140452

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ÇOK YANITLI PROBLEMLERİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE ENİYİLEMESİ VE BİR UYGULAMA



End.Yük.Müh. KASIM BAYNAL

2502884022

T 140452

Tez Danışmanı: Prof.Dr. ÖNER ESEN

İSTANBUL - 2003

T.C
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüz **Sayısal Yöntemler** Bilim Dalında **2502884022** numaralı **Kasım Baynal'ın** hazırladığı **hazırladığı "Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi İle Eniyilemesi ve Bir Uygulama"** konulu ~~YÜKSEK LİSANS~~ / **DOKTORA** TEZİ ile ilgili **TEZ SAVUNMA SINAVI,** Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin 28.Maddesi uyarınca **27/03/2003 Perşembe** günü saat: **11.00**'de yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin Kabulü.....'ne* **OYBİRLİĞİ** /~~**OYÇOKLUĞUYLA**~~ karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	KANAATİ(*)	İMZA
PROF.DR.ÖNER ESEN	Kabul	
PROF.DR.YILMAZ TULUNAY	Kabul	
PROF.DR.İBRAHİM DOĞAN	Kabul	
DOÇ.DR.NECDET ÖZÇAKAR	KABUL	
YRD.DOÇ.DR.ALP BARAY	Kabul	

ÖZ

Bu çalışmada, kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin eniyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel promlemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan Taguchi Yöntemlerini çok yanıtlı problemlerin eniyilemesinde kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliğini ortaya koymak ve bu yöntemlerin Türk endüstrisinde de tanınmasına ve kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde kalite ile ilgili temel kavramlar ve kalite geliştirme teknikleri genel hatları ile açıklanmaktadır. İkinci bölümde, Kalite geliştirme yaklaşımlarından biri olan deney tasarımı ve deney tasarımı esaslı bazı yöntemler kısaca anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde Taguchi Yöntemleri verilmektedir. Dördüncü bölümde çok yanıtlı problemler ve bunların eniyilenmesi için bir prösedür açıklanmaktadır. Çalışmanın beşinci bölümünde ise endüsriyel bir problem ele alınmış ve çok yanıtlı problem eniyilenmesi yaklaşımı ile çözülmeye çalışılmıştır. Tezin sonunda da uygulanan yöntem ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

ABSTRACT

In this study, first of all; sources of variation which cause quality problems are determined and Taguchi Method which has an ability to optimize of quality characteristics and has been applied quite often in the developed and developing countries' industrial applications, is applied in order to solve multi-response problems. In order to prove an improvement and efficiency of the method, an industrial application has been carried out. The main purpose of the study is to demonstrate how the method can obtain and improvement in quality and so, the method will be known and applied widely in Turkish industries.

The study consists of five chapters. In the first chapter, the main concepts of quality and quality improvement techniques are explained in short manner. In the second chapter, design of experiment which is one of the approaches of quality improvement and other methods based on the experimental design are explained. In the third chapter, Taguchi Method has been given. In the fourth chapter, an algorithm which can optimize multi-response problems has been explained. In the fifth chapter, an industrial problem has been designed and solved with multi-response optimization approach. In the last chapter of this study, results of the application has been criticized and discussed.

ÖNSÖZ

Günümüzün küresel rekabetçi ekonomik ortamında, iş hayatında varlıklarını sürdürmeye karar vermiş olan işletmeler, rekabet stratejileri olarak *yüksek kalitede* ve *düşük maliyeti* kullanmaktadırlar. Bu gibi işletmeler, kalitenin hiçbir zaman yeteri kadar iyi ve üretim maliyetlerinin de hiçbir zaman yeteri kadar düşük olmadığını bilmektedirler. Ayrıca, günümüzün iyi bilgilenmiş ve bilinçlenmiş olan müşterilerin yükselen hayat standardına bağlı olarak, beklentileri sürekli artmaktadır. Bu yüzden, bir serbest girişim sisteminde sürekli olarak, kaliteyi geliştirmek ve üretim maliyetlerini düşürmek bir zorunluluk haline gelmiştir. Daha önemlisi, yeni ürün/ürünlerin geliştirilmesi ve pazara yetiştirilmesi daha büyük önem kazanmıştır.

Kaliteye öncelik veren işletmeler, müşterinin güvenini kazanarak, işletmenin satışlarını ve karlarını arttırabilmektedirler. Sürekli kalite geliştirme programları ile, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerleri civarındaki varyasyonlarda devamlı azalmayı sağlamaktadırlar. Sürekli kalite geliştirme programının amacı, ürünün kalite karakteristiklerinin istenen değerlerden sapmasını azaltarak, müşteri tatminini sağlamak ve maliyetleri düşürmek(karı enbüyüklemek)tir.

Tezimde sürekli kalite geliştirme anlayışını benimseyen Taguchi Yönteminden yararlanarak bir ürünün daha kaliteli üretilmesi için, üretim faktörlerinin eniyi seviyelerinin bulunmasına yöneliktir. Son zamanlara kadar yapılan çalışmalar, daha çok tek kalite karakteristikli (yanıtlı) olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın en önemli yanı birden fazla yanıtı birlikte ele alarak, ödünleşimli bir şekilde bunları tatmin etmesidir.

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve fikirlerinden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr. Öner ESEN'e ve Prof.Dr. Yılmaz TULUNAY'a, ayrıca çalışma esnasında desteklerini gördüğüm Sayın Prof.Dr. Zerrin ALADAĞ'a ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Semra BORAN'a, tezin uygulama aşamasında çalışma ortamının hazırlanmasına olanak sağlayan ve deneylerin yapılmasında desteklerini esirgemeyen Takosan A.Ş.'nin Gn. Md. Sayın Kaya TİRYAKİOĞLU'na, Üretim Md. Sayın Erol ALKAY'a ve katkı yapan diğer çalışanlarına teşekkür etmeyi borç bilirim.

Ayrıca çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her tür fedakarlığa katlanan sevgili eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkür ederim.

