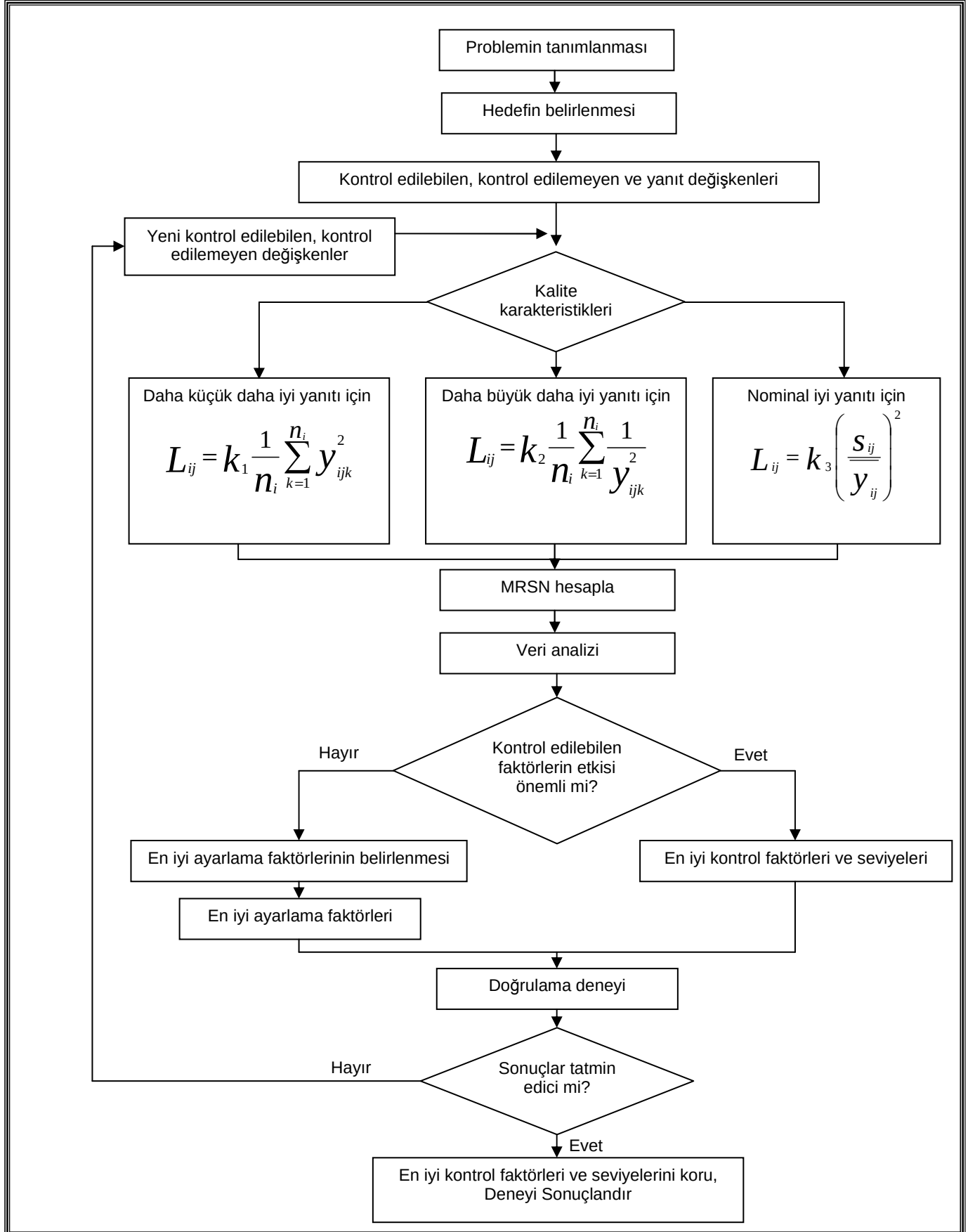
seviyesini bulmaktan daha yüksek önceliğe sahip olduğunu vurgulamaktadır (Baynal, 2005: 220).

2.8.2.4. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Eniyileme prosedüründe doğrulama deneyi için MRSN değeri olan temel sınırlama, denklem 63 kullanılarak hesaplanamaz. Bununla birlikte, gözlenen MRSN ile öngörülen değerin karşılaştırılması çok önemli değildir. Doğrulama deneyi, deneyle elde edilen eniyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve öngörülen SN oranları birbirlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin (additive model) iyi bir öngörü olduğuna karar verilebilir. Sonuç olarak, önerilen en iyi durum, proses için benimsenebilir. Eğer yanıtlardan biri için öngörülen ve gözlenen SN oranları birbirlerine yakın değilse, toplamalı model yetersizdir ve belki de etkileşimler önemlidir diye kuşkulandırılabilir. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir (Tong, Su ve Wang, 1997: 372).

Bu prosedürün asıl gücü, onun evrensel olmasındadır; her türlü çok yanıtlı problemde kullanılabilir; sürekli ve kesikli veri tiplerine eşzamanlı olarak uygulanabilmektedir. Taguchi yönteminde çok yanıtlı problemlerin çözümü için eniyileme prosedürü şekil 27’de görüldüğü gibidir. Yapılan çalışmada bu prosedür kullanılmıştır. Çalışma traktörler için emniyet kabinleri üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir.

Şekil 27: Taguchi Yönteminde Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü



2.9. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Taguchi yöntemi ile kalite geliştirme çalışmalarına olan ilgi son dönemlerde artmaktadır. Yapılan araştırmalar sırasında tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda Taguchi yöntemi ile ilgili yapılan akademik çalışmaların sayısının arttığı anlaşılmıştır. Bu bölümde konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalara değinilmektedir.

White (1989), “Altın Kullanımını Azaltmada Taguchi Yönteminin Kullanılması Ve Sürecin Eniyilenmesi” isimli çalışmasında bir temas mili üzerindeki kaplama alaşımındaki altın oranının azaltılıp bakır oranının artırılması ile ilgili bir uygulama yapmıştır. İki aşamada gerçekleştirdiği çalışmada ilk olarak Taguchi yöntemini kullanarak performans karakteristiği üzerinde etkisi olabileceğini düşündüğü etkileşimleri belirlemek ve önemsiz faktörlerin elemine edilmesi için her biri iki seviyeli olan 9 temel faktör ve 5 etkileşim faktörü ile $L_{16}(2^{15})$ ortogonal dizinini kullanmıştır. İkinci aşamada ilk aşamadan elde ettiği sonuçlarla faktörlerin seviye sayılarını artırarak asıl sürecin geliştirilmesi aşmasına geçmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda temas mili imalatında kullanılan altın yoğunluğu %66 oranında azaltılmıştır.

Ross ve Sykes (1989), “Sıcak Damgalama Sürecinin En İyilenmesi” isimli çalışmalarında tasarım aşamasının yaklaşık iki ayda bitirilmesi düşünülen bir sıcak damgalama sürecinin tasarım aşamasında Taguchi yöntemini kullanarak imalat aşaması dahil bütün çalışmanın bir ay kadar bir sürede bitirilmesini sağlamışlardır. Dört tanesi iki seviyeli 1 tanesi ise 4 seviyeli olan 5 faktörün performans karakteristiği üzerine etkilerini araştırmak için yapılan probleme uygun hale getirilmiş bir $L_8(2^7)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Uygulamada yapılan bu çalışmalar çalışmanın yürütüldüğü şirkete yaklaşık 20.000 dolarlık bir kar sağlamıştır.

McCarte (1989), “Teknelerde Hız Kontrol Sübap Boşluğunun Optimizasyonu” konulu çalışmasında, kendisine ait olan bir teknenin hız sabitleyicisinin etkinliğini arttırmak için Taguchi yönteminden faydalanmıştır. Uygulamada, hız sabitleyicisinin etkinliğini arttırmak için fırlatma gücünün ‘hedef değer en iyi’ yaklaşımı ile iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Her biri 2 seviyeli 8 faktörlü bu deney tasarımı için L_{16} ortogonal dizininden yararlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda motorun fırlatma gücü %17 oranında azaltılarak, hız sabitleyicisinin değişkenliği %45 oranında azaltılmıştır.

Yang ve Tarnq (1997), “Tornalama İşlemleri İçin Kesici Parametrelerinin Tasarımının En İyilenmesinde Taguchi Yöntemi” isimli çalışmalarında tungsten kalsiyum karbür kullanılarak S45C çelik barların tornalanmasında kullanılan kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yönteminin kullanmışlardır. Her biri 3 seviyeli 4 temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için $L_9(3^4)$ ortogonal dizinini kullanmışlar ve performans karakteristiği olarak yüzey pürüzsüzlüğü ve kesici takım ömrünü kullanmışlardır. Çalışmada performans istatistiği olarak SN oranını kullanmışlardır. Deneylerden elde edilen veriler ise varyans analizi kullanılarak analiz edilmiştir.

Kağnicioğlu (1998), “Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi Ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yönteminin Uygulanması” isimli çalışmada ilk olarak Taguchi yöntemini teknik olarak ele almıştır. Yapılan uygulama çalışmasında termik santrallerden çıkan kükürtdioksit gazının giderilmesi için sitrat yönteminin kullanılmasını araştırmıştır. Yöntemin optimum sonuçlarını alabilmek ve seçilen faktörlerin en iyi seviyelerinin bulunabilmesi için Taguchi yönteminden faydalanılmıştır. Uygulama çalışmaları laboratuvar ortamında yapılan deneyler ile gerçekleştirilmiştir. Sitrat yönteminin optimum sonuçlarının alınabilmesi için üç ayrı performans istatistiğinin eniyilenmesi istenmektedir. Çalışmada $L_{18}(2^13^7)$ ortogonal dizini kullanılarak tam faktöriyel deney tasarımı ile 162 deney sonucunda bulunabilecek optimum faktör seviye kombinasyonu yalnızca 38 deney ile bulunmuştur.

Crisp (1998), “Dizel Enjeksiyonlu Motorların Gücünün En İyilenmesi” adlı çalışmada test sürüşleri sırasında bir birim dizel yakıt kullanımında, motorun çalışma süresinin artması için parametre tasarımı aşaması uygulanmıştır. Performans karakteristiği olarak enjeksiyon memesinin ucunun açıklığının daraltılması seçilmiştir. İlk aşamada 16 faktörün etkisi araştırılan çalışmada, performans karakteristiği üzerinde etkisi çok az olan faktörlerin hata faktörlerine katılmasıyla bir tanesi 4, diğerleri 2 seviyeli 6 faktörün L_{16} ortogonal dizini kullanılarak enjeksiyon memesi ucunun açıklığının en iyi olduğu faktör-seviye kombinasyonu bulunmuştur.

Dowey ve Matthews (1998), “Yüzey Mühendisliği Uygulamalarında Kalite Dağılımı Ve Taguchi Uygulaması” adlı çalışmalarında matkap uçlarının ‘PVD’ tekniği kullanılarak “TiN” kaplanması uygulamasında, performans istatistiği olarak kayıp fonksiyonunu ele alarak Taguchi yöntemini uygulamışlar. Yapılan analiz sonucunda kaplama maliyetlerinde %25’lik bir artış olmasına rağmen matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40’lık bir kalite artışını elde etmişlerdir.

Ifeanyi E. Madu ve Christian N. Madu (1999), Taguchi dik düzeni ve sinyal/gürültü oranlarını kullanarak tasarım optimasyonunun bir örneğini oluşturmuşlardır. Bu sayede deneylerin daha hızlı sonuçlandırılması, en iyi deney noktasının kısmi faktöriyel bir tasarımla belirlenmesi, deney maliyetlerinin azaltılması gibi avantajların sağlandığı somut olarak ortaya konulmuştur.

Şen ve Çelik (1999), “Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı Ve Bir Uygulama” isimli çalışmalarında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak bir çalışmanın Taguchi yöntemi kullanılarak eniyilenmesinin olabilirliğinin belirlenmesini amaçlamaktadırlar. Fiziksel deneylerden çok bilgisayar ortamında yaptıkları uygulama çalışmasında, her biri 4 seviyeli olan 5 faktörün bir makine parçasının üretiminde seçilen üç farklı performans karakteristiğinin eniyilenmesi için $L_{16}(4^5)$ ortogonal dizini kullanarak bir Taguchi yöntemi uygulaması yapmışlardır.

R. Di Mascio ve G.W. Barton (2001), Yaptıkları çalışmada Taguchi deney tasarımının sadece deney sayısını azaltan bir yaklaşım olmadığını, bir sistemin değerlendirilmesi kullanılabilmesi gibi bir bakış açısı ile değerlendirilebileceğini göstermişlerdir. Çalışmada bir ürün değil bir prosesin ekonomik değerlendirmesi, Taguchi yaklaşımının kalitenin, hedeflenen değerden olan sapmaların yol açtığı kayıp olduğu olgusundan yararlanılarak yapılmıştır.

C.Y. Nian ve diğerleri (1999), Bu çalışma birden fazla performans karakteristiğinin optimizasyonu için örnek alınabilecek en iyi çalışmalardan birini oluşturmaktadır. Taguchi deney tasarımı metodu ile L_9 deney tasarımı kullanılarak ve kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği faktörleri incelenerek takım ömrü, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri optimize edilmiştir. Her üç karakteristik değerlerin optimizasyonu 27 deney yerine 9 deney yapılarak sinyal/gürültü

oranları kullanılarak bir arada gerçekleştirilmiştir.

Altınbilek (2001), “Şanzıman Giriş Mili Halatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması” isimli çalışmada, şanzıman millerinin kırılmalara karşı mukavemetini arttırmak için bir deney tasarımı uygulamış. Yapılan çalışmada şanzıman milinin mukavemetine etki ettiğini düşündüğü yedi temel faktörün performans karakteristiği üzerindeki etki derecelerini ölçmüştür. Taguchi yöntemi uygulanarak bulunan sonuçlar, üretim hattında uygulamaya geçilmiş ve şanzıman milinde meydana gelen kırılmaların %85 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

J. Anthony (2001), yaptığı araştırmada Taguchi kalite fonksiyonunu kullanarak sadece bir kalite karakteristiğinin değil, birden fazla çıktı değerinin de optimizasyonunun gerçekleştirilebileceğini incelemiş ve bir vaka örnekleme ile örneklemiştir. Uygun toleransların belirlenmesi ve tedarikçilerin değerlendirilmesinde Taguchi metodunun ve kayıp fonksiyonunun kullanılarak geliştirilen optimizasyon modelinin örneklenmiştir.

Chang-Xue Feng ve diğerleri (2001), Yaptıkları çalışmada üstteki çalışmada olduğu gibi Taguchi metodunun ve kayıp fonksiyonunun kullanılarak geliştirilen optimizasyon modelinin örneklenmiştir. Bir eşzamanlı mühendislik çalışması çerçevesinde uygun tedarikçi ve uygun mekanik ve elektriksel toleransların seçiminde model optimizasyonu gerçekleştirilirken, Taguchi kayıp fonksiyonu ile toleransların tasarımı sayesinde kalite maliyetlerinin azaltılabileceği gösterilmiş, ancak üretim maliyetleri ve tasarım detaylarının göz önüne alınmadığı da ortaya konmuştur.

Fırlalı ve Engin (2002), “Akış Tipi Çizelge Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Arttırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması” isimli makalelerinde, optimum çözümü zor olan (NP-zor), çok makineli akış tipi çizelgeleme problemlerinin genetik algoritma ile çözüm performansının artırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Genetik algoritmanın optimum veya optimuma yakın çözüme ulaşma performansını etkileyen; başlangıç popülasyonu; üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri ile çaprazlama ve mutasyon oranları gibi parametrelerin uygun değerlerinin belirlenmesine çalışmışlardır. Parametrelerin ayrı

ayrı değerlendirilmesi ile bulunan en iyi iki parametre değeri, ve yukarıdaki parametreler kullanılarak Taguchi yöntemi ile iki seviyeli, altı faktörlü deney tasarımı $L_8(2^7)$ ortogonal dizini kullanarak uygulamışlardır. Turbo pascal programlama dilinde hazırlanan genetik algoritma programı ile akış tipi çizelgeleme problemleri için bilinen beş ayrı problem üzerinde toplam 1000 adet deney yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda akış tipi çizelgeleme problemlerinin Genetik Algoritma ile çözümünde etkili olan parametreler ile Genetik Algoritma'nın çözüm performansını artıracak parametre setlerinin belirlenmesini amaçlamışlardır.

Baynal (2003), "Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama" isimli çalışmasında, birden fazla sayıda performans karakteristiği içeren bir deney tasarımı üzerinde çalışmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak çok yanıtlı bir kalite probleminin Taguchi yöntemi ile çözülmesi ile ilgili teorik bilgiler vermiş ve ana otomotiv endüstrisinin tedarikçisi olan bir işletmede, far kumanda kolu şapkası üretiminde, ürünün baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklığın giderilmesi için Taguchi yöntemi kullanmıştır. $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizini kullanılarak, her biri üç seviyeli on bir ana faktör ve iki etkileşim faktörünün performans karakteristikleri üzerindeki etkileri incelemiş ve en iyi faktör ve seviye kombinasyonun belirlenmesine çalışmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçları Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterim Metodu ile analiz etmiştir. Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda, üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB (variansta %11 iyileştirme), görünümünde 69.77 dB (variansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (variansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır.

Canıylmaz ve Kutay (2003), "Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım" isimli makalelerinde, daha önceden yapılmış bir çalışmanın (Bayrak Z.1996) verilerini kullanarak, ilgili problem için performans karakteristiği üzerinde etkili olan faktör ve seviyelerini, F.E.G.G. Metodunu kullanarak bulmuşlardır. Daha sonra Bayrak'ın çalışmasındaki varyans analizi metodu kullanılarak bulunmuş en iyi faktör ve seviye kombinasyonu ile kendi çalışmalarında buldukları sonuçları karşılaştırmışlar ve F.E.G.G. metodu ile bulunan sonuçların, varyans analizi metoduyla bulunan sonuçlara göre performans karakteri üzerinde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Hamzaçebi ve Kutay (2003), “Taguchi Metodu: Bir Uygulama” isimli çalışmalarında, Dizdar’ın(1998), olası iş kazalarını belirlemek için geliştirdiği Tehlike Erken Uyarı Modeli” nin testi için dört kategori altında incelediği on iki faktörlü çalışmadan yola çıkılarak, Dizdar’ın üretim sistemlerindeki olası iş kazalarının tahminine yönelik araştırmasında derlediği verilerden sadece kazalıya ait tecrübe, kaza zamanına ait vardiya ve yine kaza zamanına ait hafta günü faktörleri ele alınmış ve bu faktörlerin kaza oluşmasındaki etkileri Taguchi Metodu ile incelenmiştir. Üç faktör ve üç düzeyli olan çalışma L_9 ortogonal dizinine göre tasarlanmış ve deney sonuçları Minitab yazılımında analiz edilmiştir. Sonuç olarak Taguchi metodunun daha az deney ile zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı ve bu metodun karar aracı olarak da kullanılabileceği görülmüştür.

Boral ve Baynal (2004), “Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntemle Üretim Parametrelerinin En İyilenmesi” isimli çalışmalarında çok yanıtli problemler (ÇYP) için Taguchi yöntemi ile yapılacak çözümlemelerde ilk olarak, kalite karakteristiklerinin birleştirilmesi ve daha sonra birleştirilen kalite karakteristiğinin (Toplam Fayda) en iyilenmesi ile ilgili bir örnek problemin çözümü araştırmışlardır. Bu kapsamda alüminyum profil imalatı yapan bir firmada boya işleminin maliyetini azaltmak amacıyla boya bölümünde proses iyileştirme çalışması yapmışlardır. En iyilenmesi istenen iki kalite karakteristiği olan boya film kalınlığı ve dış etkenlere karşı dayanımın artması toplam fayda kavramı dikkate alınarak tek bir performans karakteristiği haline dönüştürülmüş ve bu şekilde en iyi performans karakteristiğine sahip boyama prosesi geliştirilmiştir.

Ghani ve Choudhury (2004), “Son Şekil Verme Parametrelerinin Optimizasyonu Çalışmalarında Taguchi Yönteminin Uygulanması” isimli çalışmalarında üzerine kalsiyum karbür ilave edilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliği üzerinde, P10 sert metal uç takımı kullanılarak yapılan bir tornalama işlemi için kullanılan en iyi tornalama parametrelerinin seçimi için Taguchi yöntemi uygulanmışlardır. Performans istatistiği olarak SN oranı kullanmışlar ve deneylerden elde edilen sonuçları varyans analizi tekniği kullanarak analiz etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda en iyi tornalama parametrelerinin yüksek kesme hızı, düşük ilerleme hızı ve ince talaş derinliği olduğunu bulunmuşlardır.

Kahraman ve Koç (2004), “Uçaklarda Kullanılan Kritik Ünitelerin Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Deneysel Tasarım Yöntemiyle Optimizasyonu” isimli çalışmalarında, uçaklarda sabit hız sürücüsü sistemlerinde etkin olarak kullanılan CSD (Constant Speed Drive) ünitelerinin kalite karakteristiği olarak saptanan çıktı devrinin 8000 rpm nominal değerine odaklanması için kontrol edilebilir değişkenlerini ve kritik süreç değişkenlerini dikkate alarak gereken kaliteyi sağlamak için CSD ünitesinin son performans parametresini etkileyen proses faktörlerinin en uygun seviyelerinin saptanması amaçlamışlardır. Çalışmada, CSD ünitesinin proses karakteristiği olarak saptanan çıktı devrini etkileyen faktörlerinin en uygun değerlerinin saptanışı ile ilgili dört faktörlü ve iki seviyeli bir prosesin en yüksek performans karakteristiğini sağlayacak faktör-seviye kombinasyonunun belirlenmesine yönelik olarak Taguchi yöntemini uygulanmışlardır. Çalışmada dört temel faktörün birbirleri ile olan bazı etkileşim faktörleri de göz önünde tutulmuş ve L_{16} ortogonal dizini kullanılmışlardır. Aynı zamanda performans istatistiği olarak ortalama değerleri kullanılmış ve varyans analizi tekniği ile bu değerleri analiz etmişlerdir. Yapılan bu uygulama ile Taguchi yönteminin bir bakım tesisinde de uygulanabilirliğini göstermişler ve bakım prosesinin işlem süresi % 40 oranında azaltılmışlardır.

Motorcu ve Şahin (2004), “Sertleştirilmiş AISI 1040 Çeliğinin Seramik Kesici Takımla İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Taguchi Metodu İle Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, alümina esaslı seramikler kesiciler kullanılarak ray ve makine dişlilerinin yapımında kullanılan sertleştirilmiş AISI 1040 çeliğinin kuru olarak tormalanmasında en düşük Ra yüzey pürüzlülüklerini verecek optimum kesme parametrelerini belirlemek amacıyla Taguchi yöntemini kullanılmışlardır. Uygulamada tormalama operasyonunda iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen 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 oluşturmuş ve deneysel sonuçlarla birinci ve ikinci dereceden denklemlerden elde edilen teorik değerleri karşılaştırmışlardır. Uygulama sırasında her biri 2 seviyeli 4 temel faktör ve bunların birbiriyle etkileşimlerinden oluşan 6 etkileşim faktörünün yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisini $L_{16}(2^{15})$ ortogonal dizinini kullanılarak hesaplamışlardır.

Akyalçın ve Kaytakoğlu (2005), “Sitrat Prosesiyle SO₂ Gideriminde Optimum Şartlarının Belirlenmesi” isimli çalışmalarında, kalorifik değeri düşük ve kükürt içeriği yüksek kömürlerin ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla, termik santrallerde yakılması sonucunda oluşan ve havayı önemli derecede kirleten SO₂ gazının giderilmesinde kullanılan, geri dönüşüm yöntemlerinden biri olan sitrat prosesini ele almışlardır. Çalışmada Taguchi metodu kullanılarak Tribazik Sodyum Sitrata (TSS) çözeltisiyle SO₂ giderimine ait en uygun koşullar incelenmiştir. Deneylerde gaz kabarcığının büyüklüğü, reaksiyon sıcaklığı, gaz akış hızı, karıştırma hızı ve çözelti derişimi kontrol faktörleri olarak ele alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, mevcut proses için en iyi şartların reaksiyon sıcaklığına, gaz akış hızına ve çözelti derişimine bağlı olduğu görülmüştür.

Dervişoğlu ve Muluk (2006), “Taguchi Tasarımının Uygulanması Ve Klasik Kesirli Çok Etkili Tasarımla Karşılaştırılması” isimli çalışmalarında, Taguchi yöntemi kullanılarak daha verimli tahminlerin elde edilebileceğini göstermek amacıyla, ilk önce Taguchi yönteminde kullanılan ortogonal dizinlerin oluşturulması, Doğrusal Grafikler ve Üçgensel tabloların kullanımı detaylı olarak anlatılmışlardır. Çalışmada örnek olarak L₂₇ (3¹³) ortogonal dizinin oluşturulmasını incelemişlerdir. Çalışmanın ikinci kısmında, Hicks (1973) yapmış olduğu tam faktöriyel bir deney tasarımı uygulamasını Taguchi yöntemini kullanarak çözüme ulaştırmışlar ve Taguchi yöntemi ile bulunan sonuçların tam faktöriyel tasarım ile bulunan sonuçlar ile karşılaştırmasını yapmışlardır.

Bilişik ve Gençyılmaz (2006), “Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesinde Deneysel Tasarım Metodu” isimli çalışmalarında, eğitim kurumlarındaki sınıf içi eğitim ve öğretim faaliyetlerinin kalitesini arttırmak amacıyla en uygun ders anlatım yönteminin belirlenmesini amaçlamışlardır. Yüksek öğrenim kurumunda yapılan çalışmada en uygun yöntemin belirlenmesinde L₉ ortogonal dizini kullanılarak Taguchi Deney Tasarımı yaklaşımından faydalanmışlardır. Veriler MINITAB programı ile analiz edilmiş ve etki değerlerinin araştırılmasında, ANOVA analizi yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Şanyılmaz (2006), “Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama” adlı çalışmasında, Kaleporselen Elektroteknik Sanayi A.Ş.’nde üretilen NH00 boy bıçaklı sigorta sistemlerinde ortaya çıkan buşon

gövdesinin çatlaması sorununun Taguchi yöntemi ile çözülmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya konu olan NH Bıçaklı sigorta sistemleri, elektrik akımı yeterli bir süre için verilen bir değeri aştığında, özel olarak tasarımlanmış ve boyutlandırılmış bir veya birden fazla bileşenin eriyerek yerleştirildiği devrede akımı kesmek suretiyle devreyi açan bir düzendir. Buşon ve altlık olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Kaleporselen sigorta buşonları gecikmeli çalışma karakteristiğine sahip olup yüksek kesme yetenekleri nedeniyle en önemli ve en güvenilir devre koruma cihazlarıdır. Firma maliyetleri azaltmak amacıyla NH bıçaklı sigorta buşonlarının gövdesinin hammadde malzemesini 2005 yılından itibaren değiştirmiş ancak yeni madde kullanılmaya başlandıktan sonra da NH00 bıçaklı sigorta buşonlarının 160 A sınır anma akımına sahip olan buşonlarda ürün son kalite kontrol testleri sırasında çatlama problemleri görülmüştür. Probleme ilişkin yapılan beyin fırtınası çalışmaları sonucunda elde edilen bilgilere göre performans karakteristiği, NH00 bıçaklı sigorta buşonlarının basınca karşı mukavemeti olarak belirlenmiştir. Performans karakteristiğini etkileyen kontrol edilebilen faktörlerin; hammadde nem oranı, şekillendirme süresi, kurutma süresi ve pişirme sıcaklığı olduğu gözlenmiştir. Toplam serbestlik derecelerinden hareketle $L_8(2^7)$ ortogonal dizini kullanılarak, deney konfigürasyonları belirlenmiş ve belirlenen bu deneyler yapılarak performans istatistikleri (ortalama ve SN oranı) değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra performans karakteristiği üzerinde önemli olan faktörleri belirleyebilmek amacıyla varyans analizi yapılmış ve her bir faktör için katkı yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu işlemler neticesinde hammadde nem oranı ve pişirme sıcaklığı faktörlerinin sırasıyla %99 ve %95 güven düzeyinde performans karakteristiği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen veriler ortalamalarına ve SN oranlarına göre varyans analizi metodu ve faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu ile analiz edilmiştir. Ayrıca problem, tam faktöriyel bir deney tasarımı yöntemiyle de çözülerek, tüm sonuçlar değerlendirilmiştir.