Arş.Grv.Kasım BAYNAL

İÇİNDEKİLER

Sayfa
ÖZ ... iii
ABSTRACT ... iii
ÖNSÖZ ... iv
ŞEKİLLER LİSTESİ ... ix
TABLOLAR LİSTESİ ... xi
RESİMLER LİSTESİ ... xii
KISALTMALAR LİSTESİ ... xiii

GİRİŞ ... 1
BÖLÜM 1 ... 2
GENEL KALİTE KAVRAMLARI VE KALİTE GELİŞTİRME TEKNİKLERİ ... 2
1.1 KALITE KAVRAMI ... 2
1.2 KALITE KONTROL SISTEMI ... 8
1. 3 TOPLAM KALITE YÖNETIMI ... 10
1.3.1 Toplam Kalite Yönetimi'nin Temel Özellikleri ... 15
1.3.2 Toplam Kalite Yönetimi'nde Taguchi Yöntemleri'nin Rolü ... 17
1.4 KALITE DEĞERI VE MÜHENDISLIĞI ... 17
1.5 GÜNÜMÜZDE KALITE GELIŞTIRMENIN ÖNEMI VE GEREKLILIĞI ... 19
1.6 KALITE GELIŞTIRMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER ... 24
1.6.1 Kalite Geliştirmede Kullanılan İstatistiksel Yöntemler ... 25
1.6.1.1 Temel İstatistiksel Yöntemler ("Yedi Araç") ... 25
1.6.1.2 Orta Dereceli İstatistiksel Yöntemler ... 26
1.6.1.3 İleri İstatistiksel Yöntemler ... 27
1.6.2 Kalite Geliştirmede Kullanılan Diğer Yöntemler ... 27
1.6.2.1 Kalite Fonksiyonu Yayılımı (QFD) ... 28
1.6.2.1.1 QFD'ye Dayalı Ürün Geliştirme Prosesi ... 31
1.6.2.1.2 Ürün Geliştirme Prosesinde QFD ile Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması ... 34
1.6.2.1.3 QFD'nin Uygulama Alanları ... 36
1.6.2.2 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ... 38
1.6.2.2.1 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Takımı ... 40
1.6.2.2.2 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)nin Uygulama Süreci ... 40
1.6.2.3 Hata Ağacı Analizi ... 48
1.6.2.4 Poka - Yoke ... 51
1.6.2.4.1 Poka-Yoke Ne Zaman ve Nasıl Kullanılmalı ... 52
1.6.2.4.2 Poka-Yoke'nin Yararları ... 52

BÖLÜM 2 ... 54
DENEY TASARIMI ESASLI ENİYİLEME YÖNTEMLERİ ... 54
2.1 DENEY TASARIMI ... 54
2.2 KALITE GELIŞTIRMEDE DENEY TASARIMI ... 55
2.2.1 Deney Tasarımının Tarihçesi ... 59
2.2.2 Tasarım Eniyileme Problemi ... 62

2.3 DENEY TASARIMI ESASLI ENIYILEME YÖNTEMLERININ UYGULANDIĞI PROBLEMLERIN SINIFLANDIRILMASI....64
2.3.1 Statik Parametre Tasarım Problemi....65
2.3.2 Dinamik Parametre Tasarım Problemi....66
2.4 TEK VE ÇOK YANITLI PROBLEMLERIN ENIYILEMESI....68
2.4.1 Tek Yanıtlı Problem Eniyilemesi....68
2.4.2 Çok Yanıtlı Problem Eniyilemesi....70
2.5 DENEY TASARIMI ESASLI ENIYILEME YÖNTEMLERI....71
2.5.1 Geleneksel Deney Tasarımı Esaslı Eniyileme Yöntemi....72
2.5.1.1 Çok Faktörlü Deneyler....77
2.5.2 Diğer Deney Tasarımı Esaslı Eniyileme Yöntemleri....78
2.5.2.1 Taguchi Yöntemi'ne Genel Bakış....78
2.5.2.1.1 Ortogonal Diziler....87
2.5.2.1.1.1 Doğrusal Grafikler....93
2.5.2.1.1.2 Üçgensel Tablolar....93
2.5.2.2 Shainin Yaklaşımı....95
2.5.2.2.1 Shainin'in Değişkenleri Araştırma Tasarımı....96
2.5.2.2.2 Değişkenler Araştırma Tasarımının Amacı....97
2.5.2.2.3 Değişkenler Araştırma Tasarımının Uygulanması....97
2.5.2.3 Yanıt Yüzeyi Yöntemi....100

BÖLÜM 3. 105
TAGUCHI YÖNTEMİ YAKLAŞIMI....105
3.1 TAGUCHI YAKLAŞIMININ ANAHTAR ELEMANLARI....106
3.2 TAGUCHI'NİN KALİTE FELSEFESİ....107
3.2.1 Taguchi Yöntemlerini İstatistiksel Yöntemlerden Ayıran Özellikler....108
3.2.2 Taguchi Yöntemleri ve Robust Tasarım....112
3.3 KALİTE MÜHENDİSLİĞİ....114
3.3.1 Taguchi'nin Kalite Mühendisliğine Katkıları....117
3.4 OFF-LINE VE ON-LINE KALİTE KONTROL....118
3.4.1 Off-Line Kalite Kontrol....118
3.4.1.1 Ürün Tasarımı (Off-line KK, aşama 1)....121
3.4.1.2 Üretim Proses Tasarım (Off-line KK, aşama 2)....122
3.4.2 On-Line Kalite Kontrol....122
3.4.2.1 Üretim Kalite Kontrol Yöntemleri (On-line KK, aşama 1)....123
3.4.2.2 Müşteri İlişkileri (On-line KK, aşama 2)....123
3.5 ÜRÜN VE PROSES TASARIMINA TAGUCHI YAKLAŞIMI....124
3.5.1 Sistem Tasarımı....125
3.5.1.1 Taguchi Strateji ve Taktikleri....125
3.5.2 Parametre Tasarımı....127
3.5.2.1 Parametre Tasarım Deneyi....128
3.5.2.2 Kontrol ve Gürültü Faktörleri....132
3.5.2.2.1 Kontrol Faktörleri....132
3.5.2.2.2 Gürültü Faktörleri....133
3.5.2.2.3 Gürültü Faktörlerine Karşı Kalite Önlemleri....135
3.5.2.3 Sinyal/Gürültü Oranı....136
3.5.3 Tolerans Tasarımı....138