Durmaz (2008), "Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması" adlı çalışmada kauçuk prosesine Taguchi metodu uygulanarak kalite kayıpları önlenmeye çalışılmıştır. Kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırıldığı düşünülerek Taguchi deneysel tasarım metodu uygulanmıştır. Uygulama yapılan firmanın problemi, imalatını gerçekleştirmiş olduğu ürünlerin istenen müşteri memnuniyetini sağlamayarak iade edilmesidir. Bu durumda amaç, ürün dayanıklılığını etkileyen faktörlerin üretim aşamasındaki en iyi değerini bulmak

olmuştur. Göz önüne alınacak olan kalite karakteristiği ürün mukavemetidir. Bu amaçla ürünlerde ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin optimal değerleri belirlenmeye, ürün ve prosesteki varyasyon en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ürünü ve prosesi etkilediği düşünülen yedi kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, L_{16} ortogonal dizisi seçilmiş, denemeler beşer kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Doğrulama deneyleri sonucunda bulunan yanıt da belirlenen güven aralıkları içinde yer almıştır. Optik kontrol makinesinde hatalı çıkan ürün sayısı, en iyi üretim şartları sağlandığında %60 azalmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ROBOTİK GAZALTI KAYNAK PARAMETRELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ

3.1. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Gazaltı ve tozaltı kaynak yöntemleri ince taneli yapı çeliklerinin kaynaklı birleştirmesinde ve sanayide çok sık kullanılan kaynak yöntemlerinden oluşmaktadır (Kaluç, 1999: 6). Kaynak yapılacak bölgenin bir gaz ortamı ile korunduğu, ark kaynağı türü “gaz altı ark kaynağı” olarak adlandırılır.

Gazaltı kaynak yöntemi, genel olarak kaynak yeri bir gazla korunan özel bir ark kaynağı yöntemidir. Koruyucu bir gazın kullanılması fikri oldukça eskidir. İlk defa 1926 yılında ortaya atılan Alexander usulünde, dikiş metanol gazıyla korunmuştur. (Durmuşoğlu, 2006. 62). Bunun dışında 1926 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Weinmann ve Langmuir tarafından hidrojenin koruyucu bir gaz olarak kullanılmasıyla “ark atom” kaynak yöntemi uygulama alanına girmiştir. 1928'de oksitasetilen aleviyle korunan “Arcogen” usulü geliştirilmiştir. Alexander ve Arcogen kaynak yöntemleri günümüzde kullanılmamaktadır (Anık, 1991: 83).

Koruyucu bir gaz olarak bir soygazın kullanılması, ancak 1930 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Henry M. Hobart ve Philip Dewers tarafından patent olarak alınmış ve 1940 yılında da “Northrop Aircraft Company Inc.” Firması uçak inşaatında magnezyum ve alaşımların kaynağında kullanılmıştır (Durmuşoğlu, 2006. 62). 1948 yılından itibaren tüm bu gelişmelerin sonucunda alüminyum ve alüminyum alaşımları ve daha sonra da bakır ve bakır alaşımları, yüksek alaşımlı çelikler, karbonlu çeliklerin kaynağında bu kaynak yöntemi kullanılmaya başlanmıştır (Althouse, 2004: 208).

Gazaltı kaynak yöntemleri kaynakta kullanılan elektrodun türü ve kullanılan gaz cinsine göre kendi arasında sınıflandırılabilir. Bunlar (Althouse, 1991: 11);

1. Ergimeyen elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı;

- Ergimeyen iki elektrodla yapılan gazaltı kaynak yöntemi (ark atom kaynağı),
- Ergimeyen bir elektrodla yapılan gazaltı kaynak yöntemi (TIG ya da plazma ark)

2. Ergiyen elektrod ile yapılan gazaltı kaynağı;

- Ergiyen elektrod ile soygaz altında yapılan gazaltı kaynağı (MIG),
- Ergiyen elektrod ile aktif gaz altında yapılan gazaltı kaynağı (MAG).

Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımların kaynağında uygulanabilmektedir. Yatay karakteristikli, diğer bir ismiyle sabit gerilimli kaynak makinelerinin gelişmesi sonucu ince çaplı kaynak teli ile yüksek akım şiddeti uygulama olanağı, ısıdan etkilenmiş bölgesi (IEB) daha dar ve daha derin nüfuziyetli kaynak bağlantılarının elde edilmesine olanak sağlamıştır (Durmuşoğlu, 2006: 63).

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağının uygulanması oldukça basit bir temele dayanmaktadır. Makinenin toprak kablosu kaynak uygulanacak parçaya ve diğer ucundaki tel elektrodu ise kaynak uygulanacak olan parçanın kaynak ağzına değdirerek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Kaynak üfleci kaynak işlemi öncesi ayarlanan debide koruyucu gazı ve tel miktarını kaynak uygulanan bölgeye otomatik olarak gönderir. Bu kaynak yönteminin uygulanmasının kolaylığı sebebiyle demir dışı metal ve alaşımlarının kaynaklı birleştirme işlemlerinde çok sık kullanılır. Gazaltı kaynak yöntemleriyle kaynak maliyetleri düşürülmüş, kaynak süresi kısaltılmış ve kaynakçının dikişin kalitesine olan etkisi azaltılmıştır. Ayrıca bu yöntemler günümüz teknolojisinde yer alan otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye adlandırılan modern yöntemler arasında bulunmaktadır (Ören, 2002: 17).

3.2. GAZALTI KAYNAĞININ ESASI

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında, elektrod örtüsünün görevlerinden en önemlisi ve vazgeçilmez olanı, bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak

banyosunu havanın oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korumasıdır. Kaynak bölgesinin bir gaz atmosferi tarafından korunduğu ergitme kaynağı yöntemleri, genel olarak gazaltı kaynak yöntemleri olarak adlandırılmaktadır (Kaluç, 2004: 13).

MIG/MAG kaynak yönteminin diğer yöntemlere göre çok önemli üstünlükleri vardır ve bu üstünlükler sayesinde endüstride bugünkü yaygın kullanım alanlarına sahip olmuştur. Bu üstünlükler şu şekilde sıralanabilir (Güner, 2007: 5-6);

- Ergiyen elektrod ile ark kaynağı yöntemleri arasında, MIG/MAG yönteme endüstriyel öneme sahip demir esaslı ve demir dışı tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlik ile uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.
- Yarı otomatik çalışma sırasında kaynak operatörü sadece torç açlarına dikkat etmek ve ayarlamak ile sorumludur. Kaynak donanımının ayarı basittir ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından gerçekleştirilmektedir.
- Kaynak işlemi her pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu özelliği sayesinde tozaltı kaynak yöntemine göre daha avantajlıdır. Ayrıca kaynak yönteminde az miktarda sıçrıntı oluşumu ve curuf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemini kolaylaştırmaktadır.
- Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrod değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden yapılabilir. Bu konu elektrod değişimi için harcanan ölü zamanı ortadan kaldırmakta hem de her dikişin başlangıç ve sonunda oldukça sık karşılaşılan gözenek, curuf kalıntısı, soğuk kaynak ve krater çatlağı gibi kaynak hatalarına olanak vermemektedir.
- Elektrod telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışması gerek kaynak hızının yükselmesine ve gerekse de birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemlerinden çok daha fazla olmasına olanak sağlamaktadır.

- Sprey ark ile metal taşınımı halinde daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilmekte ve daha az kaynak metali harcanması esas metal ile eş mukavemetli iç köşe kaynak bağlantıları elde edilmektedir.

3.3. MIG/MAG KAYNAĞI

MIG/MAG kaynağı ya da diğer adı ile eriyen elektrotla gaz altı kaynağı, dolgu metali görevi gören ve sürekli beslenen elektrot ile iş parçası arasında oluşan arkın ısıttığı metallerin birleşimini sağlayan bir ark kaynağı yöntemidir (Lincoln Electric, The Procedure Handbook Of Arc Welding, Thirteen Edition, 1995: 15). Elektrot çıplak bir tel olup, bir elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrot, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

MIG (Metal Inert Gas) yönteminde, eriyen metal elektrot ve soy gaz kullanılmaktadır. Yöntemde daha sonraları düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Amerika'da yönteme "Gaz Metal Ark Kaynağı" (GMAW), İngiltere'de ve Almanya'da "MIG/MAG Kaynağı" adı verilmektedir. Ülkemizde ise "Eriyen Elektrotla Gaz Altı Kaynağı" ve "MIG/MAG Kaynağı" adları kullanılmaktadır (Eryürek, 2008: 53).

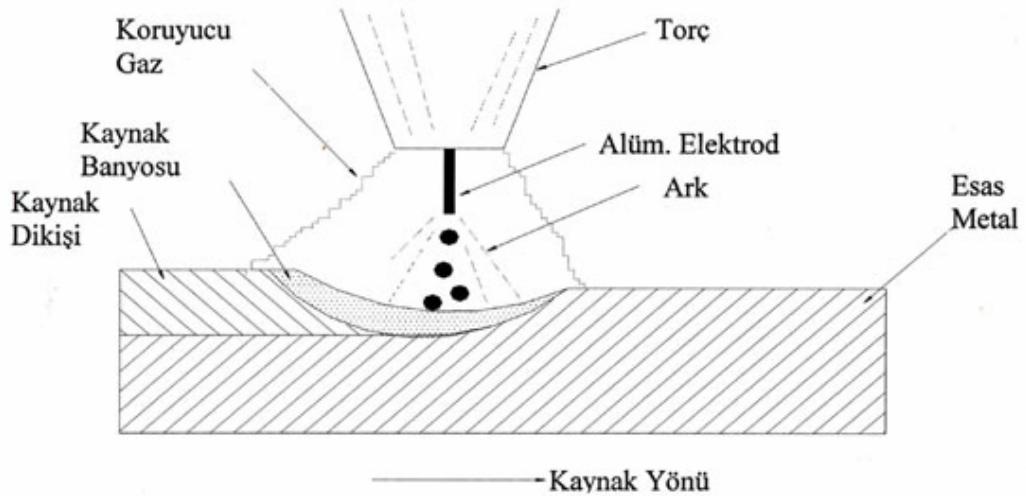
MAG kaynağı, eriyen elektrotla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gaz altı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır. MAG kaynağı; alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır (Anık, 1991: 91).

MAG (Metal Active Gas) diğer bir deyişle aktif gaz altında eriyen elektrod ile kaynak, son yıllarda büyük bir gelişme göstermiş ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında diğer yöntemlere karşı büyüyen bir rakip konumuna gelmiştir. Özellikle

son yıllarda MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gaz karışımları üzerinde birçok bilimsel araştırma yapılmış, alaşımsız ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağında bu tür koruyucu gazların kaynak dikişinin mekanik özelliklerini arttırdığı, kaynak hatalarında gazlardan gelen türlerin en aza indiği, sıçramaların azaldığı, kaynak dikiş profilinin düzeldiği ve nüfuziyetin arttığı saptanmıştır (Şahin, 2008: 19).

MAG kaynağında kullanılan karbondioksit; renksiz kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. Kullanılacak karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekir. Gaz içerisinde bulunabilecek rutubet, dikişi gevrekleştirir ve gözenek oluşumuna sebep olur. Kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbon monoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca karbondioksit, sıvı haldeki demir ile birleşerek demir oksit meydana getirir. Demir oksit ise manganez ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir (Anık, 1972: 43).

Şekil 28: MAG Kaynak Yönteminde Ark Bölgesi



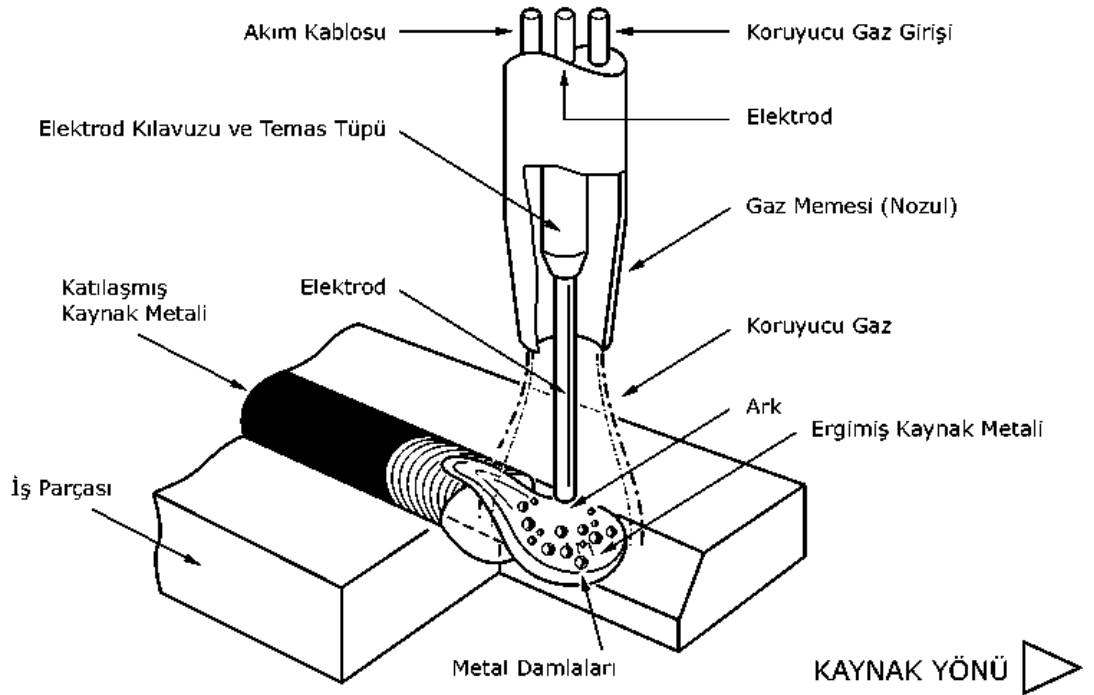
Kaynak: Askaynak Kaynak Teknolojisi, 2008: 65

Ayrıca gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçrantıları azaltmak için CO₂'ye argon karıştırılıp kullanılmaktadır. Karışım oranı %85 ve hatta daha yukarı miktarlarda argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli birleşimlerdeki koruyucu gazlar ile sprey ark geçişi yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda O₂ eklenerek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrodlar ile her pozisyonda çalışılabilme olanağı

sağlanmış ve çok daha düzgün görünümlü kaynak dikişleri elde edilebilmiştir (Durmuşoğlu, 2006: 66).

Şekil 28’de de görüldüğü gibi MAG kaynağında ark, aynı zamanda ilave tel görevi yapan eriyen bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. “Uçsuz” elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla bir tel makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu nispeten kısadır; böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti ($> 100 \text{ A/mm}^2$) uygulanabilir. Kaynak makinesinin kutuplarından biri elektroda diğeri de parçaya bağlanır. Böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar. Elektrod aynı anda hem enerji taşıyıcı hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Korucu gaz elektrodun eş eksenli olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkisinden korur (Anık, Vural, 1998: 56). Şekil 29’da gazaltı kaynağının çalışma prensibi yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Şekil 29: Gazaltı Kaynağının Çalışma Prensibi



Kaynak: Eryürek, 2008: 55.

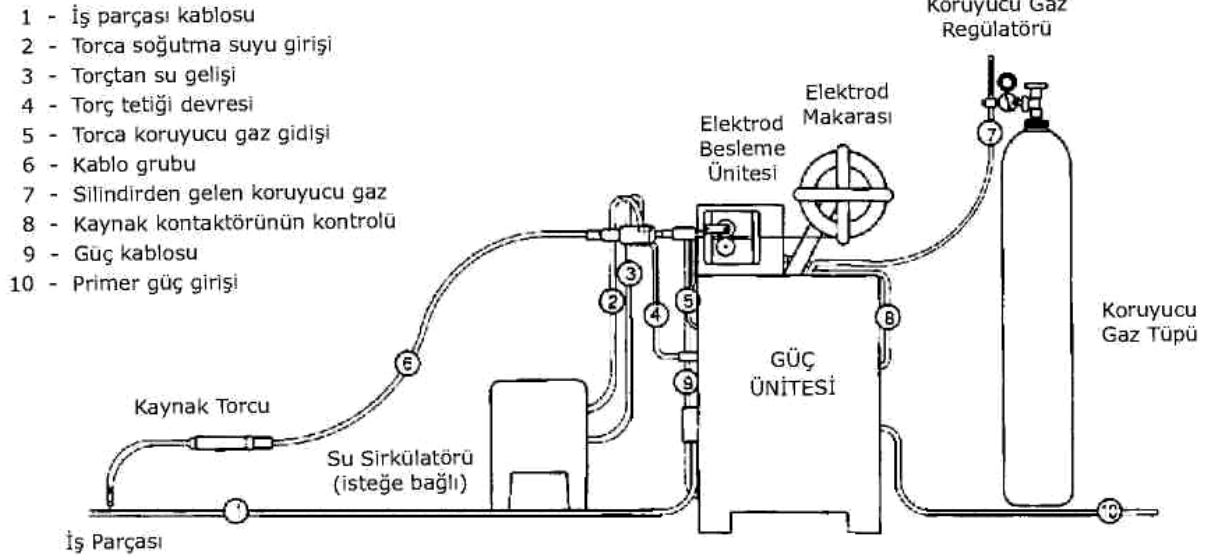
3.3.1. MAG Kaynak Donanımı

Bir MAG kaynak donanımı, şekil 30'da görüldüğü üzere dört temel kısımdan oluşur (Eryürek, 2008: 56);

1. Kaynak torcu ve kablo grubu,
2. Elektrod besleme ünitesi,
3. Güç ünitesi,
4. Koruyucu gaz ünitesi.

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrodu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrot iletilir ve ark oluşur. Ark boyunun kendi kendisini ayarlamasını sağlamak için tel besleme ünitesi ile güç ünitesi arasında ilişki sağlayan iki türlü çözüm mevcuttur. Bunlardan en fazla bilinenin de sabit gerilimli bir güç ünitesi (yatay gerilim akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi) ile sabit hızlı elektrot besleme ünitesi kullanılmaktadır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrot besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir. Sabit gerilim / sabit besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımında değişmeye neden olur. Kaynak akımındaki değişme ise derhal serbest elektrot uzunluğunu değiştirerek (elektrot erime hızı değiştiğinden) ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Torcu iş parçasından uzaklaştırma nedeniyle serbest elektrot uzunluğunda meydana gelen artma kaynak akımında azalmaya neden olarak elektrotta direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar (Eryürek, 2003: 6).

Şekil 30: Gazaltı Kaynağı Donanım Şeması



Kaynak: Eryürek, 2008: 56.

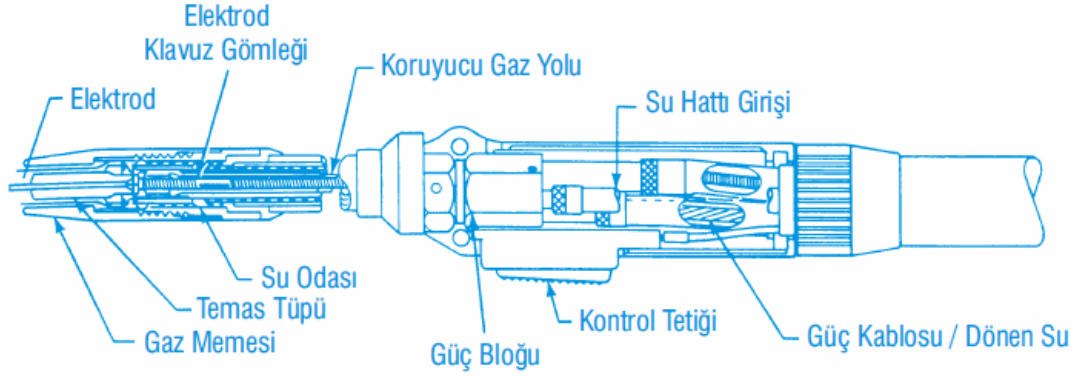
3.3.1.1. Kaynak Torçları

MIG-MAG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi ve kaynak bölgesine iletilmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Kaynak işleminde kullanılan akımın şiddetine ve kaynak yönteminin otomatik veya yarı otomatik olma haline göre çeşitli tür ve büyüklüklerde torçlar geliştirilmiştir. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise (Akım > 250 A) su ile soğutma sistemi gerekmektedir. (Tülbentçi, 1998:7-8, Kaluç, 2004: 12).

Gazaltı kaynağında çok çeşitli torçlar kullanılmaktadır. Şekil 31'de su soğutmalı kaynak torcu ve torcun elemanları görülmektedir. Torç;

- a) Temas tüpü
- b) Gaz memesi
- c) Elektrod kılavuz hortumu ve gömleği
- d) Gaz hortumu
- e) Su hortumu
- f) Elektrik kablosu
- g) Tetik gibi kısımlardan oluşmaktadır.

Şekil 31: Gazaltı Kaynağında Kullanılan Su Soğutmalı Bir Torç Kesiti



Kaynak: Eryürek, 2003: 26.

MIG/MAG yönteminde tel torcu terk etmeden az önce bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir; bu kontak lülesine eş eksenli olarak üflecin ağız kısmında bir gaz lülesi bulunur ve lüle sayesinde gaz akımı laminar olarak kaynak bölgesine sevk edilir. Torç, kaynak makinesine, içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu geliş ve gidiş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın bir hortum ile bağlanmıştır. Bu kalın hortuma, torç bağlantı paketi adı da verilir (Durmuşoğlu, 2006: 67).

3.3.1.2. Elektrod Besleme Ünitesi

Elektrod besleme ünitesi (tel besleyici) bir elektrik motoru, elektrod makaraları ve elektrod doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrod besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır. Elektrodu torç yoluyla iş parçasına doğru iter. Motor hızını geniş bir aralıkta değiştiren bir kontrol devresinin mevcut olması gerekir.

Sabit hızlı elektrod besleyicileri normal olarak sabit gerilimli güç üniteleri ile birlikte kullanılırlar. Bunlar, gerekli devreler eklendiği takdirde sabit akımlı güç ünitelerinde de kullanılabilir. Sabit akımlı güç ünitesi kullanıldığında, bir otomatik gerilim algılama kontrolü gereklidir. Bu kontrol ark gerilimindeki değişimleri algılar ve ark boyunu sabit tutmak için elektrod besleme hızını değiştirir. Değişken hızlı elektrod besleme tertibatı ve sabit akımlı güç ünitesinden meydana gelen bu sistem,

besleme hızlarının düşük olduğu büyük çaplı elektrodalarda (1,6 mm'den büyük) kullanılabilir. Yüksek besleme hızlarında, motor hızının ayarı arkin kararlılığını sağlamaya yetecek kadar hızlı bir şekilde yapılamaz.

Besleme motoru elektrod besleme makaralarını tahrik eder. Bu makaralar, elektrod membaından elektrodu çekme ve kaynak torcu içinde itme yoluyla elektroda kuvvet iletir. Tel besleme üniteleri iki makaralı veya dört makaralı düzenler kullanılabilir.

3.3.1.3.Kontrol Ünitesi

Kaynak kontrolünün ana görevi, genellikle bir elektronik yönetici yoluyla, elektrod besleme motorunun hızını ayarlamaktır (Eryürek, 2008: 74). Bu yönetici kaynakta gerekli fonksiyonları, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesi üzerinden devreye sokmaktadır (Şahin, 2006: 28).

Kaynakçı elektrod besleme hızını arttırarak kaynak akımını arttırır. Elektrod besleme hızının azalması kaynak akımının da azalmasına neden olur. Bu kontrol aynı zamanda torç tetiğinden alınan sinyallere bağlı olarak elektrod beslenmesinin başlamasını veya durdurulmasını da sağlar.

Kontrol aynı zamanda gaz akışının başlatılmasını ve durdurulmasını da düzenler. Koruyucu gaz, su ve kaynak enerjisi tabancaya kontrol ünitesi kanalı ile gelir. Gaz ve su akışı selenoid valf sayesinde ayarlanır. Gaz akışının başlaması ve kesilmesi ile kaynak makinesinin enerji çıkışı da kontrol ünitesi tarafından düzenlenir. Kaynak başlamadan önce gaz akışının başlaması ve kaynak bittikten sonra kaynak banyosunu korumak için bir süre daha gaz akışının sağlanması kontrol ünitesi tarafından yapılır (Eryürek, 2003: 30).

3.3.1.4. Güç Üniteleri

Kaynak güç üniteleri ark oluşturmak için elektrik gücünü elektroda ve iş parçasına iletir. Gazaltı kaynağının büyük bir kısmında elektrodun pozitif kutupta

olduğu doğru akım kullanılır. Bu nedenle güç ünitesinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır.

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MAG) doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrodun muhakkak pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gereklidir. Diğer metal ve alaşımların özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü de kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir: doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde kullanılır (Tülbentçi, 1990: 19).

3.3.2. MAG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

Metallerin büyük bir bölümü oksijenle tepkimeye girerek kuvvetli bir biçimde oksit oluşturmaya, azotla tepkiye girerek daha düşük ölçüde metal nitrürleri oluşturmaya eğilim gösterirler. Erimiş çelikteki karbonla oksijen reaksiyona girerek karbonmonoksit gazı oluşturur. Bütün bu reaksiyonlar sonucunda aşağıda verilmiş olan kaynak hataları meydana gelmektedir (Durmuşoğlu, 2006: 46);

- Oksitler nedeniyle kaynak hataları artar,
- Gözenek, oksitler ve nitrürler nedeniyle oluşan mukavemet kaybı,
- Oksitler ve nitrürler nedeniyle kaynak metali gevrekleşir ve mukavemet kaybı olur.

Koruyucu gaz bir gaz besleme kaynağı, bir gaz regülatörü, bir flowmetre, kontrol valfleri ve kaynak torcuna gazı ileten bir besleme borusundan meydana gelen bir koruyucu gaz sistemiyle sağlanmaktadır (Tülbentçi, 1990: 78).

Koruyucu gazın temel görevi, çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosu ile temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz, burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Koruyucu gazın bu temel görevi dışında aşağıda belirtildiği şekilde kaynak işlemi ve oluşan kaynak dikişine önemli etkileri de vardır (Tülbentçi, 1998: 42). Bunlar:

- Arkın karakteristiği,
- Metal transferinin şekli,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluşu oluşma eğilimi,
- Temizleme etkisi.

Gazaltı kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, erimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini ve azot ile diğer zararlı gazların kaynak metaline absorbe olmasını önlemektedir. Sıvı halindeki kaynak bölgesinde ergimiş haldeki tüm metaller havadaki oksijen ile azotu absorbe ederler. Ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştan metalde alaşım elementleri ile bileşik yaparak kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumu ile gevrekleşmeye neden olurlar.

MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulunmaktadır.

MAG kaynağında koruyucu gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir (Durmuşoğlu, 2006: 75);

- Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti,
- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler.

Koruyucu gazın saflığının kaynak kalitesini etkilemesi; kaynak edilen metalin etkisine göre, atmosferik gazlar kaynakta; çatlak, değişen oranda porozite, oksidasyon, ark kararsızlığı ve mekanik ve korozif özelliklerde azalmalar meydana gelmesine neden olur.

Ayrıca belli bir koruyucu gaz kullanılmasıyla;

- Geliştirilmiş ark kararlılığı,
- Belli bir metal transfer (göçüm) modu sağlanması,
- Geliştirilmiş bir penetrasyon (nüfuziyet),
- Arkın tutuşmasında kolaylık avantajları sağlanmış olur.

MIG - MAG kaynağında soygazlar, aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılır. Genel olarak soygazlar diğer elementlerle etkileşime girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve soy gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır (Türkkan, 2008: 18) .

3.3.2.1. Soygazlar

Soy gazların dış kabukları elektron taşıma kapasiteleri açısından tam dolu olması, diğer bir deyimle dış kabuğu kapalı olması nedeniyle diğer elementlerin atomlarıyla elektron alış verişinde bulunmazlar, yani kimyasal reaksiyona girmezler. Bu bakımdan yöntemin ilk gelişme yıllarında koruyucu gaz olarak sadece helyum ve argon gibi soy gazlardan yararlanılmıştır (Türkkan, 2008: 22).

Argon Gazı: Kaynakta kullanılan argon %99,995 saflıktadır. Argon monoatomik (her molekülü bir atom), inert ve sıvı metalde çözünmeyen bir gazdır. Argon havadan %38 ağırdır ve bu da düz pozisyonda ve yatay dolgu pozisyonlarında avantaj sağlar. Saf argon gazı hemen hemen bütün metallerin kaynağında kullanılabilir ama genellikle çeliklerin kaynağında pek tercih edilmez. Çeliklerin kaynağı için argon esaslı karışım gazları tercih edilmektedir. (Nippes, 1983: 21).

Alüminyum ve Bakır gibi metallerin kaynağı için uygun olan Argon çeliklerin kaynağında ancak başka gazlar ile karıştırılarak kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir.

Helyum Gazı: Helyum kimyasal olarak inert bir gazdır ve özellikle alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarında kullanılır. Helyum doğal gazdan ayrışmayla elde edilen hafif bir gazdır. Helyum sıvı olarak dağıtılabilir fakat genellikle silindirlerde sıkıştırılmış olarak kullanılmaktadır. (Nippes, 1983: 21).

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1,4 katı iken (daha ağır) helyumun havanın yoğunluğunun 0.14 katıdır (daha hafif). Koruyucu gaz ne kadar ağır ise verilen bir debide arkı korumada ve kaynak alanını örtmede o kadar etkindir. Bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi gerekmektedir (Eryürek, 2003: 43). Sanayideki uygulamalarda gerek ekonomik gerekse de teknolojik nedenler ile argon - helyum karışımları tercih edilmektedir. İstenen kaynak bağlantısı özelliklerine göre gazların karışım oranları ayarlanabilmektedir.

3.3.2.2. Aktif Gazlar

Karbondioksit dışındaki diğer aktif gazlar arkın korunmasında direkt olarak kullanılamazlar. Kullanımları genellikle diğer gazlarla karışım şeklinde olmaktadır.

Karbondioksit: Soy gaz olmayan karbondioksit argon ve helyum gibi renksiz kokusuz 1.977 kg/m^3 özgül ağırlığı ile havadan yaklaşık 1,5 kat daha ağır olan bir gazdır. Saf karbondioksit alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında geniş ölçüde kullanılan bir aktif gazdır. Bu gazın yoğun olarak kullanılma nedeni (Eryürek, 2008: 84):

- Daha yüksek kaynak hızı,
- Daha fazla bağlantı nüfuziyeti,
- Daha düşük maliyet sağlamasıdır.

Karbondioksit yaygın bir şekilde çeliklerin kaynağında kısa devre metal transferiyle kullanılmaktadır. Karbondioksitin bulunduğu bir koruyucu gaz bileşimiyle doğru bir sprej ark elde edilemez. Birçok uygulamada karbondioksit ile korunan kaynaklar argon korumalı kaynaklara göre daha az pahalı olmaktadır. (Nippes, 1983: 23).

Oksijen: Oksijen hiçbir zaman doğrudan arkın korunmasında kullanılabilecek bir gaz değildir. Diğer temel gazlara katılarak karışım halinde kullanılır. Karışım oranı çok düşük olan oksijenin ilavesi ile arkın düzenli ve gözeneğin kaybolduğu görülür. Az oranda oksijen genellikle oksitlenme oranını düşürür. Karbonmonoksit halindeki gazları karbondioksite dönüştürmede kullanılmaktadır (Adsan, 1977: 44).

Hidrojen: Hidrojen gazı da oksijen kadar olmamakla birlikte temel koruyucu gazlara katılarak kullanılmaktadır. Özellikle argon ile karışıma elverişlidir. Bileşimi mekanik özellikleri ve kaynak nüfuziyetin olumlu yönde etkiler. Hidrojen gazı aynı zamanda ark boyunu arttırarak, yanıcı olması sebebiyle yüksek ısı oluşturmaktadır (Nippes, 1983: 25).

3.3.2.3. Karışım Gazlar

Koruyucu gazın seçiminde kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanı sıra koruyucu gazın ekonomikliği ve kaynak işlemi sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır. Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılık göstermektedir. Bunun sonucunda arkın oluşumu, kaynak işlemi sırasındaki davranışı, ark atmosferinin karakteri, ark içinde malzemenin taşınımı vb. özellikler farklılıklar göstermektedir (Durmuşoğlu, 2006: 39)

Sadece bir gaz kullanıldığında gazların her biri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini en verimli şekilde kullanabilmek ve sınırlamaları da en aza indirebilmek için MIG – MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazları kullanılmaktadır.

Argon-Helyum Karışımları: Argon ve helyumun üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacıyla geliştirilmiş olup bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı özellikleri optimize edilmeye çalışılmıştır. Uygulamada %80 He-%20 Ar'dan %75 Ar-%25 He'a kadar çok değişik karışımlar mevcut olup saf argon haline nazaran daha yüksek sıcaklığa sahip, saf helyum haline nazaran daha kolay kontrol edilebilir bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumu sağlanmaktadır. Ar-He

karışımları; Al, Mg, Cu ve Ni alaşımlarının kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır (Anık, 1991: 101).

Argon-Karbondioksit Karışımları: Argona %3-10 karbondioksit ilavesiyle oluşturulan Argon-Karbondioksit karışımları argon-oksijen karışımıyla aynı amaçlar için kullanılır. Bu karışım sprej tip transfer sağlar ve demir esaslı metallerin kaynağında ark karakteristiklerini ve kaynak havuzunun ısıtma kabiliyetini geliştirilmesinde yardımcı olur (Nippes, 1983: 28).

%20-50 karbondioksit içeren argon-karbondioksit karışımları kısa devre transferi ile çeliklerin kaynağında kullanılmaktadır. Bu karışım daha yüksek akım seviyelerinde globüler metal transferi geliştirme eğilimindedir. Karışımda yüksek miktarda aktif gaz bulunması nedeniyle, argon karbondioksit karışımları bazı çeliklerde zararlı etkilere sebep olabilmektedir. Bu karışımlar paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Fakat bu karışımlar kaynak metalinde karbon içeriğini arttırabilir ve kaynağın korozyon direncini azaltabilir. Karbondioksitin kirliliğe sebep olmasından dolayı bu karışımlar demir dışı metallerin kaynağında kullanılamamaktadırlar (Palani, Murugan, 2006; 3).

Argon-Oksijen Karışımları: Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (%1 ile %5) arkın kararlılığının iyileştirilmesi, sıçrantıyı en aza indirmesi ve bunun yanında sprej metal taşınım karakteristiğinin korunması ve argon kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Koruyucu gaza oksijen katılması, karbondioksitten daha şiddetli olarak kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal taşınımı sağlamakta ve kısa devresiz damla taşınımının (sprej ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır (Eryürek, 2003: 44). Oksijen katkısı, daha derin bir nüfuziyetin ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon ile çeliklerin kaynağından karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu da ortadan kaldırmaktadır.

Tablo 22: MIG/MAG Kaynak Yöntemlerinde Sık Kullanılan Koruyucu Gaz ve Gaz Karışımları

KORUYUCU GAZ	KİMYASAL DAVRANIŞI	UYGULAMA ALANI
Argon	Soy	Çelik hariç tüm endüstriyel metal ve alaşımların kaynağında
Helyum	Soy	Daha yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon +Helyum %20-80 / %50-50	Soy	Yüksek sıcaklık ve gözenek miktarını azaltmak ve daha sakin ve kontrollü bir ark ile çalışmak için Al ve Cu alaşımlarının kaynağında
Argon + Klor (Klor eser miktarda)	Soy	Gözenek miktarını azaltmak için Al ve alaşımlarının kaynağında
Azot	Redükleyici	Çok güçlü bir ark için bakırın kaynağında
Argon + %25- 30 N	Redükleyici	Güçlü fakat daha yumuşak ve kontrollü bir ark için bakırın kaynağında
Argon + % 1-2 O ₂	Oksitleyici	Bazı dezokside bakır alaşımlarının kaynağında
Argon + % 3-5 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezokside edilmiş tel elektrod ile paslanmaz ve karbonlu çeliklerin kaynağında
Argon + % 5-10 O ₂	Oksitleyici	Yüksek oranda dezokside edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Argon + % 20-30 CO ₂	Oksitleyici	Kısa ark ile çeşitli çeliklerin kaynağında
Argon + % 5 O ₂ + % 15 CO ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupa' da dezokside edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂	Oksitleyici	Dezokside edilmiş tel elektrod ile yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında
CO ₂ + % 3-5 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Avrupa' da dezokside edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında
CO ₂ + % 20 O ₂	Oksitleyici	Özellikle Japonya'da dezokside edilmiş tel elektrod ile çeşitli çeliklerin kaynağında

Kaynak: Althouse, 2004: 212.

3.4. ROBOTİK GAZALTI KAYNAK İŞLEMİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ENİYİLENMESİ UYGULAMASI

Robotik gazaltı kaynak işleminin Taguchi yöntemi ile eniyilenmesi uygulaması için Balıkesir'de faaliyet gösteren bir işletme seçilmiştir. Çalışmalarına 1976 yılında kabin üreterek başlayan Yariş Kabin şu anda 30.000m² açık, 40.000 m² kapalı alan içerisinde faaliyetine devam etmektedir.

İşletmenin makine parkurunda lazer profil ve boru kesme, lazer sac kesme tezgahları ile CNC abkant ve boru bükme tezgahlarının yanı sıra kataforez boya teknolojisi ve bunlara ek olarak da robotik, manüel kaynak makineleri bulunmaktadır. Bu sayede kabin, platform, sac parça, poliüretan, rops ve gril üretimleri yapılmaktadır. Fabrikada profil hattı, sac hattı, kaynak hattı, boya hattı, polyester hattı, montaj hattı ayrıca kalite kontrol bölümü ve AR-GE merkezi bulunmaktadır.

Yariş Kabin; hizmet anlayışını da geliştirerek müşterilerine mühendislik desteği, tasarım, prototip, seri üretim, boya ve son montaj dahil olmak üzere tam bir çözüm ortağı olarak hizmet vermektedir. Üretiminin büyük kısmı yurtdışına ihraç edilmektedir. Ayrıca tarım yoğun bir bölgede bulunması nedeniyle iç pazarda da yüksek paya sahiptir.

3.4.1. Kaynak Parametrelerinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonunun Yapıldığı Çalışmalar

Y. S. Tarng; W. H. Yang (1998); Taguchi yöntemini kullanarak tozaltı SAW kaynağı işleminin optimizasyonu amacıyla yaptıkları çalışmada 30mmx80mmx120mm boyutlarında yumuşak çelik levhalar kullanmışlardır. Optimizasyon problemi için iki seviyeli beş faktör seçilmiştir. Faktörler sırasıyla; ark akımı, ark gerilimi, kaynak hızı, elektrodun dışarı taşma oranı ve başlangıç sıcaklığıdır. Deneylerin yapılabilmesi için L₈ ortogonal dizisi seçilmiştir. Kalite karakteristikleri de sertlik, sulanma ve taşma oranıdır ve deney sonuçları bu karakteristiklerde belirlenmiştir. Sonuçta maksimum sertlik ve taşma oranı ve minimum sulanma beklendiği için SN oranı seçilirken sertlik ve taşma oranı için en büyük-en iyi, sulanma için en küçük-en iyi SN oranları kullanılmıştır. Yapılan ANOVA

analizleri sonucunda başlangıç faktör ve seviye kombinasyonundan çok farklı olarak $A_2B_1C_2D_2E_2$ şeklinde optimizasyon sağlanmıştır. SN oranlarındaki iyileşme de 3,64 dB olmuştur.

Y.S. Tarng, S.C. Juang ve C.H. Chang (2002); çalışmalarında tozaltı SAW kaynak işleminde kaynak parametrelerinin en iyilenmesi amacıyla çalışmışlardır. Çalışmada beş faktör ve her faktör için iki seviye kullanılarak, hesaplanan serbestlik derecesinden sonra $L_8(2^5)$ ortogonal dizi seçilmiştir. Ark akımı, ark voltajı, kaynak hızı, kaynak telinin kalınlığı, önceden ısıtma sıcaklığı deneysel işlemde kullanılan faktörlerdir. Bu faktör ve seviyelerin değerleri 30mmx80mmx120mm boyutlarındaki yumuşak çelik plakanın kaynak işlemine uygulanmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerler, kalite karakteristikleri olan kaynağın sertliği, çökme oranı ve kaynak sulanma oranı için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çökme oranı ve sertlik kalite karakteristiği için en büyük-en iyi SN oranı, sulanma için de en küçük – en iyi SN oranı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; başlangıçta $A_1B_1C_2D_2E_1$ olan faktör ve seviye kombinasyonu $A_2B_2C_2D_2E_2$ olarak bulunmuştur. Kaynak işlemindeki gelişme ise 0,4373 birim olarak gerçekleşmiştir.

S.C. Juang, Y.S. Tarng (2002), paslanmaz çelik kullanılarak yapılan TIG kaynak yönteminde kaynak banyosu geometrisinin optimizasyonunu sağlamak amacıyla yaptıkları çalışmada kaynak metali olarak 1,5 mm kalınlığında çelik kullanılmışlardır. Kaynak dikişinin açıklığı, taşma oranı, akım ve kaynak hızı deneylerin faktörleridir ve bu faktörlerin her birinin dört seviyesi bulunmaktadır. Serbestlik derecesi hesabından sonra $L_{16}(4^5)$ ortogonal dizini seçilmiştir. Deneyler sonucunda verileri elde edebilmek için kaynak banyosunda kaynak dikişinin ön ve arka yüksekliği ile yine ön ve arka genişliğinin değerleri mm cinsinden ölçülmüştür. Deney sonucundaki faktör seviye kombinasyonu $A_4B_4C_2D_4$ olarak belirlenmiştir. Bu da başlangıç kombinasyonuna göre oldukça farklıdır. Sonuçta kaynak işlemindeki iyileşme oranı 3,07 dB olarak tespit edilmiştir.

Lung Kwang Pan, Che Chung Wang, Ying Ching Hsiao, Kye Chyn Ho (2004), Nd: YAG lazer kaynağı işleminde magnezyum alaşımların Taguchi yöntemiyle optimizasyonunu konu almışlardır. Deney yönteminde faktörler; koruyucu gaz, lazer gücü, iş parçasının iletim hızı, iletim sıklığı, iletim şekli ve kaynak odak pozisyonu olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerden birinin iki, diğer faktörlerin üçer

seviyesi bulunmaktadır. L_8 ortogonal dizisi kullanılmış ve gerilme gücü de deneydeki kalite karakteristiği olarak belirlenmiştir. SN oranı için en büyük- en iyi formülü seçilerek analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda en iyi faktör seviye kombinasyonu belirlenmiştir. SN oranı en iyi kombinasyonda 44,56dB olmuştur. Toplam iyileşme yaklaşık %75 oranında gerçekleşmiştir.

Yu Xuea, I.S. Kima, J.S. Son, C.E. Park, H.H. Kim, B.S. Sung, I.J. Kim, H.J. Kim, B.Y. Kang (2005), çalışmalarını robotik ark kaynağı prosesinde bulanık regresyon modeli kullanarak kaynak dikişi genişliğini kontrol etmek ve tahminlemek amacıyla yapılmışlardır. Optimal kaynak dikişi genişliği için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Tel çapı, ark gerilimi, kaynak hızı ve kaynak akımı çalışmanın faktörlerini oluşturmaktadır. Kaynak dikiş genişliği de kalite karakteristiğidir. Bulanık doğrusal regresyon teknolojisinden ise bu ikisi arasındaki ilişkiyi geliştirmek için yararlanılmıştır. Deney materyali 200mmx70mmx12mm boyutlarında SS400 tipi çelik plakadır. Her bir faktörün 2 seviyesi bulunmaktadır ve L_{16} ortogonal dizisi kullanılmıştır. Tüm deneyler Daewoo ABB1500 robotik kaynak makinasında yapılmıştır. Kalite karakteristiği olarak belirlenen kaynak dikiş genişliği için en küçük- en iyi SN oranı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda SN oranlarına göre önemli bir gelişme sağlanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilere bulanık regresyon modeli uygulanmıştır. Model robotik ark kaynak prosesinde tahminleme ve değerlendirme işlemlerinde bulanık regresyon modeli kullanılabileceğini göstermektedir.

G. Casalino, F. Curcio, F. Memola Capece Minutolo (2005), uçak ve uzay endüstrisi yanı sıra otomotiv endüstrisinde de kullanılan ve bir titanyum alaşımı olan Ti6Al4V'nin lazer kaynak makinasında Taguchi modeli ile optimizasyonu için deneyler yapmışlardır. Kalınlık, koruyucu gaz türü ve kaynak hızı denemedeki faktörleri oluşturmaktadır. Her bir kombinasyon için dört deneme yapılmıştır ve analizler sonucunda optimum faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

H. L. Lin, C. P. Chou'nun (2006), çalışmaları GTA (gaz tungsten ark) kaynağı sürecinin Taguchi yöntemi ve sinir ağları kullanarak optimizasyonuna dayanmaktadır. Deney materyali olarak 50mmx100mmx2,8mm boyutlarında çelik seçilmiştir. Elektrod çapı, elektrod açısı, ark boyu, kaynak akımı, seyahat hızı ve iletim hızı faktör olarak belirlenmiştir. Bu faktörlerden sadece elektrod çapı 2,

diğerleri ise 3 seviyelidir. $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizi kullanılmıştır. Kalite karakteristiği için uygun SN oranı belirlendikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizi ile optimal faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir. Ayrıca sinir ağı kullanılması sayesinde parametreler ve cevap değişkenleri arasındaki ilişki kolayca bulunmuştur.

Hyoung-Keun Lee, Hyon-Soo Han, Kwang-Jae Son, Soon-Bog Hong (2006), çalışmalarında özellikle kanser rahatsızlığının tedavisinde radyoterapi aşamasında faydalanan Nd: YAG(katı hal lazeri) lazer yönteminde kullanılan, iyot-125 radyoizotopu deney metaryali olarak seçilmiştir. Radyoterapi işleminden önce iyot-125 maddesi titanyum kapsüllerin içine yerleştirilmektedir. Kullanılan Nd: YAG tipi lazerde yukarıdaki işlemin etkinliğini ve uygun faktör ve seviye kombinasyonunu belirlemek amacıyla Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Nozul çeşidi, dönme hızı, eğim, odak pozisyonu, pompalama voltajı, iletim sıklığı ve iletim genişliği faktör olarak belirlenmiştir. 1. faktörün 2, diğer faktörlerin 3 seviyesi vardır. Hesaplanan serbestlik derecesi sonucu L_{18} ortogonal dizisi seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda belirlenen üç kalite karakteristiğini optimize edecek faktör ve seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

A.G. Olabi, G. Casalino, K.Y. Benyounis, M.S.J. Hashmi (2006), yaptıkları çalışmada hem yapay sinir ağları hem de Taguchi yöntemini kullanmışlardır. CO_2 lazerli kaynak makinasında çeliğin kaynağını kaynak hızı, lazer gücü ve odak uzaklığı faktörleri açısından incelemişlerdir. Belirlenen bu üç faktörün her birinin de üç seviyesi vardır. Bunlar dikkate alınarak L_9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Deney verilerini oluşturmak için kaynak dikişinin çeşitli noktalarından ölçümler yapılmıştır. SN oranı için en büyük-en iyi kullanılmıştır. Deney verileri her iki model için de uygulandığında önemli iyileşmeler sağlanmıştır.

Lung Kwang Pan, Che Chung Wang, Shien Long Wei, Hai Feng Sher (2007), yaptıkları çalışmada Nd: YAG tipi lazerde titanyum alaşımı kullanıldığında belirlenen kalite karakteristiklerinin optimizasyonunu sağlamaya çalışmışlardır. Çalışmada 6 faktör vardır. Bunlar: Koruyucu gaz, lazer gücü, torcun iş parçası üzerindeki seyahat hızı, lazer odağı ve iletim hızıdır. Koruyucu gaz ve torcun seyahat hızının iki seviyesi varken diğer faktörler üçer seviyeden oluşmaktadır. Dört ayrı kalite karakteristiğinde yapılan ölçümler sonucunda optimum faktör ve seviye kombinasyonu sağlanmış, hesaplanan SN oranıyla(en büyük- en iyi) Nd: YAG tipi

lazerde titanyum alaşımında önemli bir gelişme gözlenmiştir. Kombinasyon; koruyucu gaz: Argon, torcun seyahat hızı: 700 mm/min, lazer odağı: 0mm ve iletim hızı: 80Hz olmuştur.

Saurav Datta, Asish Bandyopadhyay, Pradip Kumar Pal (2007), çalışmalarında tozaltı SAW kaynak işleminde Taguchi yöntemi kullanarak kaynak dikiş geometrisinin ve IEB geometrisinin parametre optimizasyonu için çalışmışlardır. Çalışmada her iki verinin de en küçüklenmesini istenmektedir. Akım, cüruf karışımı, kaynak dikişinde taşan kısmın bazıklığı olmak üzere 3 faktör kullanılmıştır. Ayrıca her bir faktörün 3 seviyesi bulunmaktadır. Kaynak dikiş genişliği, dayanıklılık, nüfuziyet, IEB genişliği kalite karakteristikleridir. Deneyler yapılmış, her bir kalite karakteristiğine uygun SN oranları seçildikten sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Belirlenen optimal faktör ve seviye kombinasyonu ile başlangıç faktör ve seviyelerine göre önemli iyileşmeler sağlanmıştır.

H.-L. Lin, T. Chou, C.-P. Chou (2007) Direnç nokta kaynağı işleminde Taguchi metodu ve sinir ağları kullanılarak optimizasyon sağlamaya çalışmışlardır. Deney materyali olarak 0,7mm kalınlığında 30mmx100mm boyutlarında çelik kullanılmıştır. Deney tasarımı dört faktör ve her bir faktörün dört seviyesi bulunmaktadır. Elektrod ucunun boyutları, kaynak akımı, elektrod gücü ve kaynak zamanı deneyin faktörlerini oluşturmaktadır. Deneyde gerilme mukavemeti performans karakteristiği olarak kullanılmış ve SN oranı en büyük-en iyi şeklinde seçilmiştir. Analizler sonucunda optimizasyon sorunu çözülmüş ve uygun kombinasyon belirlenmiştir. Bu kombinasyondaki toplam iyileşme %15,98 olmuştur.

E.M. Anawa, A.G. Olabi (2008), CO₂ lazer kaynak yöntemi kullanarak kaynak banyosunun değerlerinin optimizasyonu için yapılan çalışmalarında faktör olarak lazer gücü, kaynak hızı ve odak kullanmışlardır. Her bir faktörün beş seviyesi bulunmaktadır ve L₂₅ ortogonal dizini seçilmiştir. 160mmx80mmx2mm boyutlarında paslanmaz çelik ve dövülmüş karbon çeliği kullanılmıştır. Çalışmada bütün kalite karakteristikleri için en küçük-en iyi SN oranı seçilmiştir. Kaynak banyosunun çeşitli noktalarından elde edilen ölçümler sonucu uygulanan deneyde varyans analizi yöntemi uygulanmıştır. Sonuçlara kaynak hızı, kaynak banyosunun optimizasyonunda en önemli faktör olarak öne çıkmıştır.

Y. F. Hsiao, Y. S. Tarng, W. J. Huang (2008), çalışmayı PAW (plazma ark kaynağı) parametrelerinin gri ilişki analizi ile birlikte Taguchi yönteminin de kullanılmasıyla optimize edilmesi amacıyla yapılmıştır. Kaynak faktörleri olarak; kaynak akımı, kaynak hızı, plazma gazının akım oranı ve torç mesafesi seçilmiştir. Performans karakteristiği olarak da nüfuziyet derinliği, kaynak dikişi genişliği ve kaynak banyosu kırığı kullanılmıştır. Torç mesafesinin iki seviyesi varken diğer faktörlerin üçer seviyesi vardır. Çalışmada $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ortogonal dizisi seçilmiştir ve deneyler üçer tekrarlı olarak yapılmıştır. Nüfuziyet derinliği ve kaynak dikişinin genişliği için en büyük-en iyi SN oranı , diğerleri için de nominal-en iyi SN oranı kullanılmıştır. Yapılan varyans analizi sonucunda en iyi faktör seviye kombinasyonu tespit edilmiştir. Buna göre faktörlerin kaynak işlemindeki önem sırası akım, kaynak hızı, plazma gazı akış oranı ve torç mesafesi şeklinde olmuştur.

3.4.2. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Kalite optimizasyonuna yönelik yapılan bütün çalışmaların temel amacı karı arttırmaktır. Rekabette öne çıkmak için kalitesi sürekli artan bir ürünün müşteriler tarafından kabul görecekt fiyatlarla pazara sürülmesi gerekmektedir. Bütün bunların sağlanabilmesi amacıyla öncelikle ürün tasarımının ve proses hattının hedeflenen kalite düzeyi için, yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Taguchi metodu, ürün ve proses performansını kontrol edilmesi zor olan faktörlere karşı duyarsızlaştırarak ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle geliştiren, klasik deney tasarımının G. Taguchi tarafından geliştirilmiş halidir. Uygulamalarda Taguchi metodunun yoğun olarak kullanılma nedeni sunduğu alternatif yöntemler, problemlere adapte edilebilirliği, kısa zamanda pratik ve somut çözümlere ulaşılabilme vb. özelliklerdir.

Ürün performansına ulaşma konusunda, yüksek maliyetin gerektiğine inanan mühendisler, teknik elemanlar, sistem tasarımı aşamasından, tolerans tasarım aşamasına geçmişlerdir. Uygulama safhası, Taguchi Metodunun parametre tasarımı safhasında gerçekleştirilmiştir. Parametre tasarımının uygulama adımlarını incelemek için robotik kaynak yöntemi seçilmiştir.

Bu araştırmanın amacı; emniyet kabini üretiminde kullanılan saç plakaların robotik gazaltı kaynak makinasında köşe kaynakların yapılmasında karşılaşılan penetrasyon (nüfuziyet) sorununun Taguchi deney tasarımını kullanarak optimizasyonunun sağlanmasıdır.

3.4.3. Problemin Belirlenmesi

Çok yanıtlı problem belirlenmesi ve çalışma ortamını oluşturulması için firmadaki uzman kişilerle bilgi alış verişi sağlanmıştır. Problemi belirlerken firmanın da aynı anda sorun yaşadığı, sorunları düzeltmek için deney çalışmaları yaptığı alanlar dikkate alınmıştır. Yapılan beyin fırtınası ve neden sonuç teknikleri sonrasında problem: 3 mm ERDEMİR 3237 (sıcak haddelenmiş alaşımsız yapı çeliği) tipi saç levha kullanılan kabin prototipinde köşe kaynakta yaşanan nüfuziyet sorunları olarak belirlenmiştir.

Probleme konu olan yapı çeliği Ereğli Demir Çelik fabrikasından levhalar şeklinde fabrikaya ulaşmaktadır. Bu levhalar şekil 32’de görülen kabin prototipinde kullanılacak boyutlarda lazer kesme makinasında kesilmektedir. Kesilen levha parçalarına robotik gazaltı kaynak makinasında belli değerler altında kaynak yapılmaktadır. Kaynak yapılan bu ürünler kabin üretiminde kullanılmaktadır. Sorun yaşanan 3 mm kalınlığında ERDEMİR 3237 tipi çelik, kabinin alt kısmında ve yanlarda bulunan a,b,c,d direkleri denen kısımlarda kullanılmaktadır. Bu kısımlar yapısal kaynak bölgeleri olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 32: İncelenen Ürünün Kullanıldığı Kısımlar



Sorunun belirlenmesi; fabrikada daha önce üretilmiş olan ve bu çalışmadaki çelik türünün kullanıldığı bir kabinin kalite kontrol deneyleri sırasında ortaya çıkmıştır. Yapılan kabin çeşitli yöntemlerle parçalanmış ve her bir ürün kendisi için önceden belirlenen kalite kontrol testlerine tabi tutulmuştur. 3mm kalınlığındaki 3237 çeliğin kullanıldığı kısımlarda yapılan dağlama deneyleri sonucu elde edilen değerlerin önceden belirlenen standartlara uymadığı görülmüştür.

3 mm ERDEMİR 3237 tipi çelikte köşe kaynakta yaşanan nüfuziyet sorununun çözümü için Fronius TPS 4000 tipi robotik kaynak makinesiyle gazaltı kaynak metodu ile iterek ve sinerjik kaynak yöntemi kullanılarak, 15 derecelik bir açıyla nüfuziyeti arttırmak için deneyler yapılmıştır.

3.4.4. Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

Çalışmada çeliğin kaynak nüfuziyetinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen faktörler ve bunların seviyeleri çalışma ekibi tarafından beyin fırtınası ve neden sonuç araçları kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca kullanıcı tarafından değiştirilmesi mümkün olmayan kontrol edilemeyen değişkenler de belirlenmiştir.

Faktörler belirlenirken, genel olarak tüm kaynak sürecinde çıktıya etki eden faktörler üzerinde tartışılmış ve nüfuziyete etki eden beş faktör belirlenmiştir. Tüm

faktörler üç ayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deney bu üç seviyeli beş kontrol faktörünü içeren bir yapıda $L_{27}(3^5)$ ortogonal dizisi kullanılarak ve 27 deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri tablo 23’de verilmektedir.

Kontrol edilemeyen faktörler olarak da sıcaklık ve hava sirkülasyonu belirlenmiştir. Firmadan edinilen bilgiler doğrultusunda kaynak yapılan ortamda sıcaklığın minimum 12-13 °C ile maksimum 38 °C olması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca kaynak banyosunun korunabilmesi için ortamda hava sirkülasyonu olamaması gerekmektedir.

Tablo 23: Kontrol Faktörleri ve Seviyelerin Değerleri

FAKTÖRLER		SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
1	A: Akım(Amper)	220	250	280
2	B: Kaynak Hızı(mm/sn)	0,3	0,4	0,5
3	C: Tel Kalınlığı (mm)	0,8	1	1,2
4	D: Zigzag Boyu (mm)	3	1	2
5	E: Gaz Karışımı	%93 Argon , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂	%83 Argon,%17 CO ₂	%98 Argon, %2 Co ₂

Seviyeler belirlenirken ise bazı faktörlere belli aralıklar verilmiştir (3mm kalınlığındaki çelik levha için akım 220 amper ile 280 amper aralığında olmalıdır). Bu aralıkların belirlenebilmesi için uzman mühendislerin görüşüne ek olarak, seviyelerin belirlenmesi sırasında diğer faktörler sabit tutularak denemeler yapılmıştır. Çelikler için verilen referans değerler dikkate alınarak akım faktörü için 200 amper ve 300 amper değerlerinde denemeler yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda 200 amperle yapılan deneyde kaynağın kırılğanlaştığı görülmüştür. 300 amperle yapılan deneyde ise kaynak dikişi üzerinde yanma olukları oluştuğu görülmüştür. Her bir faktör için bir üst ve bir alt limitler kullanılarak bu deneyler tekrarlanmış ve aralıklar bu yöntemler

belirlenmiştir. Ayrıca üçüncü seviye değerleri bu tip çelik için fabrikada halihazırda kullanılan değerlerdir.