3.6 TAGUCHI KAYIP FONKSİYONU 141
3.6.1 Yaşam Döngüsü Kalite Kaybı 147
3.6.2 Nominal En İyi 147
3.6.3 Daha Küçük Daha İyi 149
3.6.4 Daha Büyük Daha İyi 149
3.6.5 Diğer Kayıp Fonksiyonları 149
3.7 ROBUST TASARIM 152
3.7.1 Robustluk ve Kalite 153
3.7.2 Çalışma Prosesinin Robustluğu 154
3.7.3 Robust Çalışma Prosesi Oluşturma 158
3.7.4 Robust Mühendislik Tasarımında Tasarımcı Tercihleri 160
3.8 TAGUCHI SİSTEMİNDE AKÜMÜLASYON ANALİZİNİN (AA) DENEY TASARIMINDAKİ ROLÜ 161
3.9 TAGUCHI YÖNTEMİ UYGULAMA ADIMLARI 163
3.9.1 Çalışma Ekibinin Kurulması 167
3.9.2 Amaçların Belirlenmesi 168
3.9.3 Performans Karakteristiklerinin ve Ölçüm Sistemlerinin Belirlenmesi.. 169
3.9.4 Performans Karakteristiklerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması 169
3.9.5 Kontrol ve Gürültü Faktörlerinin Seviyelerinin Belirlenmesi 170
3.9.6 Potansiyel Etkileşimlerin Belirlenmesi 170
3.9.7 Uygun Ortogonal Dizilerin Seçilerek Atamaların Yapılması 171
3.9.8 Taguchi Kayıp Fonksiyonu ve Performans İstatistiklerin Belirlenmesi . 172
3.9.9 Deneyin Hazırlanması 173
3.9.10 Deneylerin Yapılması ve Kontrol Faktörlerinin En İyi Deneylerinin Bulunması 173
3.9.11 Doğrulama Deneyinin Yapılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi..... 177
3.10 TAGUCHI YÖNTEMİNİN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL VE DİĞER KLASİK DENEY TASARIM YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI 178
3.11 TAGUCHI YÖNTEMİNE ELEŞTİRİLER 180

BÖLÜM 4 183
ÇOK YANITLI PROBLEMLER 183
4.1 ÇOK YANITLI PROBLEMLERE GİRİŞ 183
4.2 TAGUCHI YÖNTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI 189
4.2.1 Endüstride Taguchi Yöntemi'nin Potansiyel Uygulamaları 190
4.2.2 Üretim Endüstrisinde Taguchi Yöntemlerinin Uygulamalarından Bazı Örnekler 191
4.2.3 Deneysel Tasarım ve Hizmet Endüstrisindeki Uygulanması 197
4.3 GELENEKSEL VE DENEYSEL ENİYİLEME YÖNTEMLERİ 199
4.3.1 Taguchi Yöntemi 200
4.3.2 DOE Yöntemi 202
4.3.3 DOE Yöntemine Karşı Taguchi Yöntemi 203
4.4 ÇOK YANITLI PROBLEMLER 203
4.5 BULANIK MANTIK İLE ÇOKLU PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN ENİYİLENMESİ 206

4.6 NİTELİKSEL KARAKTERİSTİKLERİN ENİYİLEMESİNDE TAGUCHI TEKNİKLERİ 207
4.7 ÇOK YANITLI PROBLEMLER İÇİN ÖNERİLEN BAZIYÖNTEMLER.. 209
4.7.1 Kayıp Modeli (Loss Function) 209
4.7.2 Taguchi'nin Parametre Tasarım Deneylerinde Çoklu Kalite Karakteristiklerinin Eniyilemesi İçin Antony'nin Önerdiği Yöntem..... 211
4.8 TAGUCHI YÖNTEMİ'DE ÇOK YANITLI PROBLEMLER..... 214
4.8.1 Çok Yanıtlı Problemlerle İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar 214
4.8.2 Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü 216
4.8.2.1 Kalite Kaybını Hesaplama 217
4.8.2.2 Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirleme 218
4.8.2.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunu Belirleme..... 218
4.8.2.4 Doğrulama Deneyinin Yapılması..... 220

BÖLÜM 5 223
UYGULAMA..... 223
5.1 UYGULAMANIN YAPILDIĞI YER HAKKINDA GENEL BİLGİ 223
5.2 OTOMOTİV YAN SANAYİİNDE ÇOK YANITLI PROBLEMİN UYGULAMASI 225
5.2.1 Problemin Belirlenmesi ve Çalışma Ekibinin Kurulması 227
5.2.2 Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi 230
5.2.3 Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi 231
5.2.4 Deneyin Uygulanması ve Verilerin Analizi 234
5.2.4.1 Kalite Kaybının Hesaplanması..... 236
5.2.4.2 Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi..... 237
5.2.4.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonun Belirlenmesi 243
5.2.5 Doğrulama Deneyi 249
5.3 SONUÇLAR VE DEĞEĞRLENDİRİLMESİ..... 255

SONUÇ 257
KAYNAKÇA 260
ÖZGEÇMİŞ 268

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Nominal Değer ve Tolerans 6
Şekil 1.2: Kalite Kontrol Sistemi 9
Şekil 1.3: Kalite Geliştirme (Eski Yaklaşım) 13
Şekil 1.4: Kalite Geliştirme (TKY) 14
Şekil 1.5: Kalite İki Yolla Verimliliği Geliştirebilir. 20
Şekil 1.6: Deming'in Üretimi Bir Sistem Olarak Görüşü 21
Şekil 1.7: Kalite Evi 30
Şekil 1.8: Kalite Fonksiyonu Yayılımı Aşamaları 31
Şekil 1.9: Toplam Kalite Yönetimi ve Ürün - Proses Tasarımının Eşzamanlı Mühendislik Prosesi 37
Şekil 1.10: PFMEA'ların Sınırları ve Aralarındaki İlişki. 41
Şekil 2.1: Taguchi Deney Tasarım Modeli 59
Şekil 2.2: Bir Ürünün (Prosesin) Blok Diyagramı 61
Şekil 2.3: Statik Parametre Tasarım Probleminin Blok Diyagramı 66
Şekil 2.4: Dinamik Parametre Tasarım Probleminin Blok Diyagramı 67
Şekil 2.5: Kontrol Probleminin Blok Diyagramı 68
Şekil 2.6: Üç Temel Yöntemin Kalite Düzeyine Katkısı 73
Şekil 2.7: L_8 Doğrusal Grafikleri 93
Şekil 3.1: Kuadratik ve Aşağı Doğru Konkav İlişki 109
Şekil 3.2: Eğimin 1'e Eşit Olduğu Doğrusal İlişki 109
Şekil 3.3: Ortogonal Dizi Örneği. 112
Şekil 3.4: Kalite Mühendisliği 115
Şekil 3.5: Taguchi'nin Kaliteyi Sağlama Aşamaları 116
Şekil 3.6: Taguchi Kalite Sistemi 119
Şekil 3.7: Taguchi Kalite/Üretim Yaklaşımı 126
Şekil 3.8: Parametre Tasarım Deneyi Planının Bir Örneği 129
Şekil 3.9: Gürültü Faktörlerinin Etkisi 134
Şekil 3.10: İki Kalite Güvenliği Yaklaşımı 141
Şekil 3.11: Taguchi Yöntemleri 142
Şekil 3.12: Geleneksel ve Taguchi Kalite Yaklaşımı 143
Şekil 3.13: Kalite Kayıp Fonksiyonu 144
Şekil 3.14: Bazı Karakteristiklerin Karşılaştırılması 146
Şekil 3.15: Diğer Kayıp Fonksiyonları 151
Şekil 3.16: Çalışma Prosesi ve Çıktısının Performansını Etkileyen Kontrol Edilemeyen Faktör Kaynakları 155
Şekil 3.17: Kaliteyi İyileştirmek ve Varyasyonu Azaltmak için Üç Yol 156
Şekil 3.18: Deneme Adımları 165
Şekil 4.1: Eniyileme Prosesi 201
Şekil 4.2: Taguchi Yöntemi ve DOE Yöntemi 202
Şekil 4.3:Taguchi Yöntemi'nde Çok Yanıtlı Problemler için Eniyileme Prosedürü 221
Şekil 5.1 Takosan A.Ş. Organizasyon Şeması 224
Şekil 5.2 Far Kumanda Kolu Şapkası 226
Şekil 5.3 Far Kumanda Kolu 226

Şekil 5.4 İncelenen Ürünleri Üreten Enjeksiyon Makinası 227
Şekil 5.5 Ürün Akış Diyagramı 228
Şekil 5.6 Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkileri 245
Şekil 5.7 Faktörlerin Ağırlık Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri 248
Şekil 5.8 Faktörlerin Görünüm Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri 248
Şekil 5.9 Faktörlerin Boyut Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri 249

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: ABD Yapımı ile Japon Yapımı Ürünün Maliyet Karşılaştırılması.....18
Tablo 2.1: İki Etkene Sahip Çok Faktörlü Tasarımının Veri Yapısı.....77
Tablo 2.2: $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizisi.....89
Tablo 2.3: Standard Ortogonal Dizilere İlişkin Temel Bilgiler.....91
Tablo 2.4: Çok Faktörlü Deney ve Taguchi Deney Tasarımları İçin Önerilen Deneme Sayıları.....92
Tablo 2.5: $L_{27}(3^{13})$'ün Üçgensel Tablosu.....95
Tablo 3.1: Varyasyon Yaratan Gürültü Faktörlerine Karşı Önlemler ve Bunların Üretim Sisteminde Kullanılması.....135
Tablo 3.2: Kayıp Fonksiyonları Tipleri.....151
Tablo 5.1 Kontrol Faktöleri ve Seviye Değerleri.....230
Tablo 5.2 Deney Planı: $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizisi.....232
Tablo 5.3 L_{27} Ortogonal Dizisi İçin Deney Koşulları.....233
Tablo 5.4 Faktör Seviyelerinin Deney Planında (L_{27}) Dağılımı.....234
Tablo 5.5 Ağırlık Verileri.....235
Tablo 5.6 Görünüm Verileri.....236
Tablo 5.7 Boyut Verileri.....238
Tablo 5.8 Ölçülen Verilerden Hesaplanan Ortalamalar ve Lij, Cij, TNQLj,MRSNj Değerleri.....239
Tablo 5.9 Farklı Ağırlıklara Göre Hesaplanan TNQL Değerleri.....240
Tablo 5.10 Farklı Ağırlıklara Göre Hesaplanan MRSN Değerleri.....241
Tablo 5.11 Deney Kombinasyonları ve Bunlara Ait Ortalama ve Yanıt Değerleri..242
Tablo 5.12 w_1=0.5, w_2=1.5 ve w_3=1.0 Ağırlıkları İçin MRSN Değerleri.....243
Tablo 5.13 Faktörlerin MRSN Oranı Üzerindeki Ana Etkileri.....244
Tablo 5.14 Faktörlerin Ağırlık Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri.....246
Tablo 5.15 Faktörlerin Görünüm Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri.....247
Tablo 5.16 Faktörlerin Boyut Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri.....247
Tablo 5.17 Doğrulama Deneyi Verileri.....250
Tablo 5.18 Normalleştirilen Maliyetlere Göre TNQL ve MRSN Değerleri.....250
Tablo 5.19 Kayıplara (Lij) Göre TNQL ve MRSN Değerleri.....253
Tablo 5.20 Ortalama ve Hedef Değer(8.5)e Göre Standard Sapma Hesaplamak için Ağırlık Veri Tablosu.....253
Tablo 5.21 Doğrulama Deneyi Sonuçları.....254