Ayrıca denemelere ek olarak faktörler arası etkileşim olup olmadığı incelenmiştir. Bunun sonucunda akım ile kaynak hızı arasında ters, akım ile tel kalınlığı arasında doğru orantı olduğu gözlenmiştir. Yani akım arttıkça kaynak hızı azalmakta, tel kalınlığı ise artmaktadır. Etkileşimler uygun ortogonal dizinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

Yukarıda verilen faktörler hakkında ayrıntılı bilgi bu bölümün başında verilmiştir. Dördüncü faktör olarak kullanılan zigzag boyu kaynak makinasında torcun hareketini tanımlar. Zigzagla kaynak yapılması nüfuziyetin eşit dağılmasını sağlamaktadır.

3.4.5. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine veya daha büyük deneme sayısına sahip olan ortogonal dizi uygun dizi olarak seçilir. Gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesi, o faktörün seviye sayısının bir eksiğine eşittir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi, etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir (Ross, 1989: 74). Buna göre v faktörün serbestlik derecesi ve k faktöre ait seviye sayısı olmak üzere i. faktörün serbestlik derecesi:

$$v_i = k_i - 1$$

dir. Eşit seviyede n faktörün toplam serbestlik derecesi de:

$$v_T = \sum v_i = nv_i = (N-1, N \text{ toplam deneme sayısı})$$

Eşitliğinden bulunur. Buna göre beş faktörün hepsi üç seviyeli olduğundan her faktörün serbestlik derecesi eşittir. Örneğin, A faktörünün serbestlik derecesi v_A ve seviye sayısı k_A olsun. Buna göre A faktörünün serbestlik derecesi $v_A = k_A - 1 = 3 - 1 = 2$ olarak bulunur. Bu deney için bütün faktörlerin serbestlik dereceleri birbirine eşit ve

2 olduğundan beş faktörün toplam serbestlik derecesi olan v_T de aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$v_T = \sum v_i = 5 \cdot 2 = 10$$

Etkileşimlerin serbestlik dereceleri de yukarıda belirtildiği gibi etkileşim içinde olan faktörlerin serbestlik derecesine eşittir. Yani;

$$V_{A \times B} = V_A \times V_B$$

eşitliğinden bulunabilir. Bu çalışmada A ve B ile A ve C faktörleri etkileşim içindedir. Bu durumda; $v_{A \times B} = 2 \times 2 = 4$ iken aynı şekilde $v_{A \times C} = 2 \times 2 = 4$ olmaktadır.

Toplam serbestlik derecesinin ise tüm serbestlik derecelerinin toplamına eşit olduğu önceden bahsedilmiştir. Bu durumda $10 + 4 + 4 = 18$ bu çalışmanın serbestlik derecesidir. Serbestlik dereceleri için ayrıntılı tablo, tablo 24 de verilmektedir.

Tablo 24: Faktör ve Etkileşimlerin Serbestlik Dereceleri Ve Toplam Serbestlik Derecesi

Faktör/Etkileşim	Serbestlik derecesi
A	$V_A = K_A - 1 = 3 - 1 = 2$
B	$V_B = K_B - 1 = 3 - 1 = 2$
C	$V_C = K_C - 1 = 3 - 1 = 2$
D	$V_D = K_D - 1 = 3 - 1 = 2$
E	$V_E = K_E - 1 = 3 - 1 = 2$
A*B	$V_{A \times B} = V_A \times V_B = 2 \times 2 = 4$
A*C	$V_{A \times C} = V_A \times V_C = 2 \times 2 = 4$
Toplam Serbestlik Derecesi 18	

Deneyin serbestlik derecesi, seçilecek ortogonal dizinin serbestlik derecesinden küçük veya eşit olmalıdır. L_n ortogonal dizinin serbestlik derecesi $n-1$ dir. Bu çalışmada faktörlerin serbestlik dereceleri toplamı 10 dur. Bu demek oluyor ki seçilecek ortogonal dizinin serbestlik derecesi en az 10 olmalıdır. L_{27} ortogonal dizinin serbestlik derecesi $L_n=L_{27}= 27-1= 26$ olduğundan bu çalışmaya uygundur.

3.4.6. Faktörlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması

Standart L_{27} ortogonal dizisi aşağıdaki gibidir.

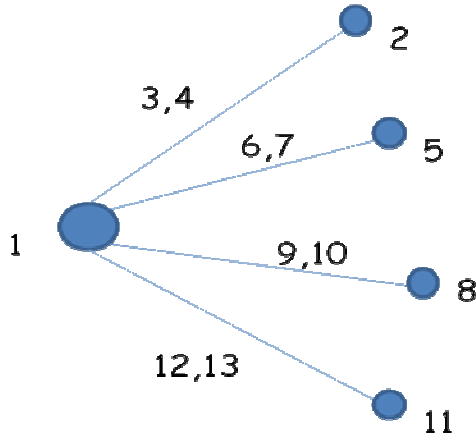
Tablo 25: Standart L_{27} Ortogonal Dizini

Deney No	Sütun Numarası												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1

Standart L_{27} Ortogonal Dizini (Tablo 25 Devamı)													
Deney No	Sütun Numarası												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2
	a	b	ab	ab^2	c	ac	ac^2	bc	abc	ab^2c^2	bc^2	ab^2c	abc^2

Faktör ve etkileşimlerin L_{27} ortogonal dizisine atanması doğrusal grafikler yardımıyla yapılmıştır. Etkileşimlerin atanması gereken sütunlar tablo 25'de en alt satırda gösterilmiştir. Kullanılmasına karar verilen doğrusal grafik şekil 33'de gösterilmektedir.

Şekil 33: Taguchi L_{27} Ortogonal Dizinine Ait Doğrusal Grafik



Kaynak: Park,1996: 87.

Yukarıdaki şekilde de açıkça görüldüğü gibi L_{27} ortogonal dizisi için etkileşimler dikkate alınarak A faktörü 1. sütun, B faktörü 2. sütun, 3 ve 4. sütunlar AxB etkileşimi olarak belirlenirken; C faktörü 5. sütun, 6 ve 7. sütunlar AxC etkileşimi için kullanılmıştır. 8. sütun D faktörü, 11. sütun E faktörü için kullanılacaktır. Kullanılmayan 9,10 ve 12,13 sütunları kukla sütunlardır. Tablo 26'da faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 26: Faktör ve Etkileşimlerinin Kolonlara Atanması

Faktör/Etkileşim	Atanacağı Kolon
A	1
B	2
C	5
D	8
E	11
A*B	3,4
A*C	6,7

Böylece L_{27} ortogonal dizininde kullanılması gereken sütunlar tablo 27' de renkli olarak belirtilen sütunlar olmaktadır. Faktörler bu sütunlara atanacaktır.

Tablo 27: Kullanılacak L_{27} Ortogonal Dizini

Deney No	Sütun Numarası												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3

Kullanılacak L ₂₇ Ortogonal Dizini (Tablo 27 Devamı)													
Deney No	Sütun Numarası												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2
	a	b	ab	ab ²	c	ac	ac ²	bc	abc	ab ² c ²	bc ²	ab ² c	abc ²

Faktör ve seviyelerin L₂₇ ortogonal dizinine atanmış hali ise tablo 28' de gösterilmektedir. Ayrıca Taguchi yönteminin rassallık prensibi gereği deneyler için rassal sıralar tayin edilmiştir. Deneyler rassal sıraya uygun olarak yapılmıştır. Ancak değerlerin tablolara işlenmesi işlemi ilk sıralamaya sadık kalınarak yapılmıştır.

Ortogonal dizinlerin en önemli özelliklerinden birisi de her faktörün her seviyesine eşit şans verilerek deneye tabi tutulmasıdır. Örneğin A faktörünün 1. , 2. ve 3. seviyelerinde 9'ar kez deneye tabi tutulmaktadır. Aynı durum diğer tüm faktörler için de geçerlidir.

Tablo 28: Taguchi L₂₇ Tasarımının Deneye Uygulanmış Hali

Deney No	Rassal Sıra	FAKTÖRLER				
		AKIM	KAYNAK HIZI	TEL KALINLIĞI	ZİGZAG BOYU	GAZ KARIŞIMI
1	11	220	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
2	22	220	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO ₂
3	6	220	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
4	27	220	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
5	15	220	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
6	18	220	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO ₂
7	3	220	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO ₂
8	21	220	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
9	17	220	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
10	23	250	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
11	16	250	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO ₂
12	9	250	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
13	25	250	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
14	8	250	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
15	5	250	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO ₂
16	20	250	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO ₂
17	24	250	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
18	26	250	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
19	2	280	0,3	0,8	3	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
20	10	280	0,3	1	1	%83 Ar,%17 CO ₂
21	14	280	0,3	1,2	2	%98 Ar, %2 Co ₂
22	12	280	0,4	0,8	1	%98 Ar, %2 Co ₂
23	19	280	0,4	1	2	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂
24	7	280	0,4	1,2	3	%83 Ar,%17 CO ₂
25	4	280	0,5	0,8	2	%83 Ar,%17 CO ₂
26	1	280	0,5	1	3	%98 Ar, %2 Co ₂
27	13	280	0,5	1,2	1	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂

3.4.7. Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi

Deneyler, deney planına (L_{27}) uygun olarak yapılmıştır. Taguchi'nin tekrarlamalı prensibi gereği her deney koşulunda beş ürün üretilmiştir. Problemin belirlenmesi kısmında bahsedilen 3mm kalınlığındaki ERDEMİR 3237 tipi çelik levhada yaşanan nüfuziyet sorununun giderilmesi için Metkon marka Metacut M250 metal kesme makinasıyla kesilen, kaynak yapılmış parçalara deney uygulanmıştır. Deneyler yapılırken L_{27} deneyinde belirtilen her seviye kombinasyonu kaynak makinasına girilerek, parçalara belirlenen seviyelerde kaynak yapılmıştır. Kaynak yapılan bu parçalar, çelik üzerindeki çapaklanmayı engellemek için zımpara işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımpara işleminden sonra yüzeyin parlaklaşması ve görüntünün netleşmesi için %10'luk nitrik asit (HNO_3) çözeltisi banyosu içine atılmışlardır (dağlama deneyi). Parlatılan bu parçaların nüfuziyet değerlerinin, Nikon SMZ 800 Stereo Mikroskobu yardımıyla çekilen fotoğraflarının Clemex CAPTIVA yazılımı sayesinde bilgisayar ortamında ölçülmesiyle deneyler sonlandırılmıştır. Üretilen bu parçalar şeffaf torbalar içine konularak üzerlerine deney numaraları yazılmıştır. Belirtilen dağlama deneyleri kaynak parametrelerindeki değişimlerin kaynak metalinin boyut ve şekline, nüfuziyet derinliğine, kaynak yapısına ve derinliğine etkilerini belirtmek için kullanılmaktadır.

Bütün parçalar nüfuziyetin görünümü ve nüfuziyetin değeri gibi iki kalite karakteristiği açısından ölçülmüştür. Gözle inceleme işlemi uzman kişilerce yapılmıştır. Üretilen ürünlerin görünüm açısından incelenmesi kabul-evet/red-hayır şeklinde yapılmaktadır. Bu nitel değerler nicel değerlere dönüştürülerek, (0 ve 1) sayısal olarak incelenmeye ve analizlere uygun hale getirilmiştir.

Nüfuziyetin değeri için fabrika tarafından kaynak yapılan her türlü metal için ayrı ayrı uygulanan sınır değerler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Bu sınır değerler çalışmanın uygulandığı fabrikanın tedarikçisi olduğu; tarım ve iş makineleri sektöründe faaliyet gösteren Case New Holland'ın standartları ve TS EN 50160 Metal Standartları çerçevesinde oluşturulmuştur. Bu çalışma için standart şöyledir: 3mm kalınlığında çeliğin köşe kaynağında nüfuziyet; kalınlığın minimum %15' i ile maksimum %60'ı arasında olmalıdır. Bu durumda değerler, minimum 0,45 ile maksimum 1,8 arasında olmalıdır.

Ayrıca her deneyde iki yanıt (kalite karakteristiği) için beşer veri olmak üzere toplam 135 (= 27×5) veri elde edilmiştir. Bu karakteristiklere ait veriler tablo 29 ve tablo

31'de görüldüğü gibidir. Hesaplanan bu verilere dayanarak her bir yanıtın ortalama, standart sapma ve değişim aralığı deney bazında belirlenmiştir.

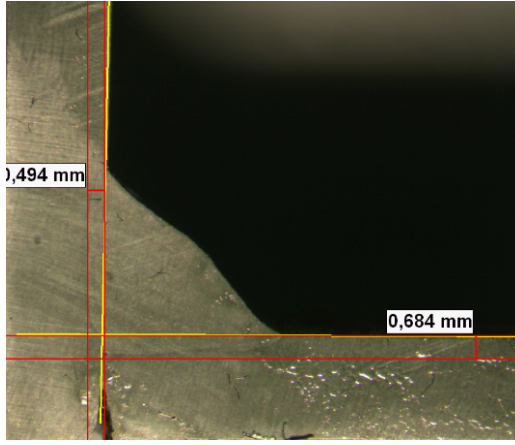
Tablo 29: Nüfuziyetin Görünüm Verileri

Deney No	Nüfuziyet Görünümü İçin Nitel Veriler					Nüfuziyet Görünümü İçin Nicel Veriler					Nicel Veriler İçin			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	TOP1	ORT1	SS1	R1
1	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
2	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
3	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
4	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
5	H	H	H	E	E	0	0	0	1	1	2	0,40	0,55	1
6	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
7	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
8	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
9	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
10	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
11	E	E	E	H	H	1	1	1	0	0	3	0,60	0,55	1
12	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
13	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
14	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
15	H	H	E	E	E	0	0	1	1	1	3	0,60	0,55	1
16	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
17	E	E	H	H	H	1	1	0	0	0	2	0,40	0,55	1
18	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
19	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
20	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
21	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
22	H	H	H	H	E	0	0	0	0	1	1	0,20	0,45	1
23	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
24	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
25	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	5	1,00	0,00	0
26	E	E	E	H	H	1	1	1	0	0	3	0,60	0,55	1
27	E	E	H	H	H	1	1	0	0	0	2	0,40	0,55	1

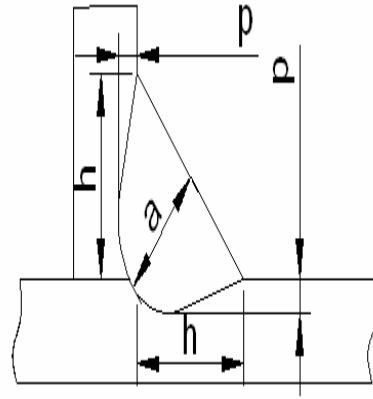
E:Kabul (1) H:Red(0)

Nüfuziyetin değeri için veriler fotoğraflardaki değerlerden elde edilmişlerdir. Aşağıdaki şekil 34(a) ve 34(c) sırasıyla birinci ve ikinci deney için sonuçları içerir. Şekilden de anlaşılacağı gibi kaynak, köşe kaynağı olması nedeniyle iki ayrı sonuç ortaya çıkmıştır. Şekil 34 (b)'de "p" ile gösterilen kısmın ölçülmesinden elde edilen değerler şekil 34 (a) ve 34(c) üzerinde yazılı olan değerlerdir. Analizler sırasında sorun yaşamamak amacıyla her bir parça x ve y eksenine ayrılarak model uygulanmıştır. Burada ilk sütunlar x eksenindeki değerleri, ikinci sütunlar y eksenindeki değerleri göstermektedir.

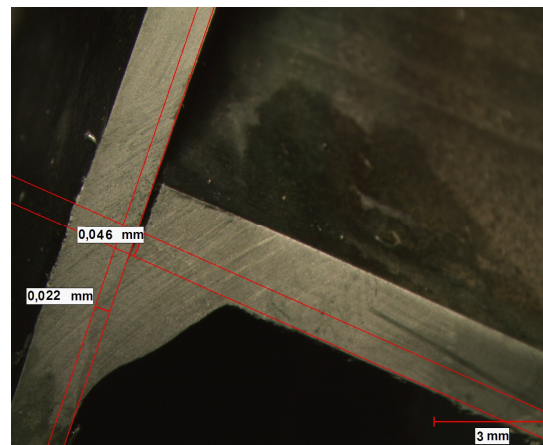
Şekil 34: İlk Deney İçin Nüfuziyet Değerleri



(a)



(b)



(c)

Tablo 30: Nüfuziyetin Değeri

Deney No	Nüfuziyet Değeri									
	1		2		3		4		5	
1	0,684	0,494	0,678	0,456	0,712	0,470	0,688	0,465	0,710	0,466
2	0,022	0,046	0,035	0,022	0,043	0,042	0,033	0,056	0,023	0,051
3	0,475	0,480	0,468	0,411	0,435	0,499	0,410	0,485	0,465	0,475
4	0,612	0,587	0,634	0,548	0,602	0,512	0,534	0,523	0,622	0,567
5	1,294	0,513	1,212	0,498	1,287	0,498	1,231	0,423	1,342	0,502
6	0,196	0,172	0,156	0,163	0,178	0,176	0,156	0,112	0,198	0,143
7	0,203	0,284	0,213	0,273	0,265	0,276	0,298	0,277	0,201	0,223
8	0,896	0,952	0,801	0,902	0,889	0,899	0,865	0,917	0,876	0,925
9	0,465	0,462	0,468	0,411	0,465	0,689	0,462	0,675	0,465	0,564
10	0,713	0,983	0,693	0,973	0,735	0,786	0,998	0,677	0,921	0,610
11	0,456	1,058	0,466	1,056	0,478	1,057	0,522	1,056	1,043	0,498
12	0,486	0,462	0,501	0,612	0,489	0,689	0,465	0,687	0,476	0,675
13	0,684	0,964	0,678	0,956	0,671	0,912	0,465	0,415	0,718	0,904
14	0,612	1,587	0,634	1,548	0,602	1,512	0,554	1,423	0,522	1,467
15	0,455	0,718	0,468	0,711	0,445	0,707	0,476	0,685	0,465	0,765
16	1,070	0,984	1,071	0,673	1,076	0,676	1,069	0,677	1,070	0,623
17	0,465	0,662	0,478	0,711	0,475	0,689	0,482	0,743	0,495	0,764
18	0,684	0,454	0,678	0,456	0,712	0,465	0,688	0,465	0,753	0,466
19	1,049	0,972	1,050	0,952	1,089	0,889	0,875	0,987	1,047	0,965
20	0,453	0,642	0,712	0,695	0,452	0,541	0,653	0,902	0,752	0,445
21	0,335	0,412	0,435	0,432	0,715	0,712	0,613	0,801	0,793	0,815
22	0,712	0,623	0,956	0,563	0,811	0,623	0,715	0,756	0,825	0,922
23	1,041	1,232	1,078	1,221	0,985	1,307	0,923	1,005	1,052	1,033
24	0,923	0,871	0,930	0,751	0,785	0,825	0,743	0,833	0,791	0,843
25	0,958	1,021	0,828	1,033	0,993	0,871	1,038	1,113	1,075	1,003
26	0,658	0,633	0,727	0,518	0,577	0,635	0,817	0,551	0,458	0,539
27	0,351	0,423	0,391	0,417	0,228	0,535	0,343	0,456	0,652	0,527

Tablo 31: x ve y Eksenleri İçin Nüfuziyetin Değeri

Deney No	Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)				Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)			
	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3
1	3,472	0,694	0,016	0,034	2,351	0,470	0,014	0,038
2	0,156	0,031	0,009	0,021	0,217	0,043	0,013	0,034
3	2,253	0,451	0,027	0,065	2,350	0,470	0,034	0,088
4	3,004	0,601	0,039	0,100	2,737	0,547	0,031	0,075
5	6,366	1,273	0,052	0,130	2,434	0,487	0,036	0,090
6	0,884	0,177	0,021	0,042	0,766	0,153	0,026	0,064
7	1,180	0,236	0,043	0,097	1,333	0,267	0,025	0,061
8	4,327	0,865	0,038	0,095	4,595	0,919	0,021	0,053
9	2,325	0,465	0,002	0,006	2,801	0,560	0,124	0,278
10	4,060	0,812	0,138	0,305	4,029	0,806	0,169	0,373
11	2,965	0,593	0,253	0,587	4,725	0,945	0,250	0,560
12	2,417	0,483	0,014	0,036	3,125	0,625	0,096	0,227
13	3,216	0,643	0,101	0,253	4,151	0,830	0,234	0,549
14	2,924	0,585	0,046	0,112	7,537	1,507	0,065	0,164
15	2,309	0,462	0,012	0,031	3,586	0,717	0,029	0,080
16	5,356	1,071	0,003	0,007	3,633	0,727	0,146	0,361
17	2,395	0,479	0,011	0,030	3,569	0,714	0,041	0,102
18	3,515	0,703	0,031	0,075	2,306	0,461	0,006	0,012
19	5,110	1,022	0,084	0,214	4,765	0,953	0,038	0,098
20	3,022	0,604	0,143	0,300	3,225	0,645	0,173	0,457
21	2,891	0,578	0,191	0,458	3,172	0,634	0,198	0,403
22	4,019	0,804	0,100	0,244	3,487	0,697	0,144	0,359
23	5,079	1,016	0,062	0,155	5,798	1,160	0,133	0,302
24	4,172	0,834	0,086	0,187	4,123	0,825	0,045	0,120
25	4,892	0,978	0,095	0,247	5,041	1,008	0,087	0,242
26	3,237	0,647	0,138	0,359	2,876	0,575	0,055	0,117
27	1,965	0,393	0,157	0,424	2,358	0,472	0,056	0,118

3.4.7.1. Kalite Kaybının Hesaplanması

Veriler elde edildikten sonra eniyileme prosedürü gereği kayıplar (L_{ij}), normalleştirilen kayıplar (C_{ij}), normalleştirilen toplam kalite kayıpları ($TNQL_j$) ve çok yanıtlı sinyal gürültü oranları ($MRSN_j$) hesaplanmaktadır. C_{ij} , $TNQL_j$, $MRSN_j$ değerleri sırasıyla (61), (62), (63) eşitlikleri kullanılarak yapılmıştır.

Kalite kaybı hesaplanırken nüfuziyet değerleri belli aralıkta olması istendiği için “nominal en iyi” yanıtının formülü kullanılmıştır. Hesaplanan kalite kayıpları tablo 32’de gösterilmektedir.

Bu değerlere bağlı olarak normalleştirilen kalite kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$C_{122} = \frac{L_{122}}{L_1} = \frac{5.0000}{5.0000} = 1.0000$$

$$C_{21} = \frac{L_{21}}{L_2} = \frac{0.00050}{0.18176} = 0.00277$$

$$C_{31} = \frac{L_{31}}{L_3} = \frac{0.00092}{0.09741} = 0.00943$$

Olarak bulunur.

C_{i1} : i. kalite karakteristiği için ($i = 1, 2, 3$) 1 nolu deneyde normalleştirilen kalite kaybını ifade etmektedir.

L_i : i. kalite karakteristiğinde yapılan deneyler içinde en yüksek değeri alan kalite kaybı değeridir.

Bu formüller dikkate alınarak hesaplanan normalleştirilen kalite kayıpları tablo 33’de gösterilmektedir.

Tablo 32: Hesaplanan Kalite Kayıp Değerleri

Deney No	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)
	L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}
1	0,00000	0,00050	0,00092
2	-	0,07931	0,09068
3	-	0,00369	0,00529
4	0,00000	0,00425	0,00317
5	1,87500	0,00168	0,00553
6	-	0,01347	0,02951
7	0,00000	0,03379	0,00859
8	0,00000	0,00192	0,00054
9	0,00000	0,00002	0,04914
10	0,00000	0,02896	0,04415
11	0,83333	0,18176	0,06992
12	0,00000	0,00079	0,02379
13	0,00000	0,02478	0,07917
14	0,00000	0,00610	0,00184
15	0,83333	0,00068	0,00168
16	0,00000	0,00001	0,04019
17	1,87500	0,00052	0,00328
18	-	0,00192	0,00015
19	0,00000	0,00676	0,00158
20	0,00000	0,05603	0,07173
21	-	0,10897	0,09741
22	5,00000	0,01547	0,04267
23	0,00000	0,00373	0,01314
24	0,00000	0,01065	0,00293
25	0,00000	0,00944	0,00753
26	0,83333	0,04536	0,00913
27	1,87500	0,15956	0,01425

Tablo 33: Hesaplanan Normalleştirilen Kalite Kayıp Değerleri

Deney No	Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)
	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}
1	0,00000	0,00277	0,00943
2	-	0,43632	0,93087
3	-	0,02030	0,05428
4	0,00000	0,02340	0,03256
5	0,37500	0,00923	0,05674
6	-	0,07414	0,30298
7	0,00000	0,18591	0,08815
8	0,00000	0,01057	0,00552
9	0,00000	0,00011	0,50446
10	0,00000	0,15931	0,45325
11	0,16667	1,00000	0,71777
12	0,00000	0,00436	0,24426
13	0,00000	0,13631	0,81269
14	0,00000	0,03358	0,01893
15	0,16667	0,00373	0,01729
16	0,00000	0,00004	0,41261
17	0,37500	0,00287	0,03364
18	-	0,01055	0,00158
19	0,00000	0,03718	0,01627
20	0,00000	0,30827	0,73640
21	-	0,59951	1,00000
22	1,00000	0,08511	0,43803
23	0,00000	0,02049	0,13487
24	0,00000	0,05861	0,03012
25	0,00000	0,05192	0,07729
26	0,16667	0,24954	0,09374
27	0,37500	0,87784	0,14626

Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kayıp her yanıtın aldığı ağırlık değeri ile çarpılarak toplanır ve bu şekilde bir deney için TNQL değeri hesaplanır.

$$TNQL_1 = w_1 C_{11} + w_2 C_{21} + w_3 C_{31} = 1*0.000 + 2*0,00277 + 2*0,00943$$

$$= 0,02441$$

w_i = i. yanıtın aldığı ağırlık katsayısıdır.

$TNQL_1$ = 1 nolu deney için normalleştirilen toplam kalite kaybını ifade etmektedir.

Yanıtların aldığı ağırlıklar firmada çalışma ekibiyle birlikte tartışarak verilmiştir. Ağırlıklar verilirken kaynak dikişinin şekli, önceden belirlenen sınırlamalar, dikişin güçlendirmeye ihtiyaç duyup duymaması gibi faktörler dikkate alınmıştır.

3.4.7.2. Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. $TNQL$ 'nin daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir. Atanan ağırlıklara göre (w_1, w_2, w_3) sinyal gürültü oranı eşitlik (62) deki formül yardımıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı deneyde yerine konularak 1 nolu deney için performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı;

$$MRSN_1 = -10 \log_{10} (TNQL_1) = -10 \log_{10} (0,02441) = 16,12422$$

olarak bulunur.

Aynı şekilde bulunan bütün deneylere ait L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri tablo 34'de verilmiştir.