RESİMLER LİSTESİ

Tablo 5.1 Üründeki Bombelik ve Parlaklık 229
Tablo 5.2 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Hatalı Ürünler 251
Tablo 5.3 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Ürünler 252
Tablo 5.4 Deney Sonrası Belirlenen Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Ürünler 252
Tablo 5.5 Deney Sonrası ve Deney Sonrası Üretilen Ürünlerin Karşılaştırılması... 255

KISALTMALAR LİSTESİ

AA	:Akümülasyon Analizi (Accumulation Analysis)
AKL	:Alt Kontrol Limiti
ANN	:Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network)
ANOVA	:Varyans Analizi (Variance of Analysis)
AR-GE	:Araştırma Geliştirme
ASQC	:Amerikan Kalite Kontrol Derneği (American Society of Quality Control)
CAD	:Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design)
CADM	:Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim (Computer-Aided Design and Manufacturing
CAM	:Bilgisayar Destekli Üretim (Computer-Aided Manufacturing)
CAPC	:Bilgisayar Destekli Proses Kontrolü (Computer- Aided Process Control)
ÇYP	:Çok Yanıtlı Problemler
DOE	:Deney Tasarımı (Design of Experiment)
EPC	:Mühendislik Proses Kontrolü (Engineering of Process Control)
EVOP	:Evrimsel İşlemler (Evolutionary Operations)
FMEA	:Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	:Hata Türü, Etkileri ve Kritikliği Analizi (Failure Mode and Effects Criticality Analysis)
FKKŞ	:Far Kumanda Kolu Şapkası
GA	:Genetik Algoritma (Genetic Algoritm)
HAA	:Hata Ağacı Analizi
JIS	:Japon Endüstriyel Standardları (Japan Industrial Standards)
KED	:Kontrol Edilemeyen Değişkenler
KD	:Kontrol Edilebilen Değişkenler
KK	:Kalite Kontrol
K-T-M	:Kalite-Termin-Maliyet
LTB	:Daha Büyük Daha İyi (Larger-the-Better)
MRSN	:Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü Oranı (Multi-Response Signal Noise)
MSD	:Ortalama Kareli Sapma (Mean Squared Deviation)
MSS	:Çok-Durumlu Sistem (Multi-State System)
NTB	:Nominal En İyi (Nominal-the-Best)
PHR	:Proses Tehlikelerinin Yeniden Gözden Geçirilmesi
P/OM	:Üretim ve Operasyonlar Yönetimi (Production/Operations Management)
PT	:Parametre Tasarım
QFD	:Kalite Fonksiyonu Yayılımı (Quality Function Deployment)
SDOE	:İstatistiksel Deney Tasarımı (Statistical Design of Experiment)
SEY	:Sonlu Elemanlar Yöntemi
SLP	:Sıralı Doğrusal Programlama (Sequential Linear Programming)
SN	:Sinyal/Gürültü Oranı (Signal Noise)
SPC	:İstatistiksel Proses Kontrolü (Statistical Process Control)

SQP	:Sıralı Kuadratik Programlama (Sequential Quadratic Programming)
STB	:Daha Küçük Daha İyi (Smaller-the-Better)
SZMs	:Yapı Bölge Modelleri (Structural Zone Models)
TiAlCN	:Titanyum Alüminyum Karbon Nitrid
TiCN	:Titanyum Nitrid
TKY	:Toplam Kalite Yönetimi
TNQL	:Normalleştirilen Toplam Kalite Kaybı (Total Normallized Quality Loss)
TKK	:Toplam Kalite Kontrol
TY	:Taguchi Yöntemleri
ÜKL	:Üst Kontrol Limiti
VLSI	:Çok Büyük Ölçekli Entegre Devre
YYY	:Yanıt Yüzeyi Yöntemi (RSM: Response Surface Methodolgy)

GİRİŞ

Günümüzde artan küresel rekabet sonucu, müşteriye daha çok çeşit ürünü, daha kaliteli ve daha düşük maliyetle üretmeye zorlaması, gerek gelişen teknolojik yenilenme ve gerekse müşterilerin artan bilinci, kalite geliştirme çalışmalarını gündemin en önemli konularından biri haline getirmiştir. Artık kalitenin sadece üretim aşamasında sağlanması dönemi sona ermiş; kalite, ürünün ve prosesin tasarımı aşamalarında ele alınması ve etkin bir şekilde sağlanması zorunlu hale getirmiştir.

Bu amaçla geliştirilen önemli yaklaşımlarda biri de Taguchi Yöntemi(TY)dir. TY, deney tasarımına dayanmakta; ancak uzun yıllar yapılan çalışmalar sonunda çok daha az deneyle ve en az klasik deney tasarımı kadar iyi sonuç veren deney dizileri geliştirilmiş ve deneysel tasarımın üretim sektörünce kabul görmesi sağlanmıştır. Klasik deney tasarımının aksine Taguchi yönteminde faktör ve seviyelerinin teker teker değiştirilmesi yerine bunlar eşzamanlı olarak değiştirilerek (ortogonal diziler ile) deneyler gerçekleştirilmektedir. Bu da yapılması gereken deney sayısını önemli derecede azaltmakta ve deneysel çalışmayı pratik hale getirmektedir. Sonuçta kalite artarken maliyetlerde de önemli bir düşüş sağlanmakta ve rekabette bir avantaj elde edilmektedir.

Bu çalışmada, çok yanıtlı bir problemin eniyilenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için geniş uygulama alanına sahip olan TY'inden yararlanarak, istenilen ürün kalitesi için eniyi üretim koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulama Takosan A.Ş.'de yapılmıştır. Problem olarak, far kumanda kolu şapkasının (FKKŞ) ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerinin istenilen değerlerde çıkmaması olarak ele alınmıştır.

Ürün ve prosesteki varyasyonlara karşı kontrol edilebilen faktörlerin eniyi değerleri belirlenerek, sözkonusu varyasyonlar enaza düşürülmeye çalışılmıştır. Ürünün performans karakteristini etkilediği düşünülen onüç kontrol edilebilen faktör belirlenerek L_{27} ortogonal dizisine atanmış ve önemli kontrol edilemeyen faktörlerin olmadığı varsayılarak, deneyler yürütülmüştür. Her deney kombinasyonu için on ürün üretilmiş ve toplam 810 veri analiz edilerek eniyi üretim koşullarını veren faktör/seviye kombinasyonu belirlenmiştir.

Belirlenen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan doğrulama deneyinde yirmi ürün üretilerek, bunlara ait veriler ile başlangıç faktör/seviye kombinasyonuna göre üretilen yirmi ürüne ait veriler analiz edilerek, karşılaştırma ve yorumlar yapılmıştır.

BÖLÜM 1

GENEL KALİTE KAVRAMLARI VE KALİTE GELİŞTİRME TEKNİKLERİ

1.1 KALİTE KAVRAMI

Kalitenin tanımındaki güçlük, kalitenin çok boyutlu bir kavram olmasından kaynaklanmaktadır. Kalite kavramı, uzunca bir süre insanoğlunu uğraştırmış, değişik tanımlar geliştirilmesine yol açmıştır. Kalite, kesin anlamı olan bir özellik olmadığından, 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.[1]

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.[2] Bununla beraber bu tanımlama, birkaç kategoriye ayrılan kalite tanımlarından daha çok kabul görmektedir. Bazı tanımlar kullanıcı tabanlıdır (user-based). Onlar kaliteyi "tanıkların gözüne görünen" olarak tanımlamayı önermektedirler. Pazarlamacılar ve müşteriler bu yaklaşımı beğenirler. Onlar için daha yüksek kalite; daha iyi performans, daha güzel özellikler ve diğer (bazen maliyetli) geliştirmeler demektir. Üretim müdürleri için kalite, üretim-tabanlıdır. Onlara göre kalite, spesifikasyonlara uygunluk ve "ilk seferde doğru yapmak" demektir. Üçüncü bir yaklaşım ise kaliteyi, kesin ve ölçülebilir bir değişken olarak gören ürün-tabanlı tanımdır. Bu yaklaşım, hafif tereyağlı olan bir dondurmayı yüksek kaliteli olarak görür.

Kalite karakteristikleri önce, müşterinin ne istediklerini ortaya koyan pazar araştırmaları ile belirlenir (kalitenin kullanıcı-tabanlı yaklaşımı). Daha sonra bu

---

[1] Üzeyme Doğan, **Kalite Yönetimi ve Kontrolu**, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991, s.2

[2] Jay Heizer, Barry Render, **Production and Operations Management: Strategic and Tactical Decisions**, Prentice-Hall,Inc., New Jersey, 4th ed., 1996, s.78

karakteristikler, spesifik ürün özelliklerine çevrilir (kalitenin ürün-tabanlı yaklaşımı). Ondan sonra da, ürünler kesin olarak spesifikasyonlar içinde üretilmesi sağlanır kalitenin üretim-tabanlı yaklaşımı). Bu adımlardan herhangi birini ihmal eden bir proses, müşteri beklentilerini karşılayan veya aşan bir ürün üretemez.[3]

Genichi Taguchi ise ürün kalitesi için alışılmamış bir tanım yapmaktadır:[4] "Ürünün gerçek fonksiyonları ile neden olduğu kayıplardan başka, ürün sevk edildikten sonra toplumda neden olduğu enaz kayıptır". Taguchi "kayıp" kavramı ile aşağıdaki iki kategoriyi ifade etmektedir:

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

Taguchi, sadece üretim esnasında üreticiye değil, aynı zamanda bir bütün olarak müşteri ve toplum için kaliteyi maliyetle ilişkilendiren *holistik* (bütünün parçaları arasındaki ilişkiye odaklanan) bir kalite bakışı önerir. Taguchi kaliteyi "bir ürünün kalitesi, ürünün sevk edilmesinden sonra toplumda neden olduğu en az kayıp" olarak tanımlar. Bu ekonomik kayıp, yeniden işleme, üretim esnasında kaynakların israfı, garanti maliyetleri, müşteri şikayetleri ve tatminsizliği, hatalı ürünlerde müşteriler tarafından harcanan zaman ve para, sonuç olarak pazar payı kaybı yüzünden meydana gelen kayıplarla ilişkilidir.[5]

Kalitenin çok boyutlu olması değişik tanımlar geliştirilmesi yol açmıştır. David Garvin, kalitenin sekiz boyutunu şu şekilde saptamıştır:[6]

Performans : Ürün veya hizmette bulunan birinci derecede önemli karakteristik.

Diğer unsurlar : Ürün ya da hizmette çekiciliği sağlayan ikinci derecede önemli karakteristikler.

Uygunluk : Spesifikasyonlara, belgelere, standardlara uygunluk.

---

[3] Heizer, Render, a.g.e., s.79

[4] Robert H.Loncher, Joseph E. Matar, **Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design**, 1st ed. Chapman and Hall, USA, 1990, s.12

[5] Resit Unal, Edwin B. Dean, "Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overwiev", **Annual Conference of the Int. Society of Parametric Analysts**, 1991, s.1 (1-9)

[6] Doğan, a.g.e., s.3

Güvenilirlik : Kullanım ömrü içindeki performans sürekliliği.

Dayanıklılık : Kullanılabilir ömrün uzunluğu.

Hizmet görürlük : Sorun ve şikayetlerin kolay çözümlenebilirliği.

Estetik : Duyulara seslenebilme özelliği.

İtibar : Ürünün veya diğer üretim kalemlerinin geçmiş performansı

Genel olarak kalite, "kullanıma veya amaca uygunluk" olarak tanımlandığına göre burada amaç, ürünü kullanacak kişinin gereksinimi ve ödeme olanaklarına göre belirlenmektedir. Kaliteyi oluşturan alt boyutları da dikkate alarak kalite, "tüketici gereksinimlerini olanaklı en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan mühendislik ve üretim karakteristiklerinin bileşimi" olarak tanımlanabilmektedir.[7] Kalite ile ilgili başka tanımlar da yapılmıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:[8]

Kalite; "Bir ürün veya hizmetin kalitesi tüketici gereksinimlerini olanaklı olan en ekonomik düzeyde karşılamayı amaçlayan pazarlama, mühendislik, imalat ve kalitenin devamlı özelliklerinin bileşkesidir".