Tablo 34: Ölçülen Verilerden Hesaplanan Ortalamalar ve L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_j$, $MRSN_j$ Değerleri

Deney No	Nicel Veriler İçin				Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksenli)								Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksenli)								Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Eksenli)	Nüfuziyet Değeri (Y Eksenli)	C _{ij}	C _{2j}	C _{3j}	1:2:2 İçin		3:1:1 İçin		2:6:6 İçin	
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3	L _{ij}	L _{2j}	L _{3j}	C _{ij}	C _{2j}	C _{3j}	TNQL _i	MRSN _j							TNQL _i	MRSN _j	TNQL _i	MRSN _j	TNQL _i	MRSN _j
1	5	1,000	0,000	0	3,472	0,694	0,016	0,034	2,351	0,470	0,014	0,038	0,00000	0,00050	0,00092	0,00000	0,00277	0,00943	0,0244	16,1242	0,0122	19,1345	0,0732	11,3530								
2	0	0,000	0,000	0	0,156	0,031	0,009	0,021	0,217	0,043	0,013	0,034	-	0,07931	0,09068	-	0,43632	0,93087	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	0	0,000	0,000	0	2,253	0,451	0,027	0,065	2,350	0,470	0,034	0,088	-	0,00369	0,00529	-	0,02030	0,05428	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	5	1,000	0,000	0	3,004	0,601	0,039	0,100	2,737	0,547	0,031	0,075	0,00000	0,00425	0,00317	0,00000	0,02340	0,03256	0,1119	9,5112	0,0559	12,5215	0,3357	4,7400								
5	2	0,400	0,548	1	6,366	1,273	0,052	0,130	2,434	0,487	0,036	0,090	1,87500	0,00168	0,00553	0,37500	0,00923	0,05674	0,5069	2,9504	1,1909	-0,7590	1,1458	-0,5911								
6	0	0,000	0,000	0	0,884	0,177	0,021	0,042	0,766	0,153	0,026	0,064	-	0,01347	0,02951	-	0,07414	0,30298	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
7	5	1,000	0,000	0	1,180	0,236	0,043	0,097	1,333	0,267	0,025	0,061	0,00000	0,03379	0,00859	0,00000	0,18591	0,08815	0,5481	2,6113	0,2740	5,6216	1,6443	-2,1598								
8	5	1,000	0,000	0	4,327	0,865	0,038	0,095	4,595	0,919	0,021	0,053	0,00000	0,00192	0,00054	0,00000	0,01057	0,00552	0,0321	14,9240	0,0160	17,9343	0,0965	10,1527								
9	5	1,000	0,000	0	2,325	0,465	0,002	0,006	2,801	0,560	0,124	0,278	0,00000	0,00002	0,04914	0,00000	0,00011	0,50446	1,0091	-0,0395	0,5045	2,9707	3,0274	-4,8107								
10	5	1,000	0,000	0	4,060	0,812	0,138	0,305	4,029	0,806	0,169	0,373	0,00000	0,02896	0,04415	0,00000	0,15931	0,45325	1,2251	-0,8817	0,6125	2,1285	3,6753	-5,6529								
11	3	0,600	0,548	1	2,965	0,593	0,253	0,587	4,725	0,945	0,250	0,560	0,83333	0,18176	0,06992	0,16667	1,00000	0,71777	3,6022	-5,5657	2,2177	-3,4591	10,6399	-10,2694								
12	5	1,000	0,000	0	2,417	0,483	0,014	0,036	3,125	0,625	0,096	0,227	0,00000	0,00079	0,02379	0,00000	0,00436	0,24426	0,4972	3,0343	0,2486	6,0446	1,4917	-1,7368								
13	5	1,000	0,000	0	3,216	0,643	0,101	0,253	4,151	0,830	0,234	0,549	0,00000	0,02478	0,07917	0,00000	0,13631	0,81269	1,8979	-2,7829	0,9490	0,2273	5,6939	-7,5541								
14	5	1,000	0,000	0	2,924	0,585	0,046	0,112	7,537	1,507	0,065	0,164	0,00000	0,00610	0,00184	0,00000	0,03358	0,01893	0,1050	9,7874	0,0525	12,7977	0,3150	5,0162								
15	3	0,600	0,548	1	2,309	0,462	0,012	0,031	3,586	0,717	0,029	0,080	0,83333	0,00068	0,00168	0,16667	0,00373	0,01729	0,2087	6,8046	0,5210	2,8314	0,4594	3,3775								
16	5	1,000	0,000	0	5,356	1,071	0,003	0,007	3,633	0,727	0,146	0,361	0,00000	0,00001	0,04019	0,00000	0,00004	0,41261	0,8253	0,8338	0,4126	3,8441	2,4759	-3,9373								
17	2	0,400	0,548	1	2,395	0,479	0,011	0,030	3,569	0,714	0,041	0,102	1,87500	0,00052	0,00328	0,37500	0,00287	0,03364	0,4480	3,4871	1,1615	-0,6502	0,9690	0,1365								
18	0	0,000	0,000	0	3,515	0,703	0,031	0,075	2,306	0,461	0,006	0,012	-	0,00192	0,00015	-	0,01055	0,00158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19	5	1,000	0,000	0	5,110	1,022	0,084	0,214	4,765	0,953	0,038	0,098	0,00000	0,00676	0,00158	0,00000	0,03718	0,01627	0,1069	9,7099	0,0534	12,7202	0,3207	4,9387								
20	5	1,000	0,000	0	3,022	0,604	0,143	0,300	3,225	0,645	0,173	0,457	0,00000	0,05603	0,07173	0,00000	0,30827	0,73640	2,0893	-3,2000	1,0446	-0,1897	6,2680	-7,9712								
21	0	0,000	0,000	0	2,891	0,578	0,191	0,458	3,172	0,634	0,198	0,403	-	0,10897	0,09741	-	0,59951	1,00000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
22	1	0,200	0,447	1	4,019	0,804	0,100	0,244	3,487	0,697	0,144	0,359	5,00000	0,01547	0,04267	1,00000	0,08511	0,43803	2,0462	-3,1096	3,5231	-5,4693	5,1388	-7,1086								
23	5	1,000	0,000	0	5,079	1,016	0,062	0,155	5,798	1,160	0,133	0,302	0,00000	0,00373	0,01314	0,00000	0,02049	0,13487	0,3107	5,0761	0,1553	8,0864	0,9322	0,3049								
24	5	1,000	0,000	0	4,172	0,834	0,086	0,187	4,123	0,825	0,045	0,120	0,00000	0,01065	0,00293	0,00000	0,05861	0,03012	0,1774	7,5092	0,0887	10,5195	0,5323	2,7380								
25	5	1,000	0,000	0	4,892	0,978	0,095	0,247	5,041	1,008	0,087	0,242	0,00000	0,00944	0,00753	0,00000	0,05192	0,07729	0,2584	5,8767	0,1292	8,8870	0,7752	1,1055								
26	3	0,600	0,548	1	3,237	0,647	0,138	0,359	2,876	0,575	0,055	0,117	0,83333	0,04536	0,00913	0,16667	0,24954	0,09374	0,8532	0,6893	0,8432	0,7402	2,3930	-3,7894								
27	2	0,400	0,548	1	1,965	0,393	0,157	0,424	2,358	0,472	0,056	0,118	1,87500	0,15956	0,01425	0,37500	0,87784	0,14626	2,4232	-3,8439	2,1491	-3,3225	6,8946	-8,3851								

Tablo 34'den de görüldüğü gibi negatif değerli birçok kombinasyonun uygun kombinasyonlar olmadığı açıkça belidir. Bu durum söz konusu deney kombinasyonu için üretilen ürünlerin çok azının kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

3.4.7.3. En iyi Faktör/Seviye Kombinasyonunun Belirlenmesi

MRSN çok yanıtli problemler için performans istatistiği olarak kullanılmaktadır. Deneyde bu performans ölçüsünün en büyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bulunan değerler yardımıyla faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörün daha önemli ve bu faktörlere ait hangi seviyenin daha iyi olduğu bulunmaktadır. Öncelikle bütün faktörlerin seviye değerleri belirlenir. Daha sonra her kontrol faktörü için MRSN'de en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için en iyi seviye anlamına gelmektedir. Buradan hareketle, eniyi faktör/seviye kombinasyonuna ulaşılmaktadır.

Bu çalışma için deneyde kullanılacak MRSN_j değerlerini belirlemek için ağırlıklar $w_1=1.5$, $w_2=1.0$, $w_3=1.0$ olarak belirlenmiştir. Tablo 35'de bu ağırlıklar kullanılarak belirlenen MRSN_j değerleri görülmektedir.

Tablo 35'deki MRSN_j değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanıp Tablo 36'da verilmiştir. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerine ait değerler sırasıyla A_{S1} , A_{S2} , A_{S3} olsun. Bunlar aşağıdaki gibi elde edilmektedir (aşağıdaki hesaplama için virgülden sonra üç basamak ilerlenmiştir):

$$A_{S1} = (19,134+0+0+12,521+2,017+0+5,621+17,934+2,970)/9 = 6,689$$

$$A_{S2} = (2,128-2,939+6,044+0,227+12,797+5,669+3,844+0)/9 = 3,333$$

$$A_{S3} = (12,720-0,189+0-3,060+8,086+10,519+8,887+2,267-2,004)/9=4,136$$

Tablo 35: $w_1=1.5$, $w_2=1.0$ ve $w_3=1.0$ Ağırlıkları İçin MRSN Değerleri

Deney No	Sütun Numarası					Nüfuziyet Görünümü		Nüfuziyet Değerleri İçin (X Eksen)		Nüfuziyet Değerleri İçin (Y Eksen)		1,5:1:1 İçin	
	A	B	C	D	E	ORT1	SS1	ORT2	SS2	ORT3	SS3	TNQL _j	MRSN _j
1	1	1	1	1	1	1,00	0,00	0,694	0,016	0,470	0,014	0,01221	19,13452
2	1	1	2	2	2	0,00	0,00	0,031	0,009	0,043	0,013	-	-
3	1	1	3	3	3	0,00	0,00	0,451	0,027	0,470	0,034	-	-
4	1	2	1	2	3	1,00	0,00	0,601	0,039	0,547	0,031	0,05596	12,52157
5	1	2	2	3	1	0,40	0,55	1,273	0,052	0,487	0,036	0,62847	2,01716
6	1	2	3	1	2	0,00	0,00	0,177	0,021	0,153	0,026	-	-
7	1	3	1	3	2	1,00	0,00	0,236	0,043	0,267	0,025	0,27405	5,62165
8	1	3	2	1	3	1,00	0,00	0,865	0,038	0,919	0,021	0,01609	17,93430
9	1	3	3	2	1	1,00	0,00	0,465	0,002	0,560	0,124	0,50458	2,97074
10	2	1	1	1	1	1,00	0,00	0,812	0,138	0,806	0,169	0,61256	2,12854
11	2	1	2	2	2	0,60	0,55	0,593	0,253	0,945	0,250	1,96777	-2,93975
12	2	1	3	3	3	1,00	0,00	0,483	0,014	0,625	0,096	0,24862	6,04464
13	2	2	1	2	3	1,00	0,00	0,643	0,101	0,830	0,234	0,94900	0,22736
14	2	2	2	3	1	1,00	0,00	0,585	0,046	1,507	0,065	0,05251	12,79771
15	2	2	3	1	2	0,60	0,55	0,462	0,012	0,717	0,029	0,27102	5,66999
16	2	3	1	3	2	1,00	0,00	1,071	0,003	0,727	0,146	0,41265	3,84419
17	2	3	2	1	3	0,40	0,55	0,479	0,011	0,714	0,041	0,59901	2,22569
18	2	3	3	2	1	0,00	0,00	0,703	0,031	0,461	0,006	-	-
19	3	1	1	1	1	1,00	0,00	1,022	0,084	0,953	0,038	0,05345	12,72024
20	3	1	2	2	2	1,00	0,00	0,604	0,143	0,645	0,173	1,04467	-0,18978
21	3	1	3	3	3	0,00	0,00	0,578	0,191	0,634	0,198	-	-
22	3	2	1	2	3	0,20	0,45	0,804	0,100	0,697	0,144	2,02314	-3,06026
23	3	2	2	3	1	1,00	0,00	1,016	0,062	1,160	0,133	0,15537	8,08642
24	3	2	3	1	2	1,00	0,00	0,834	0,086	0,825	0,045	0,08873	10,51953
25	3	3	1	3	2	1,00	0,00	0,978	0,095	1,008	0,087	0,12921	8,88708
26	3	3	2	1	3	0,60	0,55	0,647	0,138	0,575	0,055	0,59328	2,26739
27	3	3	3	2	1	0,40	0,55	0,393	0,157	0,472	0,056	1,58660	-2,00469

Tablo 36: Faktörlerin MRSN Üzerindeki Ana Etkileri

MRSN'de Ana Etkiler SEVİYELER				
Faktörler	S1	S2	S3	Maks-Min
A	6,689	3,333	4,136	3,356
B	4,100	5,420	4,638	1,320
C	6,892	4,689	2,578	4,314
D	8,067	0,836	5,255	7,231
E	6,428	3,490	4,240	2,938

Bulunan bu değerler içinden en büyük değere sahip olan seviye, en iyi seviye olarak seçilmektedir. Buna göre A faktörü için en iyi seviye 1. seviyedir. Tabloya göre söz konusu ağırlıklar için en iyi faktör/seviye kombinasyonu $A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$ olarak bulunur. Bu durumda optimal kombinasyonda; akım: 220 Amper, kaynak hızı: 0,4mm/s, tel kalınlığı: 0,8mm, zigzag boyu: 3mm, koruyucu gaz türü: %93 Ar , % 2 O_2 , % 5 CO_2 olmuştur. Görüldüğü gibi, tüm faktörlerin 3. seviyelerinden oluşan başlangıç kombinasyonundan ($A_3B_3C_3D_3E_3$) çok farklı bir kombinasyon ortaya çıkmıştır.

Her faktörün seviyelerindeki değişimler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler D, C, A, E, B şeklinde sıralanırlar. En önemli faktör olan D faktörünün seviyesi değiştiğinde yanıtta da önemli bir değişim meydana gelecektir. Örneğin D faktörünün S1'deki ortalama etkisi 8,067 değeri ile en büyük iken, S2'de ortalama etkisi 0,836 değeri ile en küçüktür. İkisi arasındaki fark 7,231 değeri ile faktörler arasında en büyük farka sahiptir. Bu durum tablo 37'de görülmektedir. Faktör seviyelerine göre hesaplanan en büyük ile en küçük değerler, arasındaki farklar sıralandığında, faktörlerin önem dereceleri ortaya çıkmaktadır. D faktörünün önemli olması işlemin köşe kaynakta yapılmasından ve zigzag etkisinin nüfuziyetin eşit dağılmasına sağladığı faydadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 37: Faktörlerin MRSN Üzerindeki Ana Etkileri (Sıralı)

MRSN'de Ana Etkiler SEVİYELER				
Faktörler	S1	S2	S3	Maks-Min
D	8,067	0,836	5,255	7,231
C	6,892	4,689	2,578	4,314
A	6,689	3,333	4,136	3,356
E	6,428	3,490	4,240	2,938
B	4,100	5,420	4,638	1,320

MRSN'de çok önemli etkiye sahip olmayan faktörlerin seviye değerleri arasında da önemli bir fark yoktur. Ya da yanıt değişkenleri üzerinde en az etkiye sahip olan faktör maksimum.-minimum farkı en az olan faktördür. Uygulanan deneyde en az etkiye sahip faktör 1,320 değeri ile B faktörü olarak görülmektedir. Diğer faktörlerle kıyaslandığında etkisi daha azdır.

3.4.7.4. Doğrulama Deneyi

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden beşer adet deney numunesi alınmış ve bunların kalite karakteristiklerine ait analiz değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere ait değerler tablo 38'de verilmektedir. Her iki faktör/seviye kombinasyonuna göre ayrı ayrı elde edilen bu verilerden kalite karakteristiğine ilişkin ortalama, standart sapma, değişim aralığı hesaplanmıştır. Ayrıca daha önce yapıldığı gibi söz konusu kalite karakteristiklerine ait kayıp (L_{ij}), normalleştirilen kayıp (C_{ij}) hesaplandıktan sonra normalleştirilen toplam kalite kaybı (TNQL) ve çok yanıtlı sinyal gürültü (MRSN) oranı bulunmuştur. Bulunan veriler tablo 39 ve tablo 40'da verilmektedir.

Tablo 38: Doğrulama Deneyi Verileri

	Nüfuziyet Görünümü İçin Nicel Değerler				
	1	2	3	4	5
*	0	0	0	0	1
**	1	1	1	1	1
	Nüfuziyet Değeri (X eksen)				
	1	2	3	4	5
*	0,784	0,768	0,632	0,788	0,895
**	0,986	1,003	1,110	0,998	1,005
	Nüfuziyet Değeri (Y eksen)				
	1	2	3	4	5
*	0,814	0,876	0,702	0,814	0,808
**	0,998	1,006	1,104	0,995	1,112

* : Deneyden önceki faktör ve seviye kombinasyonuna ait veriler ($A_3B_3C_3D_3E_3$)

** : Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu ($A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$)

Tablo 39 ve tablo 40'dan da görüleceği gibi iki farklı üretim koşulunda üretilen parçalar arasında ciddi farklılıklar ortaya çıkmıştır.

Tablo 39: Normalleştirilen Kalite Kayıplarına Göre(C_{ij}) Hesaplanan TNQL Ve MRSN Değerleri

	Nicel Veriler için				Nüfuziyet Değerleri için (X Ekseni)				Nüfuziyet Değerleri için (Y Ekseni)				Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (Y Ekseni)	Nüfuziyet Değeri (X Ekseni)	Nüfuziyet Değeri (Y Ekseni)	1,5:1:1 için			
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	C _{1j}	C _{2j}	C _{3j}	TNQL _j	MRSN _j
*	1	0,200	0,447	1	3,867	0,773	0,094	0,263	4,014	0,803	0,063	0,174	5,0000	0,0147	0,0061	1	1,0000	1,0000	3,5000	-5,4407
**	5	1,000	0,000	0	5,102	1,020	0,051	0,124	5,215	1,043	0,060	0,117	0,0000	0,0025	0,0033	0	0,1676	0,5318	0,6994	1,5524

Tablo 40: Kayıplara Göre (L_{ij}) Hesaplanan TNQL Ve MRSN Değerleri

	Nicel Veriler için				Nüfuziyet Değerleri için (X Ekseni)				Nüfuziyet Değerleri için (Y Ekseni)				Nüfuziyet Görünümü	Nüfuziyet Değeri (X Ekseni)	Nüfuziyet Değeri (Y Ekseni)	1,5:1:1 için	
	TOP1	ORT1	SS1	R1	TOP2	ORT2	SS2	R2	TOP3	ORT3	SS3	R3	L _{1j}	L _{2j}	L _{3j}	TNQL _j	MRSN _j
*	1	0,200	0,447	1	3,867	0,773	0,094	0,263	4,014	0,803	0,063	0,174	5,0000	0,0147	0,0061	4,4176	-8,7626
**	5	1,000	0,000	0	5,102	1,020	0,051	0,124	5,215	1,043	0,060	0,117	0,0000	0,0025	0,0033	5,4149	22,4256

* : Deneyden önceki faktör ve seviye kombinasyonuna ait veriler (A₃ B₃ C₃ D₃ E₃)

** : Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu (A₁ B₂ C₁ D₁ E₁)

Tablo 39'daki sonuçlarda da görüldüğü gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme $1,55244 - (-5,44068) = 6,99312$ dB dir. Normalleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre $22,4256 - (-8,7626) = 31,1882$ dB'lik iyileşme sağlanmıştır. Doğrulama deneyinin yapılmasıyla prosesteki iyileştirme açıkça görülmüştür.

Kalite karakteristikleri düzeyinde de iyileşmeler hesaplanarak tablo 41 oluşturulmuştur. Tablo 39'daki verilerde hesaplanmış olan ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak kalite karakteristikleri için SN oranları bulunmuş ve böylece net iyileşme (varyasyon azaltma) ortaya çıkmıştır.

Tablo 41: Doğrulama Deneyi Sonuçları

		Başlangıç Kombinasyonu Değerleri	Eniyi Kombinasyon Değerleri	İyileşme (dB)
Nüfuziyet Görünümü	SN	-6,6897	60	66,6897
	Ortalama	0,2	1	
	Varyans	0,2	0,000001	
Nüfuziyet Değeri (X Eksen)	SN	18,33116	26,08792	7,75676
	Ortalama	0,7734	1,0204	
	Varyans	0,008784	0,002563	
Nüfuziyet Değeri (Y Eksen)	SN	22,12728	24,86952	2,74224
	Ortalama	0,8028	1,043	
	Varyans	0,003949	0,003545	

Deneylerin analiz edilmesinden elde edilen faktör ve seviye kombinasyonuna göre parçaların görünümünde 66,68 dB'lik, parçalara ait verilerin x eksenindeki nüfuziyet değerlerinde 7,75 dB'lik, y ekseninde nüfuziyet değerlerinde 2,74 dB'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

SONUÇ

Kalite, bir malın ya da hizmetin yetkinlik düzeyi olarak tanımlanabilir. Yetkinlik düzeyi ise üretici ya da tüketici açısından bir malda belirli özellik ya da özelliklerin var olması ile belirlenir. Taguchi ve Quelch aynı kavramı “kalite, bir malın çok daha iyisini yapmaktır” şeklinde tanımlamaktadır (Gümüšoğlu, 2000: 1). Bununla birlikte üretilen bir ürün veya hizmetin kalitesinin ne kadar iyi olduğunun belirlenebilmesi, yani kalitenin ölçülebilmesi gerekmektedir. Ancak kalite ölçülmesi sırasında hem nicel hem de nitel kriterlerin ölçümlemeye dahil olması hesaplama zorluğunu arttırmaktadır.

Kalite konusunun kökeni, cisimlerin doğalarına dayanmaktadır. Doğadaki tüm cisimler doğa durumlarının etkisiyle oluştuklarından farklılıklar gösterirler ve farklı özellikler taşırlar. Bu doğal farklılıklar üretimden kaynaklanan girdilerden başlayarak üretim boyunca devam eder ve özellikle çıktılarda kendilerini gösterirler. Öyleyse kalite, kabul edilebilir bir maliyette, değişkenliğin kontrolünü sağlayarak elde edilen mükemmelliğin derecesidir (Gümüšoğlu, 2000: 2).

Üretim ve hizmet işletmeleri açısından yüksek maliyetlerin elimine edilmesinin en önemli yöntemlerinden biri de istatistiksel kalite araçlarının kullanılmasıdır. Taguchi yöntemi de, üründe ve süreçte, varyasyon oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir.

Klasik deney tasarımı uygulamaları çok sayıda deney yapma zorunluluğu nedeniyle endüstride çok kabul görmemektedir. Deney tasarımına dayanan Taguchi yöntemi ise uygulanmasını daha basit ve sonuçlarının anlaşılabilir olması nedeniyle mühendislik problemlerinin çözümünde daha çok tercih edilmektedir. Taguchi'nin deney tasarımı, ürün kalitesinin geliştirilmesinde etkili olmanın yanı sıra daha az deney kullanılarak sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır. Böylece zaman ve maliyetten tasarruf edilmektedir. Ayrıca Taguchi deney tasarımı yöntemi klasik deney tasarımı yöntemine göre iki seviyeden fazla seviyeli faktör içeren ve farklı farklı seviyeli tasarımlarda da kullanılabilmektedir.

Taguchi'nin yönteminin klasik yöntemlerden daha iyi olmasının diğer bir nedeni de deney sırasında gürültü faktörlerinin ele alınmasından dolayı robust tasarımı sağlayabilmesidir. Bunun için kontrol edilen faktörlerin en iyi kombinasyonunu sağlayarak değişkenliğin en aza indirilmesine olanak vermektedir.

Taguchi, ürünün hedef değerindeki her türlü değişkenliğin toplumsal bir kaybı doğurması nedeni ile değişkenliğin azaltılmasına büyük önem vermektedir. Bunun için kalite kayıp fonksiyonunu tanımlamıştır. Bu fonksiyondaki tanımlamada hedef değerden uzaklaştıkça ekonomik ve toplumsal kaybın büyüdüğü ve kaliteyi arttırmak ya da kayıpları azaltmak amacıyla ürün ve süreçteki özelliklerin hedef değerlere yakın tutulması gerektiği gösterilmektedir. Bu fonksiyon hem kalitedeki devamlılığı hem de işletmelerin düşük maliyetle üretim yapma isteklerini karşılar. Müşterinin gereksinimlerine cevap vermeyen üründen kaynaklanan toplumsal kalite kaybı; üretim süreci maliyetleri ve ürün kullanımında karşılaşılan tamir, iş kaybı gibi maliyetleri kapsamaktadır. Bu durumda hedef değere ne kadar yaklaşılsa kalite o kadar iyi ve müşterinin kaybı da o oranda az olmaktadır.

Taguchi yöntemi ürün ve süreç performansını sürekli geliştirebilmek için başlangıç noktasını vermektedir. Performans geliştirmede kullanılan birçok performans karakteristiği bulunmaktadır. Bunların hepsinin geliştirilmesi yerine bazı önemli olanları performansının geliştirilmeye çalışılması zaman ve maliyetten tasarruf sağlayabilmektedir. Ayrıca Taguchi metodu gerçekte en iyi faktör seviye kombinasyonunu vermeyebilir. Ancak deney aşamasında verilen faktör ve seviyelerden hangisinin önemli olduğunun saptanmasına yardımcı olmaktadır.

Taguchi ürün ya da üretim süreci performansını belirlemede üç aşamalı bir tasarım kullanmıştır. Bunlar; sistem, parametre ve tolerans tasarımıdır. Taguchi yönteminin ana kısmını oluşturan parametre tasarımı sürecinde asıl amaç, üründe ve proseste değişkenlik (hedef değerden olan farklılık) meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin optimum seçilerek ürün ve prosesteki değişkenlikleri en aza indirmektir.

Taguchi tekniği geniş kullanım alanı nedeniyle kabul görmesine rağmen; modelin sahip olduğu bazı dezavantajlar nedeniyle birçok eleştiri ile karşı karşıya kalmıştır. Metodun dezavantajlarından biri; deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle

ilgili olarak bilgi verememesi ve seçilen seviyelerden farklı bir seviyede daha optimum bir sonuca varılacak dahi olsa bu seviyeleri önerememesidir. Ayrıca faktörler arasında bazı mümkün etkileşimlerin olabileceğinin tahmin edilmek istenmesi, serbestlik derecesini büyütür. Bu durum da bazı önemli etkilerin tahminini etkilemektedir. Parametre tasarımında, faktör ve seviye sayısının artması ortogonal dizilerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu yöntem teknik yönden bazı eleştirilere maruz kalmasına rağmen, bilim çevrelerinde olduğu kadar, endüstriyel uygulayıcılar için de kalite geliştirme ve maliyetleri azaltma konusunda önemli gelişmeler sağlamıştır.

Çalışmada Taguchi deneysel tasarım metodu tanıtılmış ve çalışmanın uygulama ayağı Yarış Kabin A. Ş.'de yapılmıştır. Üretimde karşılaşılan problem 3mm kalınlığında ERDEMİR 3237 tipi sıcak haddelenmiş alaşımsız yapı çeliği kullanılarak yapılan köşe kaynakta yaşanan nüfuziyet sorunu olarak belirlenmiştir. Bu sorunun giderilmesinin yanında, hem nüfuziyet değerlerinin belirlenen aralık ve hedef değer ya da hedef değer yakınlarında sağlanması hem de nüfuziyetin görüntüsünün en iyilenmesi amaçlanmaktadır.

Öncelikle belirlenen ürün üzerinde etkili olan en önemli beş faktör kontrol faktörü olarak seçilmiştir. Bu faktörler için üç ayrı deney seviyesi tespit edilmiştir. Daha sonra faktör ve bunlar arası etkileşimler dikkate alınarak serbestlik derecesi ve serbestlik derecesine dayanarak da ortogonal dizi seçilmiştir. $L_{27}(3^5)$ ortogonal dizisi kullanılmış ve deneyler buna göre yapılmıştır. Her deney kombinasyonu için toplam beşer deney yapılarak $135=(27*5)$ veri elde edilmiştir. Bütün bu verilere dayanarak firmada uzman kişilerle belirlenen kalite karakteristiklerine ait 1.5, 1 ve 1 ağırlıkları kullanılarak en iyi faktör ve seviye kombinasyonu ($A_1 B_2 C_1 D_1 E_1$) olarak oluşturulmuştur. Buna göre eniyi kombinasyonun seviye ve faktörleri aşağıdaki gibidir.

A: Akım(Amper)	220
B: Kaynak Hızı(mm/sn)	0,4
C: Tel Kalınlığı (mm)	0,8
D: Zigzag Boyu (mm)	3
E: Gaz Karışımı	%93 Ar , % 2 O ₂ , % 5 CO ₂

Deney sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonuna göre bir doğrulama deneyi yapıp fabrikada mevcut durumda kullanılan faktör ve seviye değerleri ile deney sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Taguchi yönteminin en önemli avantajlarından birinin deney sayısının azaltılması olduğundan daha önce bahsedilmişti. Çalışmada da bunun sonucu görülmektedir. Beş faktör ve üç seviyesi olan bir tam faktöriyel deney tasarımı $243 = 3^5$ deney yapılması gerekirken ortogonal dizilerin kullanılmasıyla toplam 27 deneyde sonuca ulaşılmıştır. Bunun için L_{27} ortogonal dizini kullanılmıştır.
- ✓ Taguchi yönteminin diğer bir avantajı zaman ve maliyet tasarrufu sağlamasıydı. Deney sayısının azaltılması yoluyla en iyi kombinasyonlara ulaşmada harcanacak zaman ve hurdaya ayrılan ya da tamir bakım için müşteriden geri dönen ürünlerin oluşturduğu maliyet kaybı azalmış olmaktadır.
- ✓ Kaynak nüfuziyetinin görünümünü iyileştirmek ve parçayı sağlamlaştırmak için robotik kaynak makinasından çıkan parçalar manuel kaynak makinasında tekrar kaynak yapılmaktaydı. Yöntem yardımıyla tekrar kaynak yapma gereksinimi ortadan kalkmış böylece, hem zaman hem de enerji ve işgücü kaybı önlenmiş olmaktadır.
- ✓ Robotik gazaltı kaynak makinasından çıkan parçalar beğenilmediği takdirde, kullanıcı tarafından kendi deneyimlerine dayanarak makine ayarları değiştirilerek problem çözülmeye çalışılmaktaydı. Çalışma sonucunda elde edilen faktör ve seviye kombinasyonu ile makine ayarlarının değiştirilmesine gerek kalmamaktadır.
- ✓ Deneyler sonucunda 3mm kalınlığında ERDEMİR 3237 tipi çeliğe kaynak yapılması işleminde nüfuziyet sorunu yaşanmaması için deneyde yer alan faktörlerin önemi sırasıyla (D, C, A, E, B) zigzag boyu, tel kalınlığı, akım şiddeti, gaz karışımı ve kaynak hızı şeklinde olmuştur.

Yapılan kaynak işleminin köşe kaynak olması ve parçaların kabinde kaza durumunda en fazla darbe alacak yerde kullanılacak olması (yapısal kaynak bölgeleri) nedeniyle nüfuziyetin önemi de artmaktadır. Zigzag boyu da nüfuziyetin eşit dağılımını sağlaması nedeniyle en önemli boyut olarak görülmesi anlamlıdır. Böylece tek taraflı nüfuziyet önlenmiş olacaktır.

- ✓ Deneyler sonucundan çıkan değerler içinde anlamlı olan bir tanesi de gaz karışımıdır. Gaz karışımı seviyelerinin içinde, içerisinde oksijen bulunan karışım sadece %93 Ar , % 2 O₂ , % 5 CO₂ şeklindeydi. Diğer karışımlar Ar ve CO₂'nin kombinasyonlarından oluşmaktaydı. Daha önce verilen bilgiler dikkate alındığında kaynakta O₂ kullanılmadığında kırılma artmaktadır. Bu nedenle en iyi kombinasyonda O₂'nin bulunması önemlidir. Ayrıca % 2 O₂ , % 5 CO₂ oranı da idealdir. Çünkü kaynak içerisinde gözeneklerin oluşmaması için O₂ oranının daha az, CO₂ oranının daha yüksek olması gerekmektedir.
- ✓ Doğrulama deneyinden elde edilen parçaların görünümünde 66,68 dBlik, parçalara ait verilerin x eksenindeki nüfuziyet değerlerinde 7,75 dB'lik, y ekseninde nüfuziyet değerlerinde 2,74 dB'lik bir iyileşme sağlanmıştır.
- ✓ Çok yanıtı sinyel gürültü (MRSN) sonuçlarında da anlaşıldığı gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme 6,99312 dB dir. Normalleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre 31,1882 dB'lik iyileşme sağlanmıştır. Doğrulama deneyinin yapılmasıyla prodesteki iyileştirme açıkça görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda somut olarak ortaya konulduğu gibi nüfuziyetin görünümü ve değerleri kaynak işleminde önemli etkiye sahiptir. Yapılan deneylerden sonra ortaya çıkan faktör ve seviye kombinasyonunun kullanılması üretim sırasında maliyet, zaman ve kalite avantajları getirmektedir. Yapılan çalışma ile bu avantaj sayısal olarak da ortaya konabilmiştir. Önemli bir nokta olarak tespitler endüstriyel şartlar altında yapılan deneylerle elde edilmiştir. Böylece pratik olarak uygulanabilirlikleri de onaylanmış olmaktadır.

Çalışmanın önemli sonuçlarından biri de yukarıda bahsedilen sonuçlar elde edilirken modern deney tasarımı yöntemlerinin kullanılması ile sonuçların daha hızlı, verimli ve güvenilir elde edilebildiğinin gösterilmiş olmasıdır. Dolayısıyla hem deney şartlarının hem de kullanılan metotların endüstriyel kullanılabilirliği çok yüksek olmaktadır. Bir işletme için önemli olan verimlilik, kalite, ekonomiklik, hız gibi tüm faktörler çalışma sırasında dikkate alınmış ve bu şartlar altında optimizasyon sonuçları elde edilmiştir.

Bu özellikleri nedeniyle deney tasarımı yöntemlerinin kullanıldığı araştırmaların sayısında sürekli bir artış gözlenmektedir. Bu da deney tasarımı kullanılmasının gerekliliğini göstermektedir.

Kaynak prosesi açısından bakıldığında kaynak parametrelerinin nüfuziyete olan etkisi hala pek çok araştırmaya konu olabilir. Ayrıca kaynak yapılan metal değiştirilerek ölçümler gerçekleştirilebilir. Özellikle kabin üretiminde kullanılan diğer maddelerden biri olan 5mm kalınlığındaki çelik plakaların kaynak nüfuziyetinin optimizasyonu çalışmalara konu olabilir. Ayrıca değişik faktörlerin ve bunların etkileşimlerinin ayrıntılı olarak inceleyen ve elle kaynak prosesini bir bütün olarak ele alan çalışmaların yapılması mümkündür. Ayrıca nüfuziyet farklı noktalardan yapılan ölçümlerle tekrar değerlendirilebilir.

Bu tür çalışmalar için en önemli nokta, tüm faktörlerin birlikte gözetilmesinin ve sayıca çok olan tüm etkileşimlerinin incelenmesi ancak deney tasarımı metotlarının kullanılması ile hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceğidir. Bunun için modern deney tasarımı yöntemlerinin daha karmaşık sistemler için kullanımının araştırılması gerekmektedir.

Çalışma sırasında kullanılan faktörler ve nüfuziyet üzerine etkilerine ek olarak incelenmesi gerekli görülen bir başka önemli kriter de maliyet üzerine etkilerinin değerlendirilmesidir. Böylece ekonomik verimlilik göz önüne alınarak hem bu faktör seviyelerinin kullanımının getirdiği maliyet avantajları hem de deney tasarımı kullanılmasının sağladığı zaman ve maliyet avantajları ortaya konmuş olacaktır.

Sonuç olarak Taguchi deney tasarımı yöntemlerinin kullanılması hem bu çalışmadaki gaz altı kaynak süreci için hem de endüstrideki diğer uygulamalar için önemli iyileştirmeler ve avantajlar sağlamaktadır. Bu durum dikkate alınarak bu yöntem, diğer işletmeler tarafından da kalite iyileştirme çalışmalarında veya kalite problemlerinin çözümünde kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Açar, Ö. (2001). *Production Of A Sample Automotive Part By Integration Of Rapid Prototyping And a Presicion Casting Process*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Adsan, K. (1977). *Elektrik Kaynağı*. Ankara : Emel Matbaacılık.
- Akyalçin, I. ve Kaytakoğlu, S. (2005). Sitrat Prosesiyle SO₂ Gideriminde Optimum Şartların Belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 57-66.
- Althouse, A D. (2004). *Modern Welding*. 10th edition South Holland, IL: Goodheart-Willcox.
- Altınbilek, Y. (2001). *Şanzıman Giriş Mili İmalatındaki Proses Parametrelerine Taguchi Metodunun Uygulanması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Anawa, E.M. ve Olabi, A.G. (2008). Using Taguchi Method To Optimize Welding Pool of Dissimilar Laser-Welded Components. *Optics & Laser Technology*. 40(2):379 – 388.
- Anık, S. (1972). *Kaynak Tekniği Cilt 2 Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak*. İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası.
- Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı: Yöntemler ve Donanımlar*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Anık, S. ve Vural, M. (1998). *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG)*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Anthony, J. (2001).Teaching the Taguchi Method to Industrial Engineers, *Work Study*, 50(4): 141-149.

- Anthony, J., Kaye, M., ve Frangou, A. (1998). A Strategic Methodology to The Use of Advanced Statistical Quality Improvement Techniques, *The TQM Magazine*, 10(3): 169 – 176.
- Ataş, B. (2001). *Sürekli İyileştirmede Altı Sigma Yaklaşımı*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Osman Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, M.E. (1994). Taguchi Deneysel Tasarım Metodu Ve Segman Sanayinde Bir Uygulama. *Standard*. 104.
- Barker, T.B. (1986). *Quality Engineering by Design: Taguchi's Philosophy*. Quality Progress, Dec.,pp: 32-42.
- Barker, T.B. (1990). *Engineering Quality by Design-Interpreting the Taguchi Approach (Statistics, a Series of Textbooks and Monographs)*.Marcel Dekker.
- Baynal, K. (2003). *Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Bayrak, Z. (1996). *Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolüne Uygulanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bek, Y. ve Efe, E. (1995). *Araştırma Ve Deneme Metodları*. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı.
- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H. ve Besterfield, M. (1999). *Total Quality Management*, 2nd ed. Prentice Hall Inc: New Jersey.
- Bhote, A.K. ve Bhote, K.R. (2000). *World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen*. 2nd ed. New York: AMACOM/American Management Association.

- Bilişik, M.T. ve Gençyılmaz, G. (2006). Hizmet Kalitesinin İyileştirilmesinde Deneysel Tasarım Metodu, İstanbul Kültür Üniversitesi, VI. *Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*.
- Boral, S. ve Baynal, K. (2004). Taguchi Tekniği Tabanlı Çok Ölçütlü Yöntem İle Üretim Parametrelerinin Eniyilenmesi. *YA/EM Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği -XXIV Ulusal Kongresi*. Gaziantep – Adana, 2004 (231 – 234).
- Box, G. E. P., Hunter, W. G. ve Hunter, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*, New York: Wiley Interscience
- Box, G. E. P. (1999). Statistics as a Catalyst to Learning by Scientific Method Part II-A Discussion, *Journal of Quality Technology*, 31(1): 16-29.
- Box, G.E. P. ve Wilson, K.G. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions, *Journal of the Royal Statistical Society*, 1(B)3: 1-45.
- Burnak, N. (1997). *Toplam Kalite Yönetimi-İstatistiksel Süreç Kontrolü*, Osman Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Yayınları.
- Byrne, D. M. ve Taguchi S. (1987). The Taguchi Approach to Parameter Design, *Quality Progress*, Dec., pp. 19-26.
- Canıyılmaz, E. ve Kutay, F. (2003). Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3): 51 – 63.
- Casalino, G., Curcio, F. ve Minutolo, F. M. C. (2005). Investigation on Ti6Al4V laser welding using statistical and Taguchi approaches, *Journal of Materials Processing Technology*, 167(2-3):422-428.

- Çelik. C. (1993). *Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistemik Bir Yaklaşım*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen C. H. (1999). Specification Limit Under a Quality Loss Function, *Journal of Applied Statistics*, 26(8): 903 – 908.
- Cho, Y.G. ve Cho, K.T. (2006). A loss function approach to group preference aggregation in AHP, *Computers & Operation Research*, 106, 454-461.
- Çömlekçi, N. (2003). *Deney Tasarımı İlke Ve Teknikleri*. İstanbul: Alfa yayınları.
- Çömlekçi, N. (1988). *Deney Tasarımı ve Çözümlemesi*. Eskişehir:Anadolu Üniversitesi Yayınları Eğitim, Sağlık ve Bilimsel Araştırma Çalışmaları Vakfı Yayınları No:58:312s.
- Crisp, S. (1998). *Optimization Of The Strength Of Diesel Injection*. Michigan: Amerikan Supplier Institute Inc.
- Datta, S., Bandyopadhyay, A. ve Kumar Pal, P. (2008). Application of Taguchi Philosophy For Parametric Optimization of Bead Geometry And HAZ Width in Submerged Arc Welding Using A Mixture of Fresh Flux And Fused Flux, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(7-8): 689 – 698.
- Dervişoğlu, N., ve Muluk. Z. (2006). Taguchi Tasarımının Uygulanması Ve Klasik Kesirli Çok Etkili Tasarımla Karşılaştırılması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*: 76 – 98.
- Di Mascio, R., ve Barton,G.W. (2001). The Economic Assesment of Process Control Qulity Using a Taguchi Based Method, *Journal Of Process Control*, 11: 81- 88.
- Doğan, Ü. (1991). *Kalite Yönetimi Ve Kontrolü*, İstiklal Matbaası. İzmir.

- Dowey, S.J. ve Matthews, A. (1998). Taguchi and TQM Quality Issues for Surface Engineered Applications, Research Centre in Surface Engineering, University of Hull, *Surface and Coatings Technology*. 110(1-2): 86-93.
- Durmaz, S. (2008). *Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi.Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durmuşoğlu, Ş. (2006). Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Kavuncu, O., ve Gürbüz, F. (1987). *Araştırma Ve Deneme Metodları (İstatistik Metotları-II)*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Eryürek, İ. B. (2003). *Gazaltı Ark Kaynağı*. İstanbul: Kaynak Tekniği Sanayi ve Tic. A.Ş.
- Eryürek, İ. B. (2008). Kaynak Teknolojisi. *Gazaltı Ark Kaynağı*. (ss.53-120). İstanbul: As Kaynak Yayını.
- Eşme, U. (2009). Application Of Taguchi Method For The Optimization Of Resistance Spot Welding Process, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(2B):519 – 528.
- Evans, J.R., William, M.L. (1989). The Management and Control of Quality.USA: West. Pub. Co. USA.
- Feigenbaum, A.V. (1961). *Total Quality Control*, New York: McGraw-Hill Inc.
- Feng, C.-X., Wang. J. ve Wang, J.-S. (2001). An Optimisation Model For Concurrent Selection of Tolerances and Suppliers. *Computers and Industrial Engineering*, 40(1): 15-33.

- Fiğlalı, A. ve Engin O. (2002). Akış Tipi Çizelge Problemlerinin Genetik Algoritma İle Çözüm Performansının Arttırılmasında Deney Tasarımı Uygulaması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*: 23.
- Fowlkes, W. Y. ve Creveling, C. M. (1995). *Engineering Methods for Robust Product Design, Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*. Addison - Wesley Publishing Company, ISBN 0 – 201 – 63367 – 1.
- Gencel, İ. (2007). Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- German, R. M. (1996). *Sintering Theory And Practice*. New York: John Wiley&Sons
- Ghani, J.A. ve Choudhury, I.A. (2004). Application of Taguchi Method in The Optimization of End Milling Parameters. *Journal of Metarials Processing Technology*. 145(1): 84-92.
- Gültekin, N. (1983). *Kaynak Tekniği*, YTÜ Yayını, Sayı: 184, İstanbul.
- Gümüšoğlu, Ş. (2000). *Ististiksel Kalite Kontrol Ve Toplam Kalite Yönetimi Araçları* .2.Bası. İstanbul: Beta Basım A.Ş.
- Güner, M. (2007). *Mag Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel-Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamzaçebi, Ç. ve Kutay, F. (2003). Taguchi Metodu: Bir Uygulama. *Teknoloji* .6(3-4): 7- 17.

- Heizer, J. ve Render, B. (1996). *Production and Operations Management: Strategic and Tactical Decisions*. Forth edition. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hsiao, Y. F., Tarng, Y. S. ve Huang, W. J. (2008). Optimization of Plasma Arc Welding Parameters by Using the Taguchi Method with the Grey Relational Analysis. *Materials and Manufacturing Processes*. 23(1): 51 – 58.
- Huang, M.-C.ve Tai, C.-C. (2001). The Effective Factors in the Warpage Problem of an Injection-Molded Part With a Thin Shell Feature. *Journal of Materials Processing Technology*, 110 (1) :1-9: 3.
- Ishikawa, K. (1998). *Toplam Kalite Kontrol*, İstanbul: KalDer Yayınları.
- Jarayam, S.R. ve Ibrahim, Y.(1997) . Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model, *Int.Journal of Quality Science*. 2(3):199-205.
- Juang, S. C. ve Tarng, Y. S. (2002). Process Parameter Selection for Optimizing the Weld Pool Geometry in The Tungsten Inert Gas Welding of Stainless Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 122(1): 33-37.
- Kackar, R.N. ve Shoemaker, A.S. (1986). Robust Design:A Cost-Effective Method for improving Manucafturing Processes. *AT&T Technical Jornual*, 65, 39 -50.
- Kackar, R.N. (1985). Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method. *Journal of Quality Technology*. 17(4): 176-188.
- Kackar, R.N. (1986). Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary. *Quality Progress*. 19(12): 21-29.
- Kağnicioğlu, C. H. (1998). *Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Kahraman., Koç. (2004). Uçaklarda Kullanılan Kritik Ünitelerin Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Optimizasyonu, *YA/EM Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi*, Adana.
- Kaluç, E. (2004). *Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri*. TMMO yayın no: MMO/2004/356: Kocaeli.
- Kaluç, E. (1999.) Metallerin Kaynak Kabiliyeti Yüksek Lisans Ders Notları. Kocaeli: *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Karakoç, Ö. (2006). *Deneylerin Faktöriyel Tasarımı*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kasap, Ş. (2006). *F-4 Uçaklarında Yakıt Tüketimini etkileyen Faktörlerin 2^k Deneyleri ve Taguchi Yöntemiyle Belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi: Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kavrakoğlu, İ. (1994). *Toplam Kalite Yönetimi*, İstanbul: Kalder Yayınları, No.2, 2. Basım.
- Keleş, Ö. (1996). *Matkap Uçlarının ark ve PVD ile TiN Kaplanmasıda Proses Parametrelerinin Taguchi Metodları ile Optimizasyonu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koç, S. (2003). *Kritik Ünitelerin Performansını Etkileyen Faktörlerin Deneysel Tasarım Yöntemi İle Optimizasyon*. Yüksek Lisans Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocabağ, D. (1995). Toplam Kalite Yönetimi, 5. *Ergonomi Kongresi, Ergonomi ve Toplam Kalite Yönetimi*. Ankara: MPM Yayınları.

- Kolarik, W.J. (1995). *Creating Quality, Concepts, Systems, Strategies and Tools*. Industrial Engineering Series. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Kovancı, A. (2001). *Toplam Kalite Yönetimi*, Sistem Yayıncılık: İstanbul.
- Kros, J. F. ve Mastrangelo, C. M. (2004). Comparing multi-response design methods with mixed responses. *Quality and Reliability Engineering International*. 20(5): 527–539.
- Lee, C. B. ve Tang, G.R. (2000). Tolerance Design For Products With Correlated Characteristics. *Mechanism and Machine Theory*. 35: 1675-1687.
- Lee, H. K., Han , H.S., Son K.J. ve Hong, S.B. (2006). Optimization of Nd:Yag Laser Welding Parameters for Sealing Small Titanium Tube Ends. *Materials Science and Engineering*, 415(1-2):149 – 155.
- Lin, H.L., Chou, T. ve Chou, C.P. (2007). Optimization Of Resistance Spot Welding Process Using Taguchi Method and a Neural Network, *Experimental Techniques*. 31(5): 30 – 36.
- Lin, H.L. ve Chou, C.P. (2006). Optimisation of The GTA Welding Process Using The Taguchi Method and a Neural Network , *Science and Technology of Welding & Joining*,11(1):120 – 128.
- Lin, P.K, Sullivan, L.P. ve Taguchi, G. (1990). Using Taguchi Methods in Quality Engineering, *Quality Proses*, September, pp: 55-59.
- Lin, T.Y. ve Tseng, C.H. (2000). Optimum Design for Artificial Neural Networks: An Example in a Bicycle Derailleur System. *Engineering Application of Artificial Intelligence*.13:(3-14).
- Lincoln Electric, (1995). The Procedure Handbook Of Arc Welding, Thirteen Edition, <<http://content.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/c4200.pdf>> erişim tarihi: 25.05.2010.

- Logothesis, N., (1992). *Managing For Total Quality, From Deming to Taguchi and SPC*. New York: Prentice-Hall.
- Loncher, R.H. ve Matar, J.E. (1990). *Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design*, First edition, USA: Chapman and Hall.
- Lunani, M., Nair, V.N. ve Wasserman, G.S. (1997). Graphical Methods for Robust Design With Dynamic Characteristics, *Journal of Quality Technology*, Vol.29(3): 327-338.
- Madu, I.E. ve Madu, C.S. (1999). Design optimization using signal- to -noise ratio. *Simulation Practice and Theory*. 7(4): 349 – 372.
- Maghsoodloo, S. (1991). The Exact Relation of Taguchi's Signal-to-Noise Ratio to His Quality Loss Function, *Journal of Quality Technology*, 22 (1), 57-67.
- Mccarte, J. (1989). *Cruise Control Vacuum Valve Improvement Study*. Michigan: Amerikan Supplier Institute Inc.
- Miller, A. ve Wu, C.F.J. (1996). Parameter Design for Signal-Response Systems: A Different Look at Taguchi's Dynamic Parameter Design. *Statistical Science*. 11(2): 122-136.
- Miyauchi, I. (1999). *Japonya'da Kalite Yönetimi*, (Çev.Salim Ataş), İstanbul: MESS Yayınları.
- Moen, R.D., Nolan T.W., ve Provost L.P. (1991). *Improving Quality Through Planned Experimentation*, New York:McGraw-Hill.
- Montgomery, D C. (2004). *Design and Analysis of Experiments*, 6 th Edition.; Wiley-Interscience, New York, USA.

- Montgomery, D. C. (1992). The Use of Statistical Process Control and Design of Experiments in Product and Process Improvement, *IIE Transactions*. 24(5):4-17.
- Montgomery, D. C., (1991). *Introduction to Statistical Quality Control*. 2nd. Ed. John Wiley&Sons Inc. New York.
- Mulluk, F.Z., Toktamış, Ö., Kurt, S., ve Karaağaoğlu, E. (1985). *Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler*. Ankara: Akademi Matbaası.
- Neter, J.Y., Wassermann, W. ve Whitmore, G.A. (1999). Applied Statistics, Allyn and Bacon, ISBN 0-205-10328-6.
- Nian, C.Y., Yang, W.H., ve Tarng, Y.S. (1999). Optimisation of Turning Operations With Multiple Performance Characteristics. *Journal of Materials Processing Technology*, 95(1): 90-96.
- Nippes, E. F. (1983). Metals Handbook Ninth Edition Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering. (Metals Handbook) ASM International.
- Okudan, E.G. (1995). *Deneysel Tasarımın Taguchi Yöntemleri İle Karşılaştırılması Ve Uygulamalar*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Olabi, A.G., Casalino, G., Benyounis, K.Y. ve Hashmi, M.S.J. (2006). An ANN and Taguchi Algorithms Integrated Approach to the Optimization Of CO₂ Laser Welding. *Advances in Engineering Software*, 37(10): 643 – 648.
- Ören, E. (2002). *MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özdamar, K. (1997). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.

- Özler, C. (1997). Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacıyla Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Palani, P.K. ve Murugan N. (2006). Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 172(1): 1-10.
- Pan, L. K., Wang C. C., Wei, S. L. ve Sher, H. F. (2007). Optimizing Multiple Quality Characteristics via Taguchi Method-Based Grey Analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 182(1-3): 107 – 116.
- Pan, L. K. , Wang, C. C., Hsiao, Y. C. ve Ho, K. C. (2005). Optimization of Nd:YAG Laser Welding Onto Magnesium Alloy via Taguchi Analysis, *Optics & Laser Technology*, 37(1): 33 – 42.
- Pan, L. K., Chang, B. D. ve Chou, D. S.(2001). Optimization For Solidification of Low-Level-Radioactive Resin Using Taguchi Analysis, *Waste Management*, 21(8):767 – 772.
- Park, S. ve Vining, G. (2000). *Statistical Proses Monitoring and Optimization*. New York: Marcel Dekker, pp: 489.
- Park, S.(1996). *Robust Design and Analysis for Qulity Engineering*. Palanito by Thompson Press: New Delphi.
- Peace, G.S., (1993). *Taguchi Methods: A Hands-on Approach*. London: Addison-Wesley.
- Peace, G.S. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Peker, Ö. (1993). *Toplam Kalite Yönetimi ve TS-ISO 9000 Standartları*. Verimlilik Dergisi Özel Sayı. Ankara: MPM Yayınları.

- Peşkircioğlu. N. (1990). Toplam Kalite Güvenirliliği Programlarının Entegre bir Parçası Olarak Taguchi Yöntemi. *Verimlilik Dergisi*. 1990/4, Ankara, s. 66-91.
- Phadke, M. S., (1989). *Quality Engineering Using Design of Experiments, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method*. California: Wadsworth & Brooks / Cole.
- Pignatiolle, J.J. ve Burman, J.S. (1985). Discussion on Off-Line Quality Control, Parameter Desing, the Taguchi Method by R.N. Kacker, *Journal of Quality Technology*. 17, 198-206.
- Reddy, P.B.S., Nishina,K. ve Babu, A.S, (1998). Taguchi's Methodology for Multi- Response Optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry. *Int.Journal of Quality & Reliability Management*. 15(6): 646-668.
- Ross, P.J. (1989). *Taguchi Techniques For Quality Engineering*, New York: McGraw-Hill.
- Ross, P.J. (1995). *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*, 2nd Ed. New York: McGraw Hill.
- Ross, W. ve Sykes, S. (1989). *Optimization Of A Hot-Stamping Process*. Michigan: Ameriken Supplier Institute Inc.
- Roy, R.K. (1990). *A Primer on the Taguchi Method*. Van Nostrand Reinhold, NewYork.
- Ryan, T.P. (1988). Taguchi's Approach to Experimental Design for Process optimization, *The TQM Magazine*. 12(2): 78-83.
- Saat, M. (2000). Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 2(3): 97- 108.

- Şahin, E. (2008). *Robotik Gazaltı Kaynak Parametrelerinden Akım, Gerilim Ve Kaynak İlerleme Hızının Taguchi Yöntemiyle Optimizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şanyılmaz, M.(2006). *Deney Tasarımı Ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaşkan, M.(2003).*Deney Tasarımı Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Kullanımı İle İnce Sert Seramik Kaplı Matkap Uçlarının Performans Değerlendirilmesi Ve Optimizasyonu*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Savaşkan, M., Taptik, Y. ve Ürgen, M. (2004). Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu .*İTÜ Dergisi*d. 3(6): 117-128.
- Schonberger, R.J. ve Knod, Jr. E. M. (1991). *Operations Management*, 4th ed. Boston: Irwin.
- Şen, C. ve Çelik, C. (1999). Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı Ve Bir Uygulama. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 10(2), 1 – 8.
- Şirvancı. M. (1997). *Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı*. İstanbul: Literatür Yayınları.
- Snee, R.D., (1993), *Creating Robust Work Processes*, Quality Progress, Feb. pp. 37-41.
- Soylak, M. (2000). *Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım Ve Taguchi Yöntemi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Taguchi, G. , (1987). *System of Experimental Design* (2 volumes), UNIPUB/Kraus Int. Pub., New York.
- Taguchi, G. ve Wu, Y. (1989). *Taguchi Methods Case Studies From The Us And Europe*. Michigan : Ameriken Supplier Institute Inc.
- Taguchi, G. (1997). Quality Engineering (Taguchi Methods) For the Development Of Electronic Circuit Technology. *IEEE Transactions on Reliability* (IEEE Reliability Society) 44 (2): 225–229.
- Taguchi, G., Chowdhury, S., ve Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. New Jersey: John Willey & sons inc. USA.
- Taguchi, G., Elsayed, ve T.Hsiang, (1988). *Quality Engineering in Production Systems*, New York: McGraw-Hill.
- Taguchi, G., Konishi, S. ve Wu, Y. (1991). *Taguchi Methods: Signal-To-Noise Ratio For Quality Evaluation, Quality Engineering Series*, Dearborn, Michigan: ASI Press.
- Taguchi, G. ve Clausing, D. (1990).Robust Quality. *Harward Business Review*: 65-76.
- Taptık, Y. ve Keleş, Ö. (1998). *Kalite Savaşı Araçları*, İstanbul: Kalder Kalite Yayınları. No:23.
- Tarng, Y. S., Juang, S. C. ve Chang, C. H. (2002). The Use of Grey-Based Taguchi Methods to Determine Submerged Arc Welding Process Parameters in Hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology*.: 128(1-3): 1-6.
- Tarng, Y. S. ve Yang, W. H. (1998). Application of the Taguchi Method to The Optimization of the Submerged Arc Welding Process, *Materials and Manufacturing Processes(USA)*, 13(3): 455 – 467.