"Bir ürün veya hizmetin, belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerin toplamıdır".

"Kalite; müşteri ihtiyaçlarının tatmini, operasyon performansının iyileştirilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi amacıyla kullanılan stratejik bir araçtır".

Teknik formasyondaki kişilere göre ise kalite "standardlara uygunluk" ile özdeştir. Tek bir cümle ile açıklamak gerekirse; kalite, istenen özelliklere uygunluktur.[9] Dikkat edilecek olursa, bu ifade iki öğeden oluşmaktadır:

- İstenen özellikler,
- Bu özelliklere uygunluk.

---

[7] Bülent Kobu, **Endüstriyel Kalite Kontrolu**, İkinci Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3425, İstanbul, 1987, s.11

[8] Besim Akın, **ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol – İPK – Teknikleri**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1996, s.1

[9] İbrahim Kavrakoğlu, **Kalite: Kalite Güvencesi ve ISO 9000**, KalDer Yayınları,Rekabetçi Yönetim Dizisi No.1, İstanbul, 2.Basım, 1996, s.10-13

Bir ürün ya da hizmetin istenen özelliklere sahip olması tasarım kalitesi ile ilgilidir. Uygunluk kalitesi ise, müşteriye sunulan ürünün belirlenmiş olan tasarıma ne kadar uyduğu ile ilgilidir. Bir ürün belirli kalite özelliklerine göre önce tasarlanmakta ve sonra da üretilmektedir.[10]

Bir ülkenin ekonomik yapısını oluşturan çeşitli faktörlerden en önemlisi üretimdir. Üretimde verimlilik ve kalitenin, ekonomik yapının oluşmasında çok önemli bir konumu vardır.

Günümüz anlayışında kalite, kontrol edilmesi gereken bir özellik değil, üretilmesi gereken bir özellik olarak ele alınmaktadır. En genel şekliyle kalite, ilgilenilen karakteristiklerin hedef değer civarındaki değişmezliği veya kullanım amacına uygunluk olarak da tanımlanabilir. Kaliteyi belirleyen öğeler ise tasarım kalitesi, üretim kalitesi ve kullanışta bekleneni verme kalitesi olmak üzere üç grupta incelenmektedir.[11] Kalite sağlamak, işletmedeki herkesin görevidir. Takım çalışması ve bilimsel yöntemlerin kullanımını gerektirir.[12]

Bugün uygulanmak istenen kalite kontrol anlayışında temel düşünce tarzı sıfır hataya yönelmektir. Üretim prosesinde kusurlu ve kalitesiz parçalar "*geçmez*" yerine, başlangıçta kusursuz ve kaliteli mal üretimine yönelmektedir.

Mal veya hizmet üreten kuruluş açısından iki farklı durum söz konusu olabilir. Bunlardan biri, tasarım özelliklerinin üretici kuruluşun inisiyatifi dışında oluştuğu durumdur. Örneğin, ürün özellikleri müşteri tarafından belirlenebilir, ya da sanayi sektöründe geçerli olan standardlara uygunluk gerekebilir.

Kimi ürünlerde ise tasarımın özelliklerini üretici kuruluşlar belirler. Nihai tüketime dönük üretim yapan tekstil, elektronik, dayanıklı tüketim malları, vb ürünlerde tasarım büyük önem taşımakta ve bu gibi durumlarda kalitenin her iki bileşeni birleşip, müşteri açısından algılanan tek kalite boyutuna dönüşmektedir.

---

[10] Akın, a.g.e., s.2

[11] Cafer Çelik, Nimetullah Burnak, "Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, Cilt.5, sayı.5, 9-17, 1994, s.9

[12] George E.P.Box, Soren Bisgaard, "The Scientific Context of Quality Improvement", **Quality Progress**, June 1987, 54-61, s.54

Nitekim, yukarıda ifade edildiği gibi, ünlü kalite üstadı Dr. Juran kaliteyi "Kullanıma uygunluk" olarak tanımlamıştır. Yani hem tasarım müşterinin gereksinimini karşılayacak özellikte olmalı, hem de ürün tasarıma uygun şekilde üretilip müşteriye teslim edilmelidir.

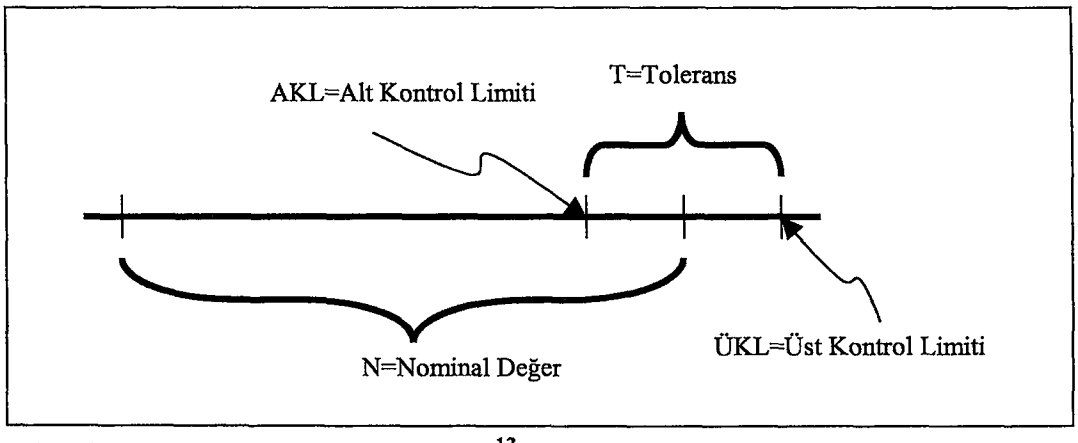
Kalitenin her iki boyutu da aynı nitelikte değildir. "Tasarım" boyutu büyük ölçüde zevke, gereksinime ya da tercihe bağlıdır. Buna karşılık "Uygunluk kalitesi" ölçülebilir bir karakteristiktir. Örneğin, müşteriye sunulan ürünün belirlenmiş olan özelliklere ne ölçüde uyduğu bilimsel olarak tespit edilebilir. Nitekim kalite çalışmaları büyük ölçüde uygunluk kalitesi ile ilgili olmuştur.