- Thornton, A.C., Donnelly, S. ve Ertan, B. (2000). More than Just Robust Design: Why Product Development Organizations Still Contend with Variation and its Impact on Quality, *Research in Engineering Design*.12: (127-143).
- Tong, L.I., Su, C.T., Wang, C.H. (1997). The optimization of multi response problems in the taguchi methods, *Int. Journal of Quality&Reliability Management*, .14(4):367-380.
- Tülbentçi, K. (1990). *MIG – MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı*. İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Tülbentçi, K. (1998). *MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi*, İstanbul: Arctech Kaynak Elektrodları ve Telleri A.Ş Yayın No: 2.
- Türkkan, G.(2008). *Koruyucu Gaz Kaynağında (mıg/mag) Gaz Debisinin Kaynak Nfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi*. Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wallacher, J. (1994). Einsatz von Methoden Der Statistischen Versuchsplanung Zur Bestimmung von Robusten Faktorkombinationen in Der Pravebtiven“Qualitatssicherung, VDI Verlag, Düsseldorf.
- White, G. M. (1989). *Process Optimization And Gold Usage Reduction Utilizing Taguchi Methods*. Michigan: Amerikan Supplier Institute.
- Xue, Y., Kim, I.S. , Son, J.S., Park, C.E., Kim, H.H., Sung, B.S., Kim, I.J., Kim, H.J. ve Kang, B.Y. (2005). Fuzzy regression method for prediction and control the bead width in the robotic arc-welding process, *Journal Of Materials Processing Technology*, 164-165:1134 – 1139.
- Yang, W.H. ve Tarng, Y.S., (1998). Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Based On The taguchi Method, *Journal of Metarials Processing Technology*, 12(3):323-327

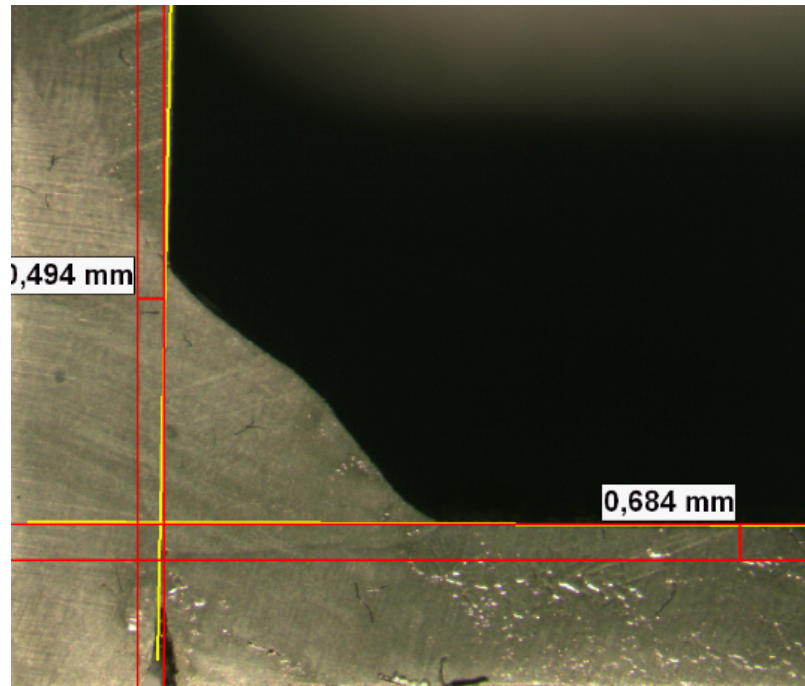
- Zairi, M., (1993). Total Quality Management, *Gulf Publishing Company*.

EKLER

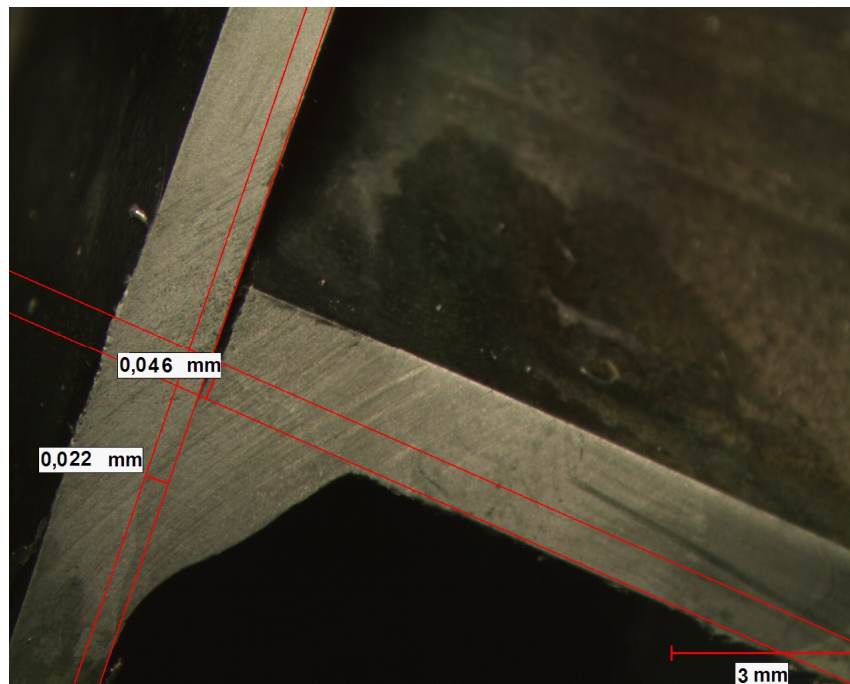
EK-1

DENEY FOTOĞRAFLARI

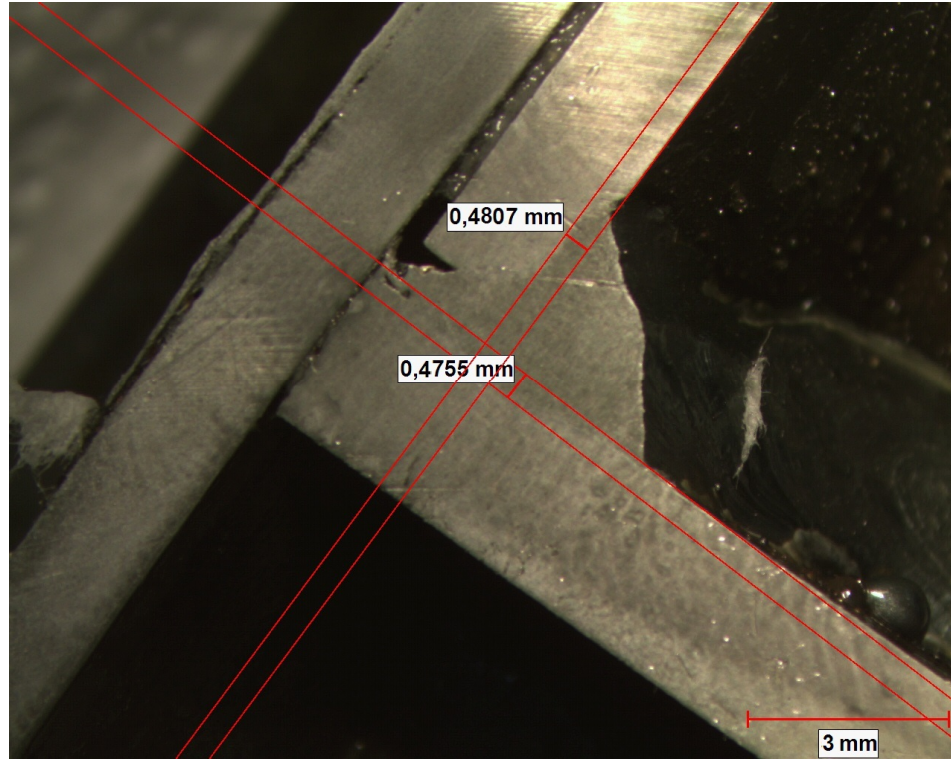
1. Deney



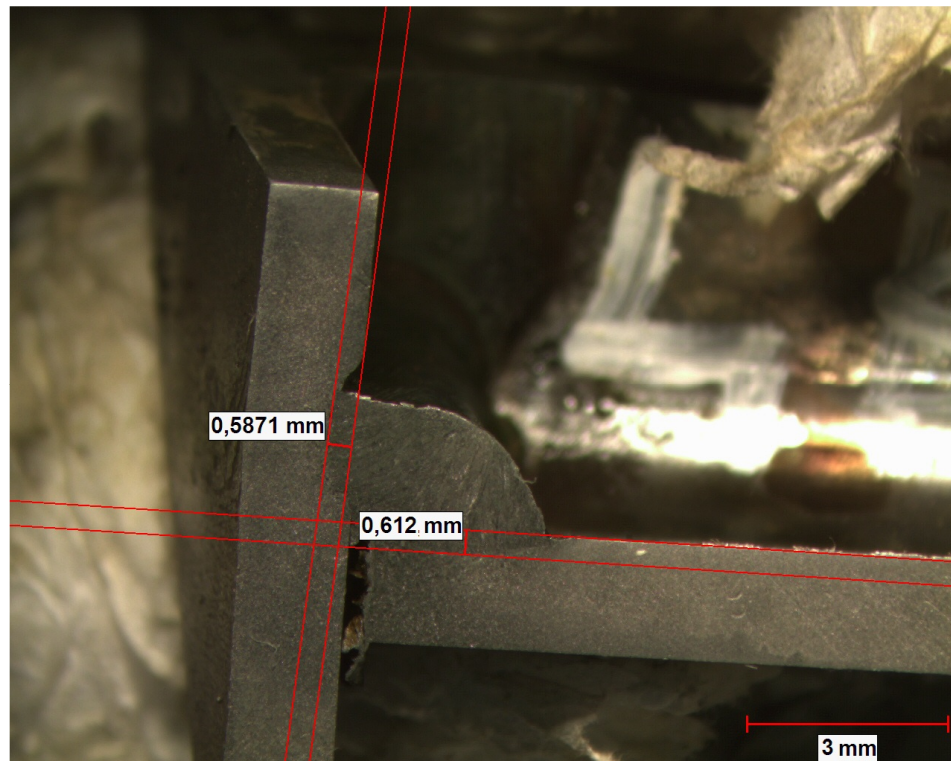
2. Deney



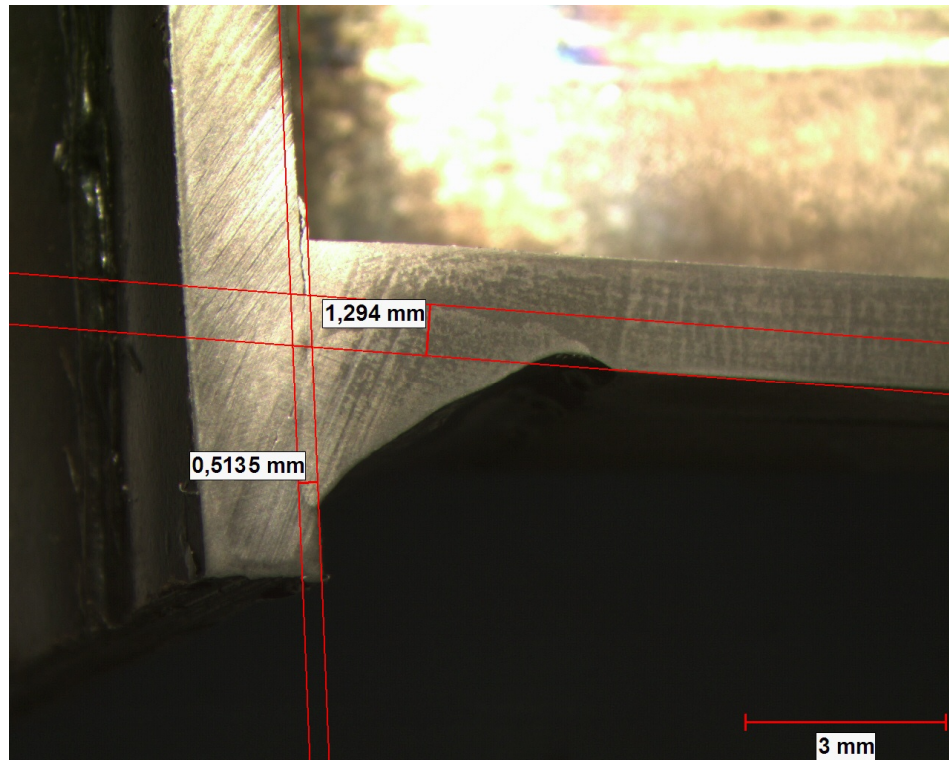
3. Deney



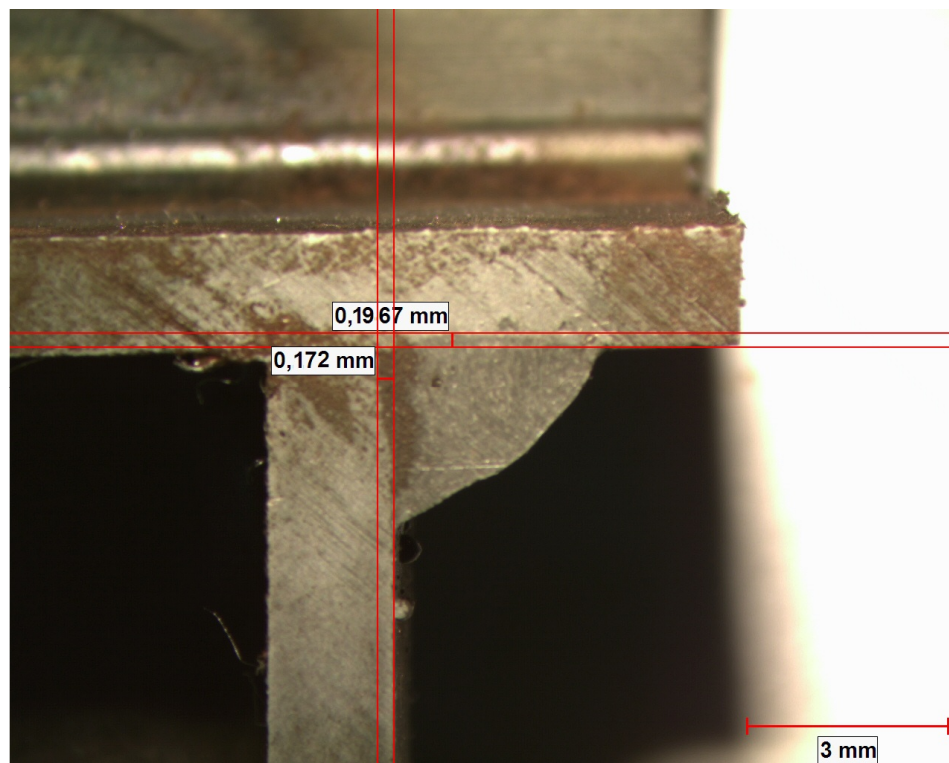
4. Deney



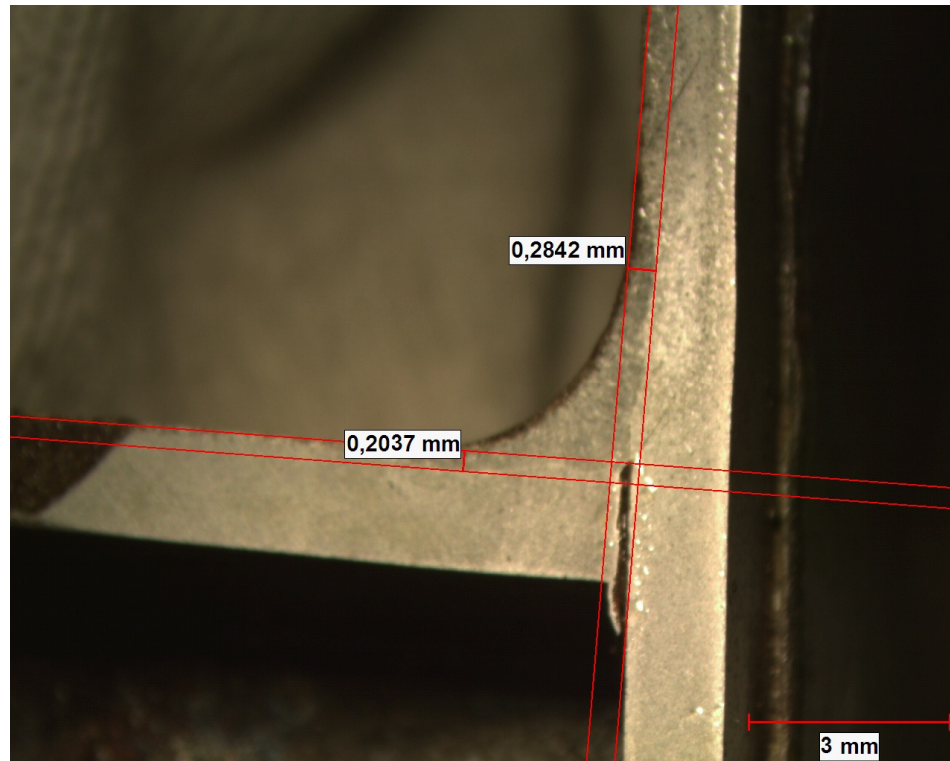
5. Deney



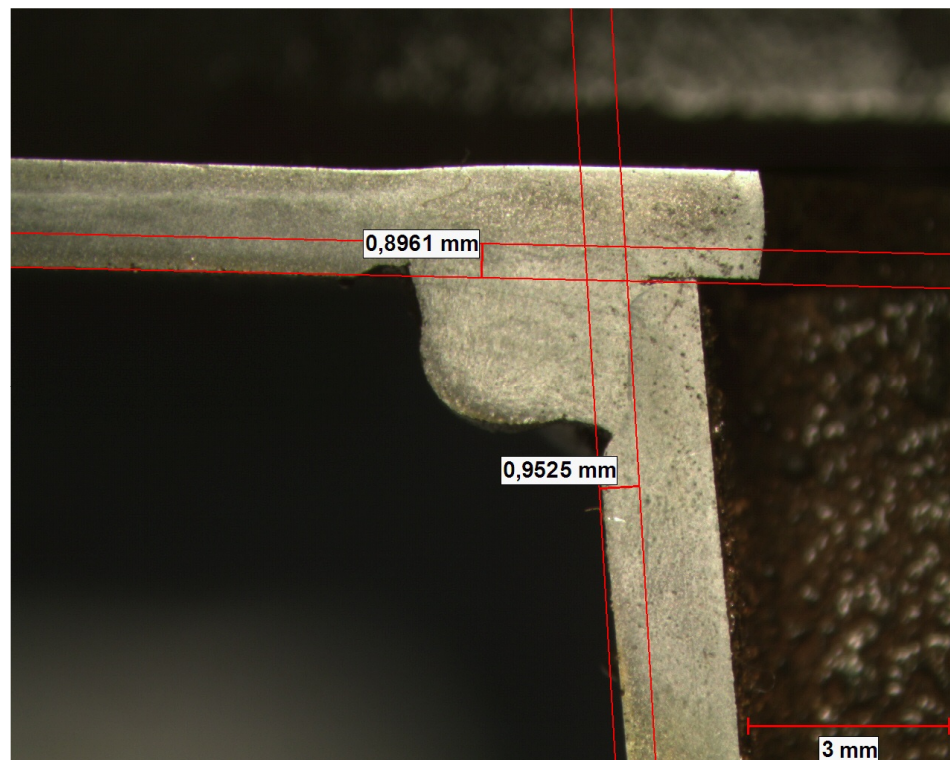
6. Deney



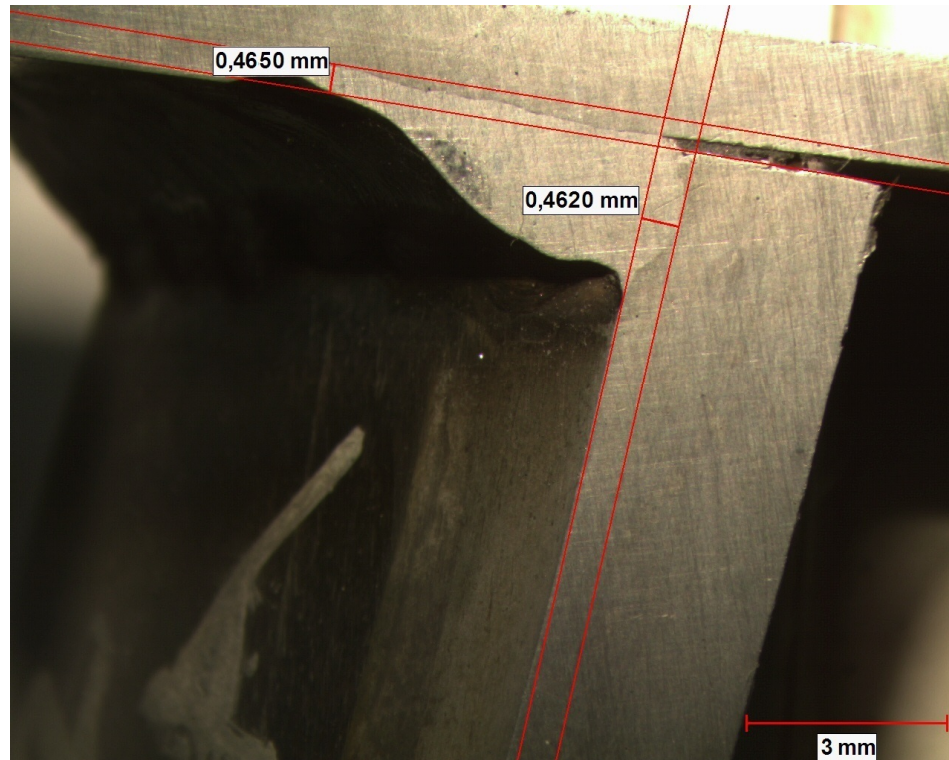
7. Deney



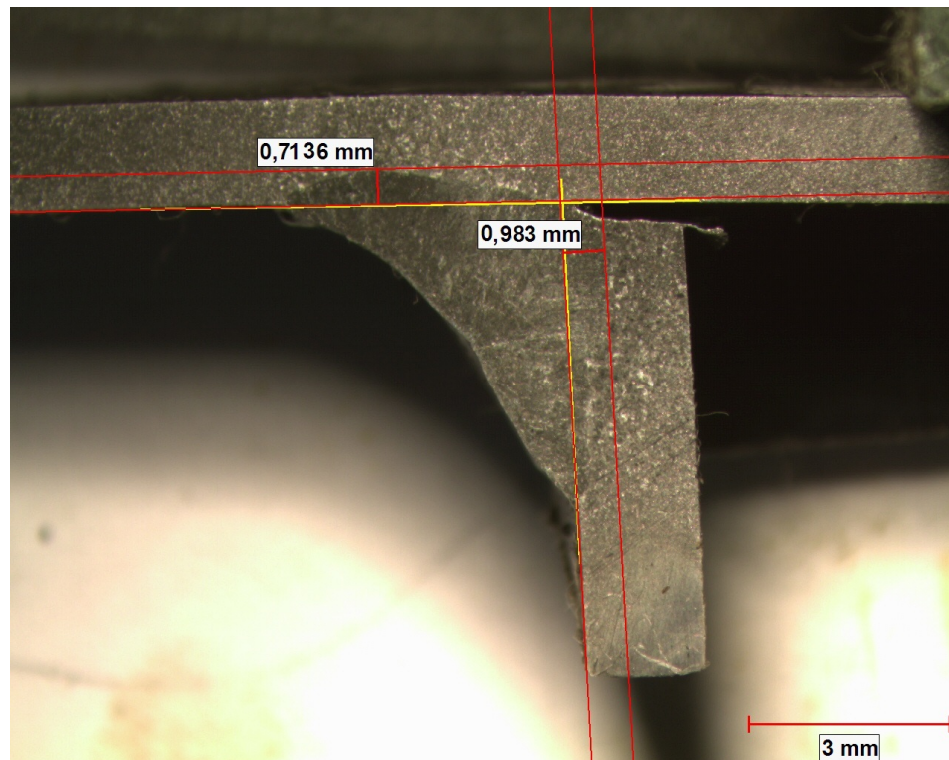
8. Deney



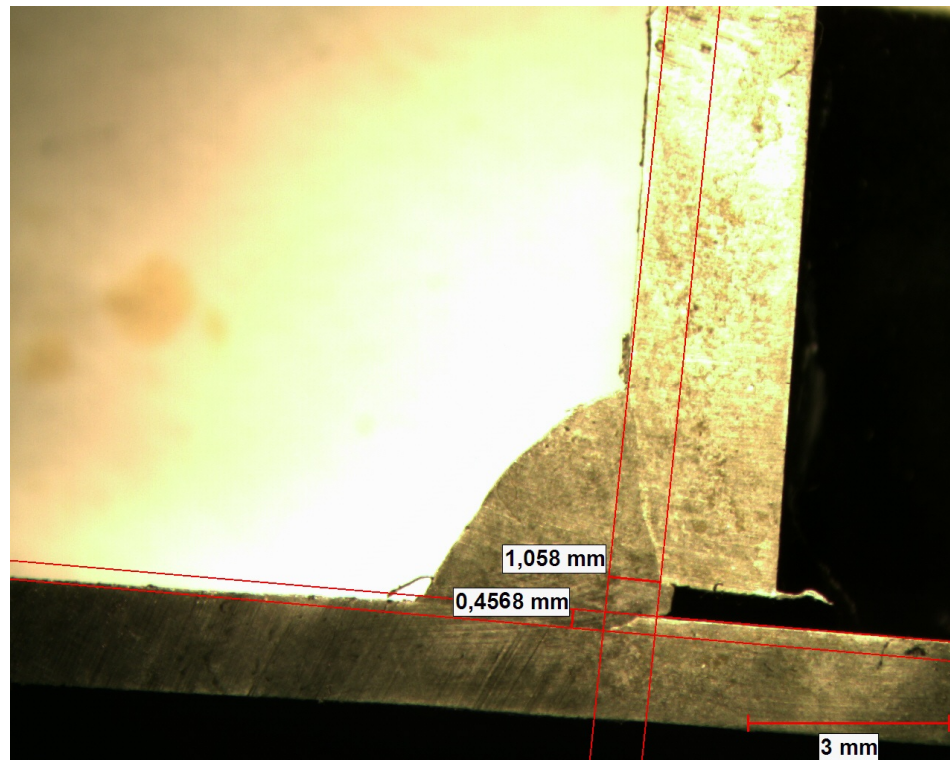
9. Deney



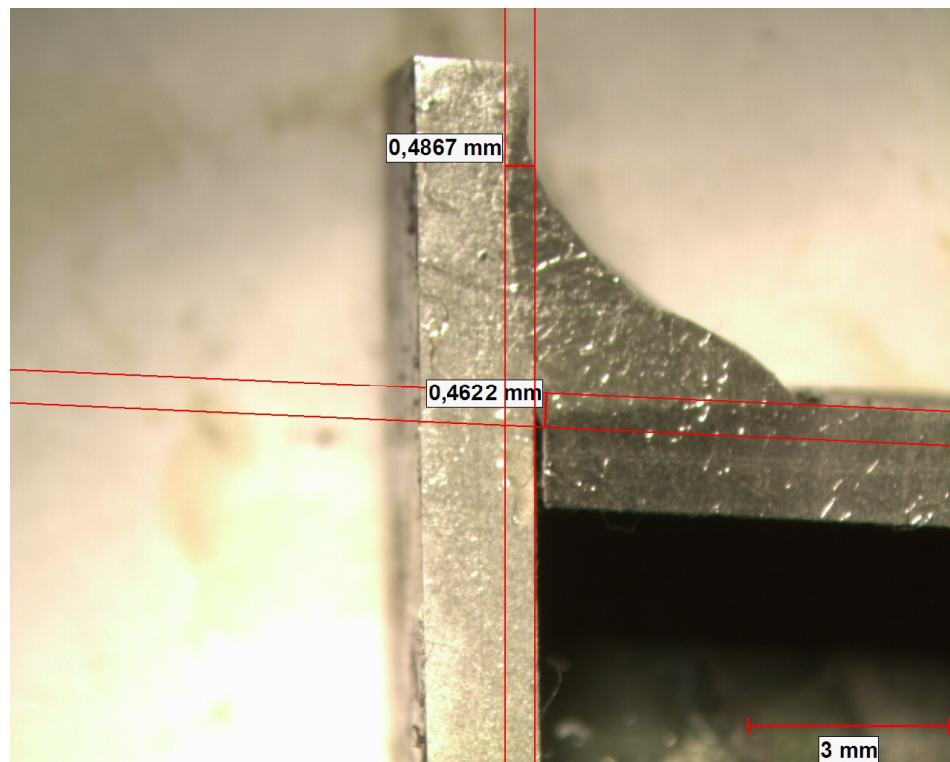
10. Deney



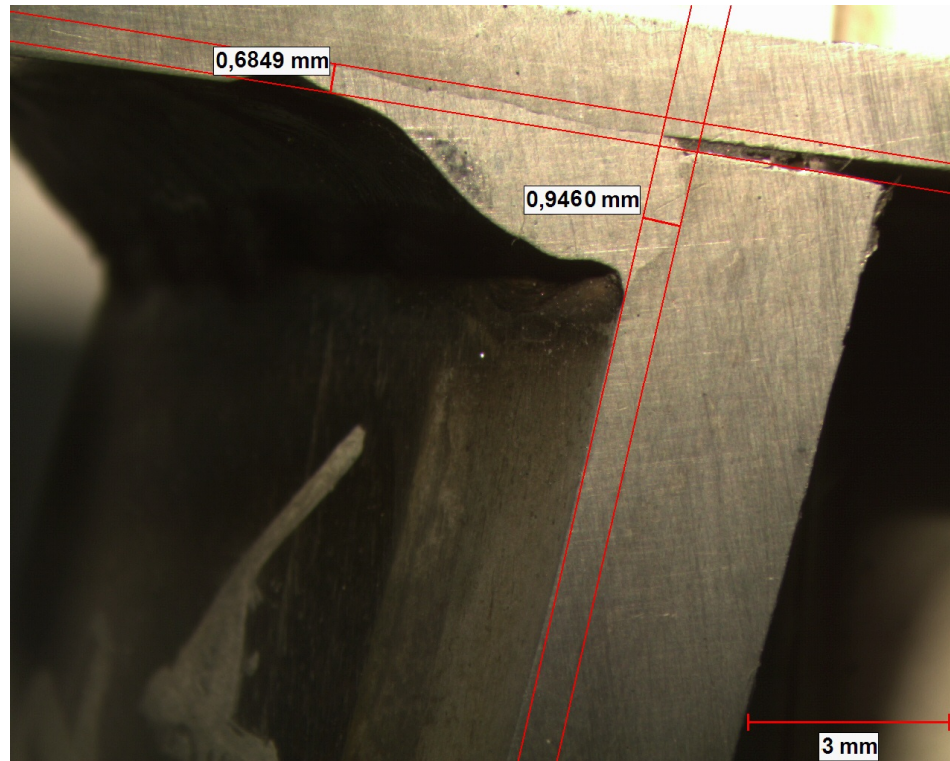
11. Deney



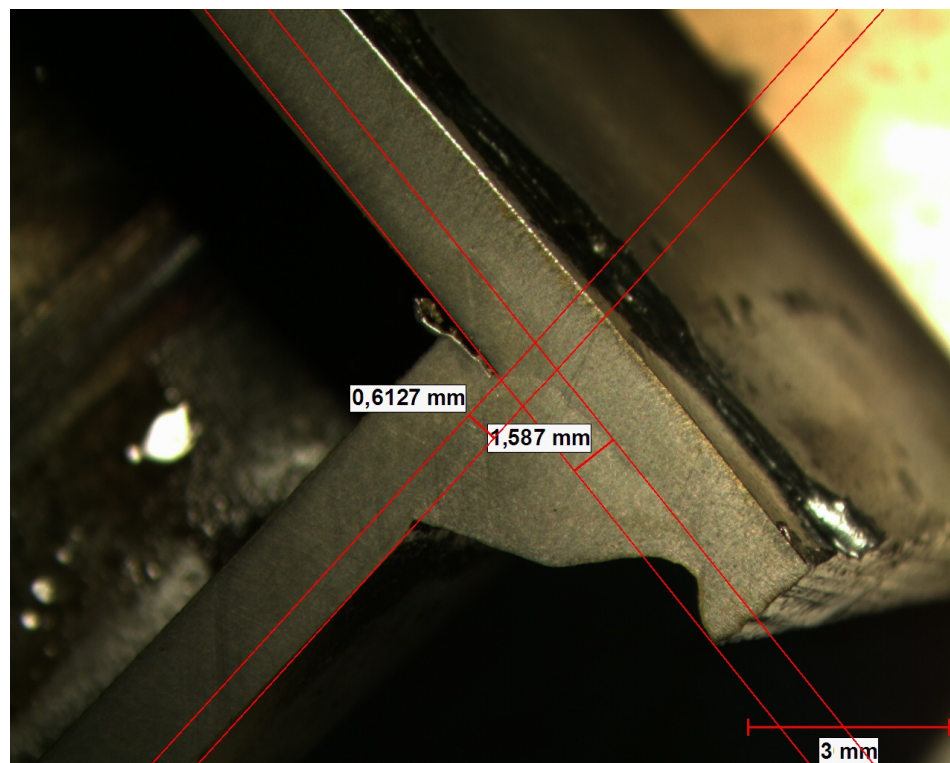
12. Deney



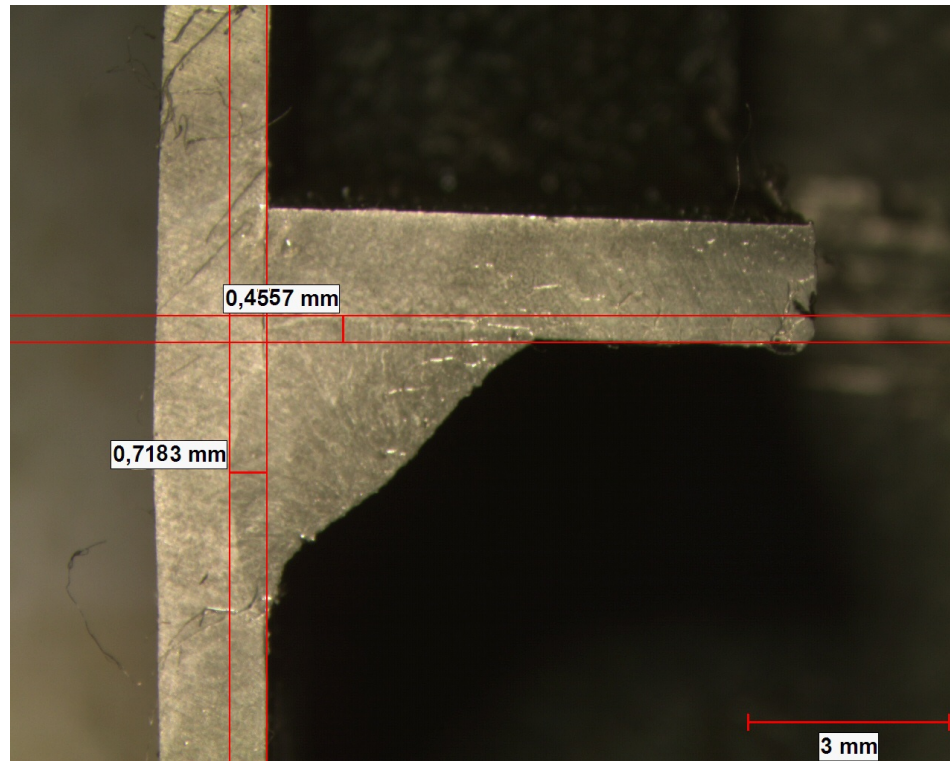
13. Deney



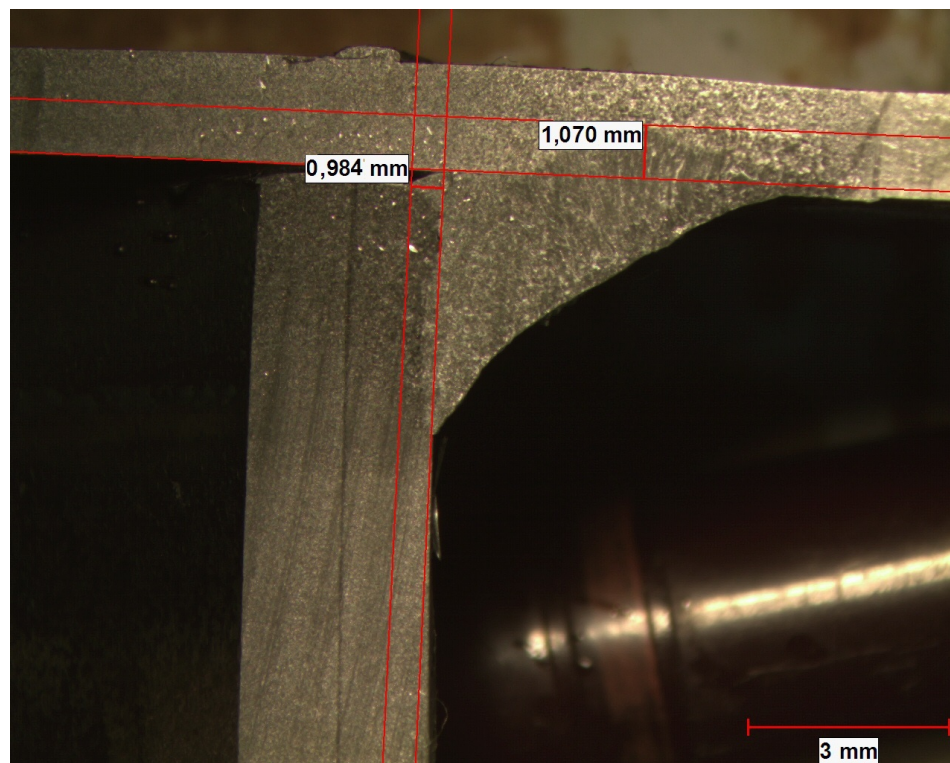
14. Deney



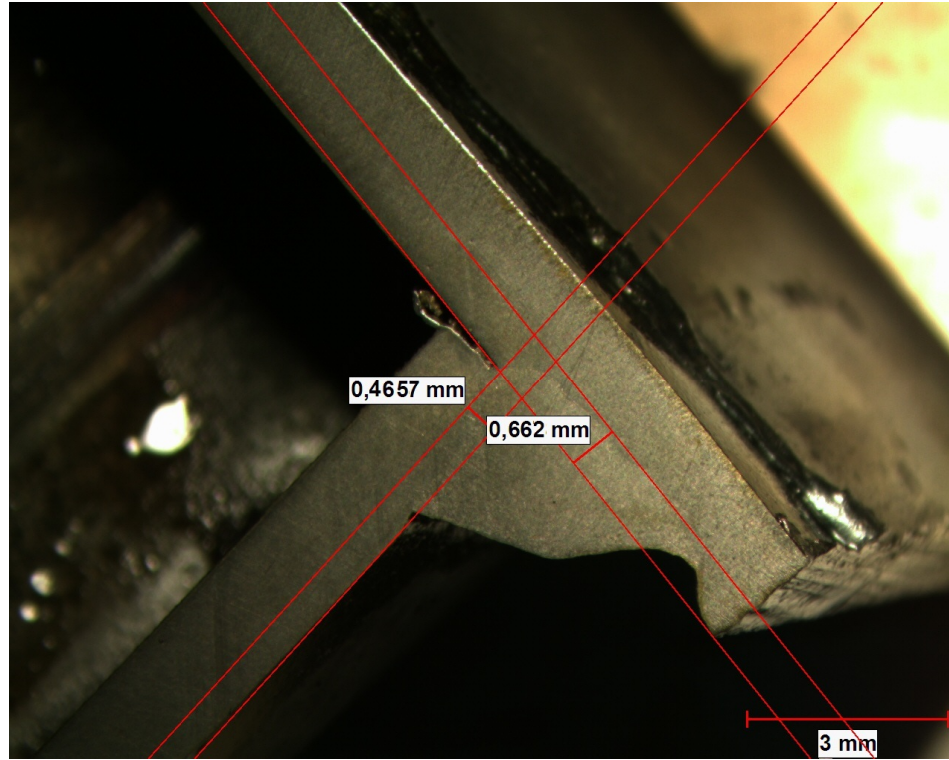
15. Deney



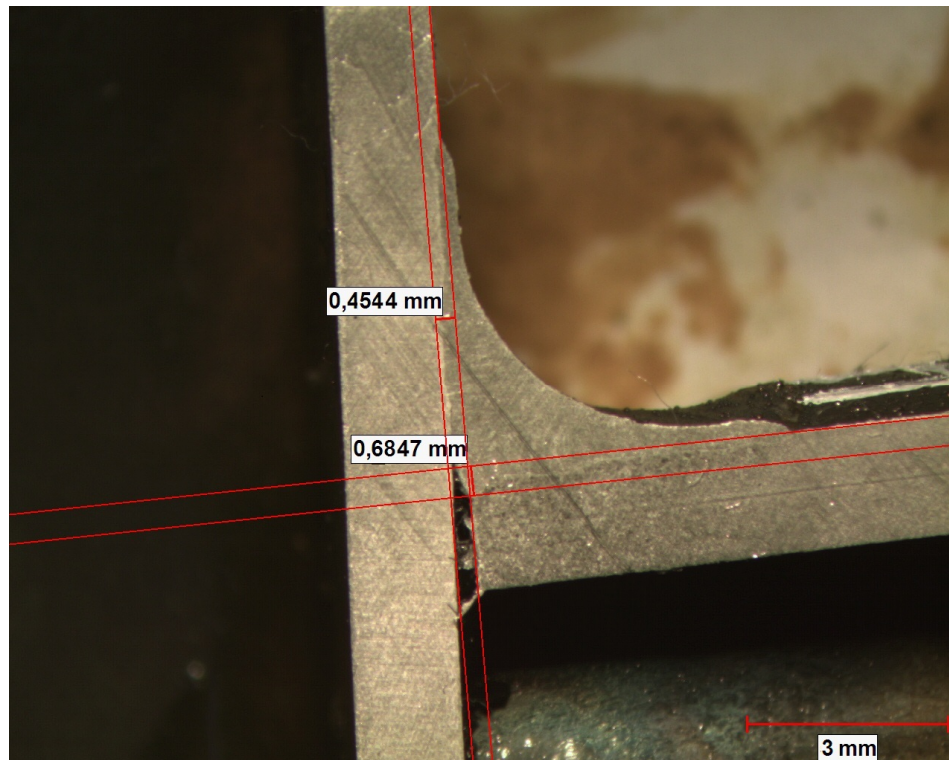
16. Deney



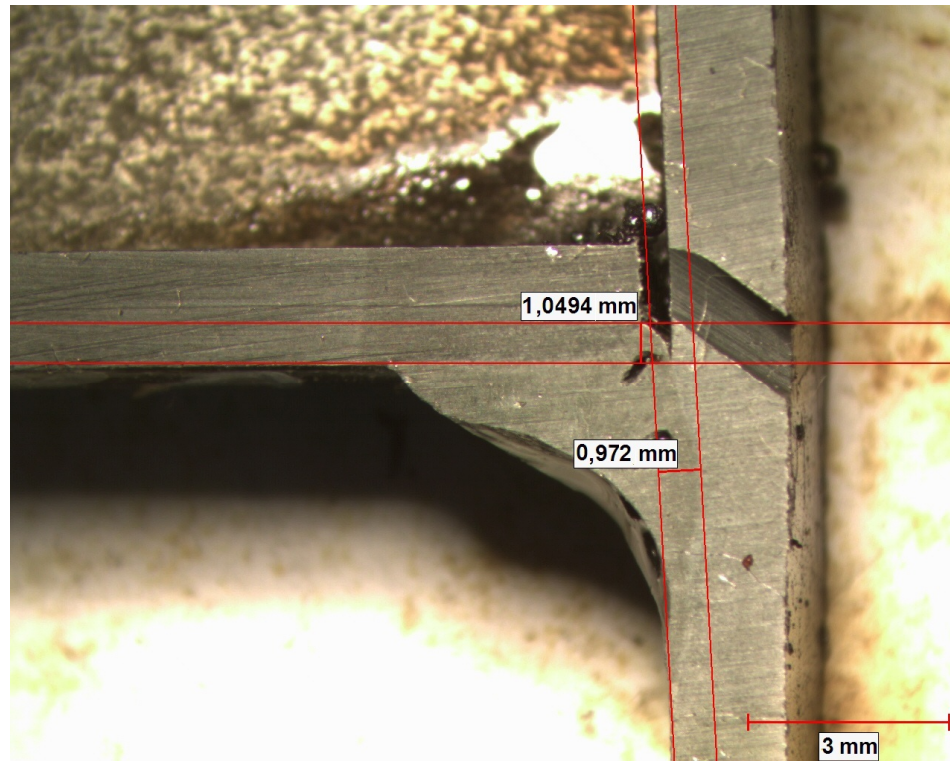
17. Deney



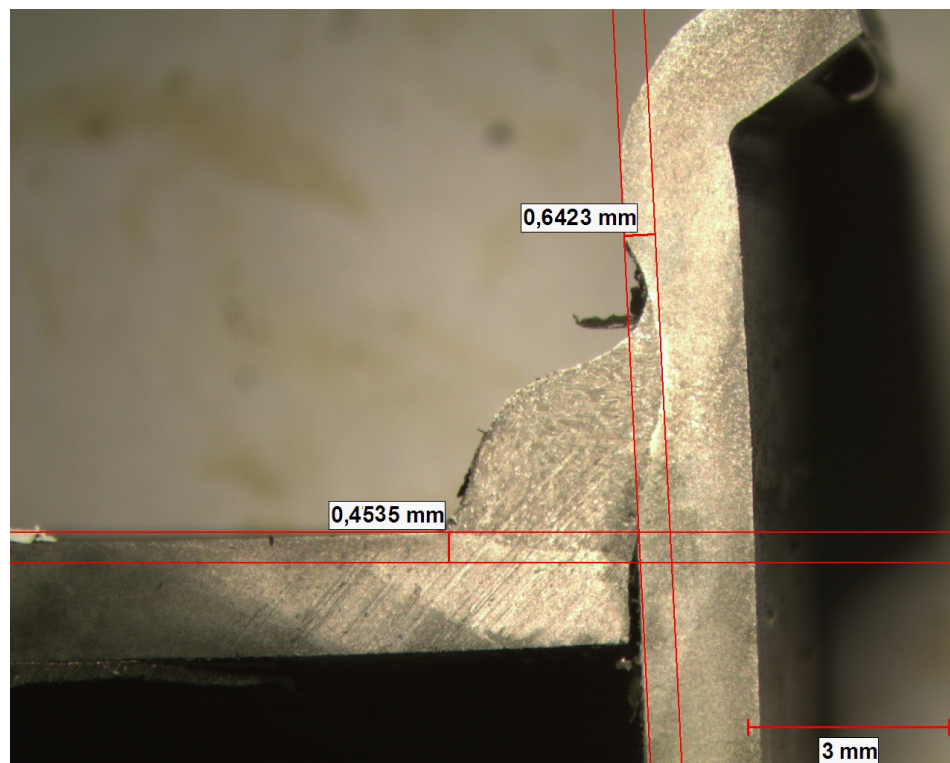
18. Deney



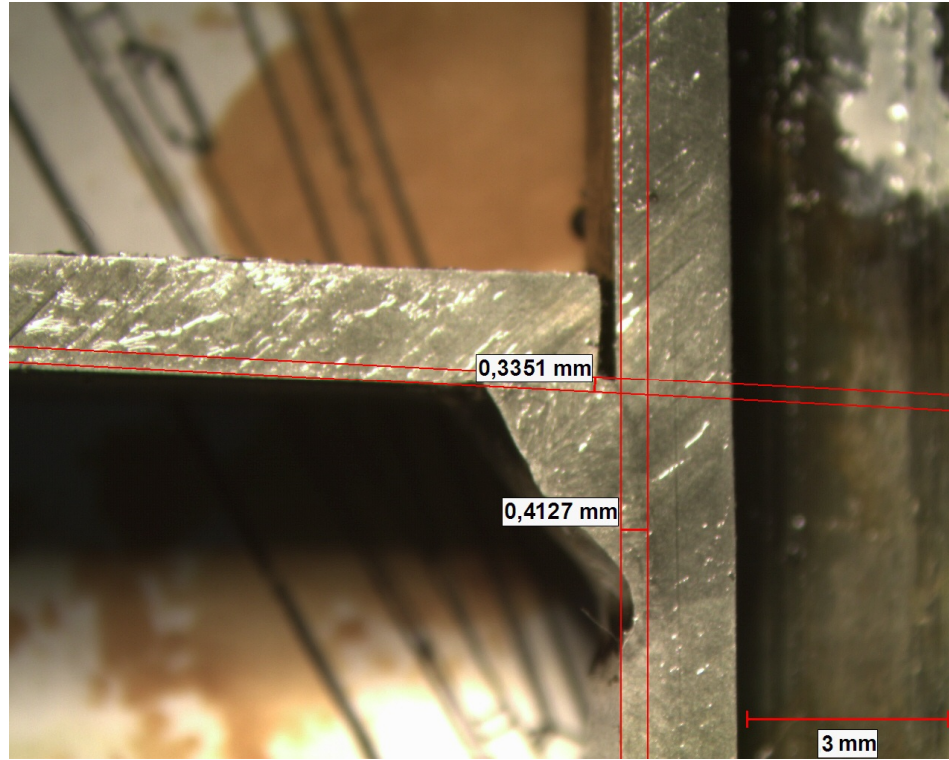
19. Deney



20. Deney



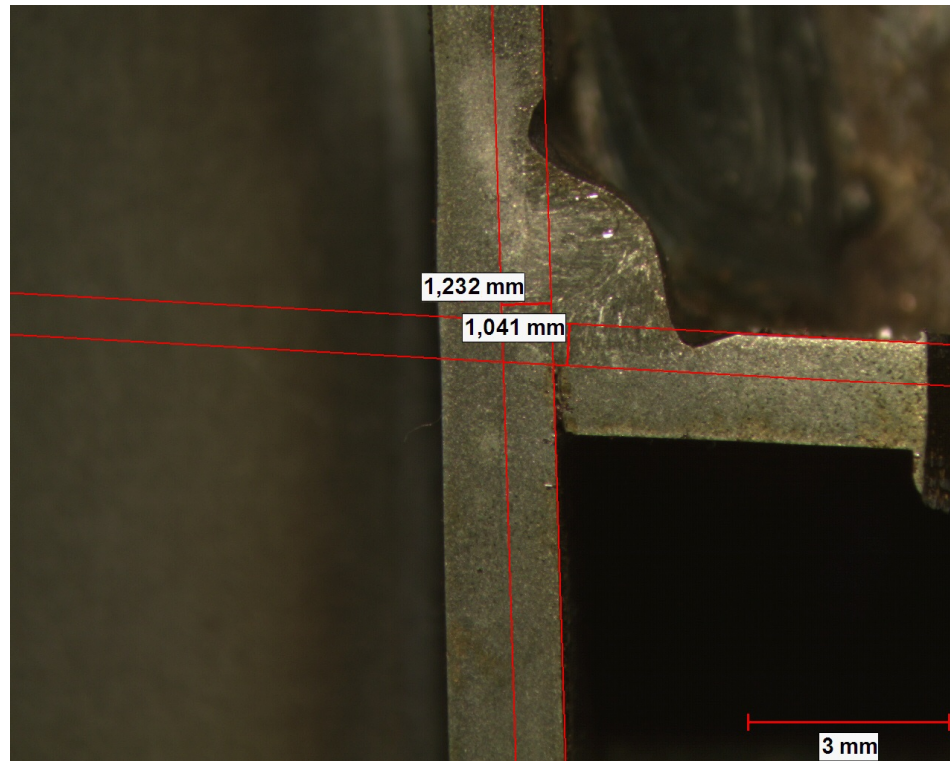
21. Deney



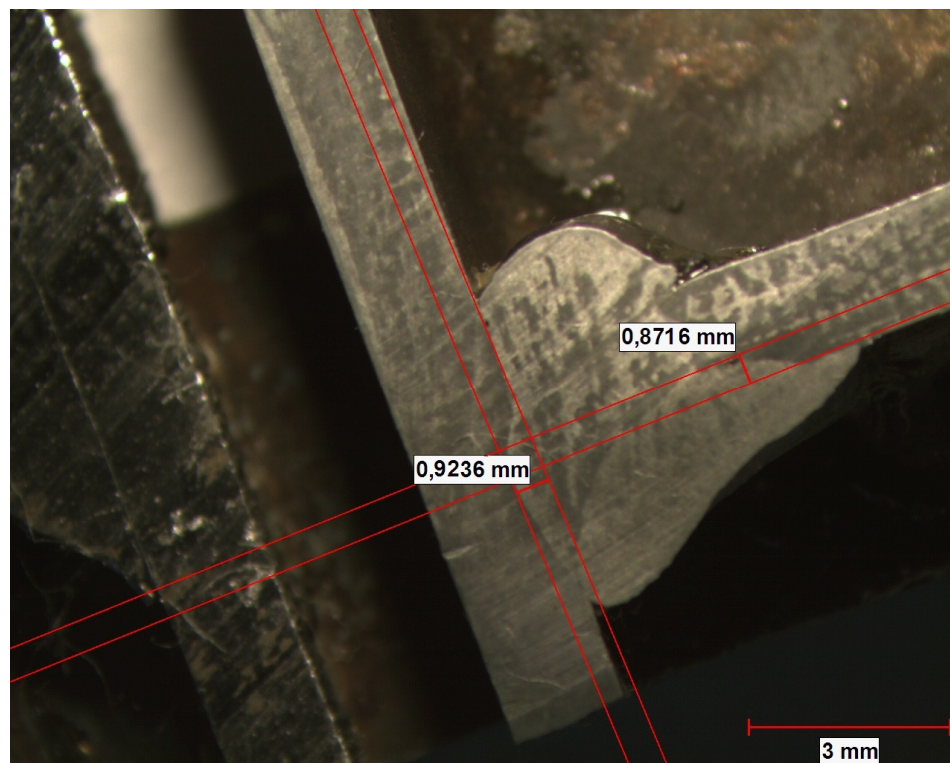
22. Deney



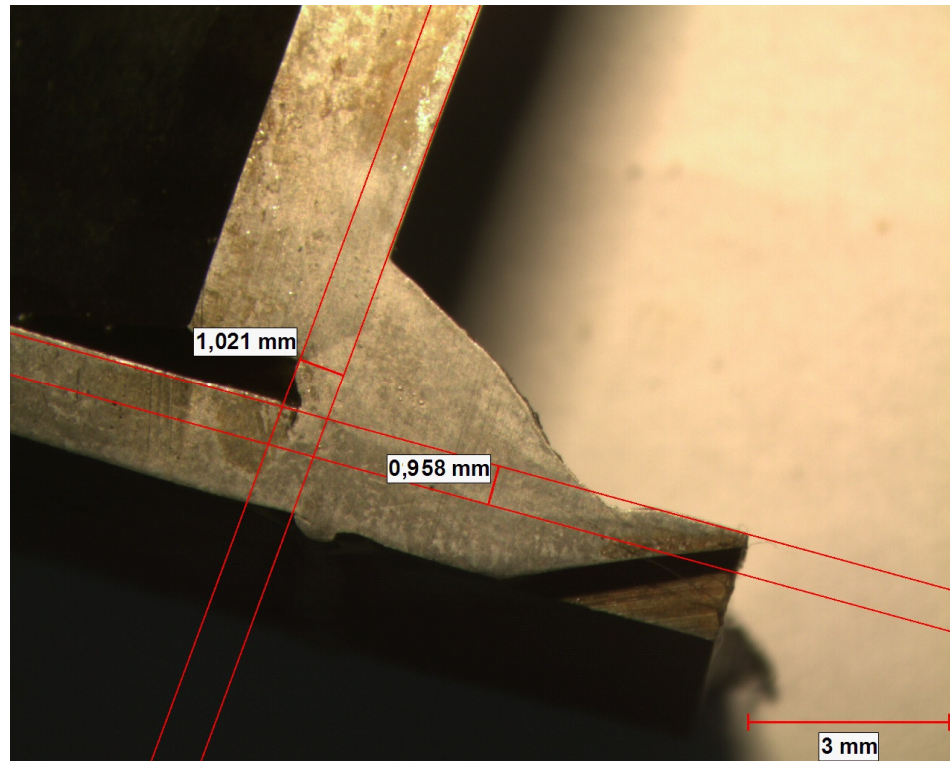
23. Deney



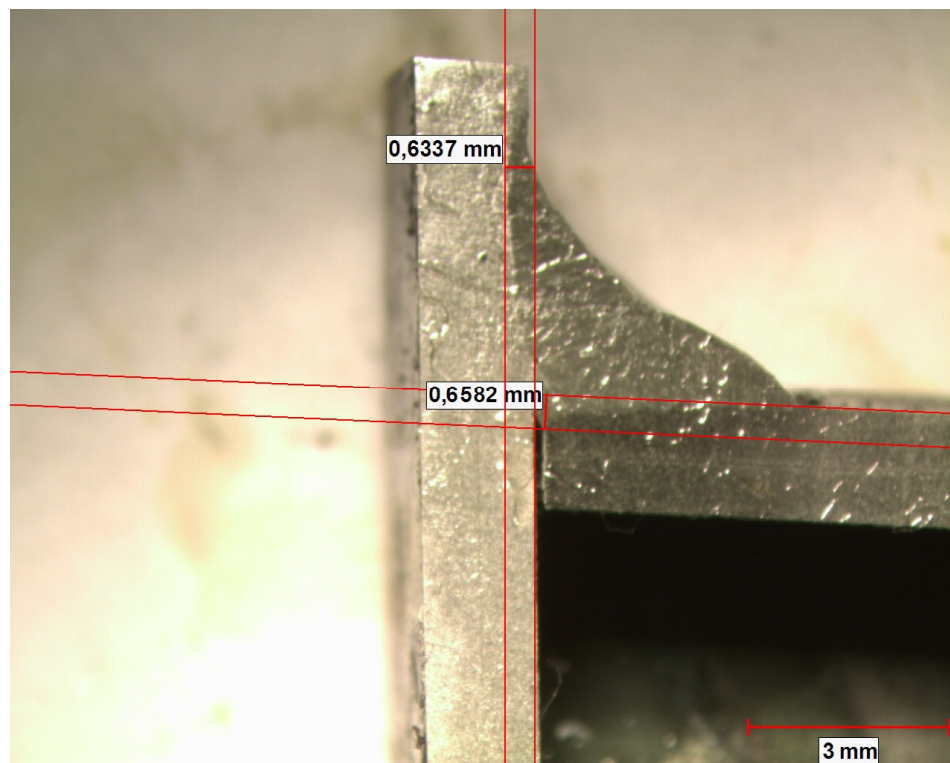
24. Deney



25. Deney



26. Deney



27. Deney