Uygunluk kalitesini değerlendirmede iki gösterge söz konusudur:

- Nominal değer,
- Tolerans.

Nominal değer, hedeflenen değerdir. Örneğin, bir cıvatanın belirlenmiş olan boyutları nominal değerleridir. Tolerans ise, nominal değerden ne kadar sapılabilirliğini ortaya koyan bir değerdir.

Şekil 1.1'de nominal değer ile tolerans arasındaki ilişki görülüyor. Kabul edilebilen en küçük değer Alt Kontrol Limiti, en yüksek değer de Üst Kontrol Limiti'dir.



Şekil 1.1: Nominal Değer ve Tolerans[13]

Kaoru Ishikawa, Toplam Kalite Kontrol adlı eserinde tasarım ve uygunluk kalitesi için şunları yazmaktadır:[14]

---

[13] Kavrakoğlu, (1996), a.g.e., s.13

"Tasarım kalitesi genellikle hedeflendirilmiş kalite olarak adlandırılır. Bir sanayi, bir ürünü belli bir kalite düzeyiyle –yani hedeflenmiş kaliteyle- yaratmak ister. Üretici ömrü 900 ile 1100 saat arasında, ya da ömrü 2000 ila 2500 arasında olan bir ampulü hedefleyebilir. Genellikle tasarım kalitesi yükseltilmek istendiğinde, maliyet de yükselir.

Uygunluk kalitesi aynı zamanda uygun kalite olarak da adlandırılır; çünkü gerçek ürünlerin, tasarım kalitesine ne kadar uyduğunun bir göstergesidir. Eğer tasarım kalitesi ile uygunluk kalitesi arasında bir farklılık varsa, bu hatalıların ve yeniden işlemelerin var olması demektir. Uygunluk kalitesi yükseldiği zaman maliyet düşer.

Kalite kavramı, sadece "gereksinimlere uygunluk" olarak algılanmamalı, bunun ötesine geçmelidir ve daha geniş bir alanı kapsamalıdır. Bir işletmenin amacı, müşterilerin memnun edilmesi olmalıdır. Bu amacın genişletilmesi hali ise, müşterilerin tatmin edilmesinin ötesinde, heyecan verici ve rakip ürünlerden farklı ürünler ortaya koyan bir kalite yaklaşımını içermelidir.[15]

Tasarım kalitesi yükseltildiğinde, maliyetinde ona bağlı olarak yükseleceği de doğrudur. Bununla birlikte, uygunluk kalitesi geliştiği zaman hatalı, yeniden işleme ve ayarlama durumlarının ortaya çıkması ve bu da maliyet azalması ve verimlilik artışıyla sonuçlanır. Bundan başka, eğer tasarım kalitesi tüketici isteklerine uyarsa, satışlar yükselerek, ölçekten yararlanmaya yol açacaktır. Bu da ölçekli ve verimli duruma götürecek ve maliyet daha da düşecektir. Japon ürünleri dünya piyasasında yüksek derecede rekabet edebilir hale gelmiştir. Bu başarı, tasarım ve uygunluk kalitelerinin çarpıcı etkilerinin bir sonucudur.

Uluslararası rekabette kazanmak için, Japonya tasarım kalitesini sürekli olarak yükseltmiştir. Ayrıca etkili bir şekilde proses kontrol uygulayarak uygunluk kalitesini de yükseltmiştir. Hatalı ve yeniden işleme durumlarının azalması ve hatta ortadan kalkması, bir maliyet düşüşüyle sonuçlanarak, Japonya'nın hedeflenen

---

[14] Kaoru Ishikawa, **Toplam Kalite Kontrol**, KalDer Yayınları, No.7, İstanbul, 1995, s.56

[15] Roland G.Day, **Kalite Fonksiyonu Yayılımı: Bir Şirketin Müşterileri ile Bütünleştirilmesi**, Çev.Marshall Boya ve Vernik San. AŞ, İstanbul, 1998, s.12

kalitesi tüketicilerin beğenisiyle birleşmiş ve ürünleri çok iyi satılmıştır. Sonuç bir maliyet azalmasıdır ve kaliteli ürünler ucuz bir şekilde üretilebilmektedir.

Düşük maliyette kaliteli ürünün üretilmesi ve verimliliğin arttırılması prosesin öğrenilmesi ile başarılır. Shewhart bunu şu şekilde ifade eder: Üç adım (spesifikasyon, üretim ve kalite yargısı) elde edilen bilginin dinamik bilimsel prosesini meydana getirir. Her proses kendisini geliştirmek için kullanılacak bilgi üretir. Bunu, proses makine olduğu zaman görmek olanaklıdır. Her iş bir prosese sahiptir ve her proses kendisini geliştirmek için kullanılacak bilgiyi üretir.[16]

1.2 KALİTE KONTROL SİSTEMİ

İşletmenin kalite amacının en iyi şekilde gerçekleştirilmesi için, konu işletme bünyesinde bir bütün olarak ele alınıp yürütülmelidir. Ancak bu şekilde amacın en ekonomik düzeyde karşılanması olanaklıdır. Bu açıdan kalite sağlama çalışmalarına işletme çapında yaklaşılmakta, işletme sisteminin bir alt sistemini oluşturan kalite sisteminin kurulması zorunlu olmaktadır .[17]

Japon Endüstriyel Standardları (JIS), Kalite Kontrolü (KK) kavramını şöyle tanımlar:[18] "Tüketici gereksinimlerini karşılayan kaliteli mal veya hizmetleri ekonomik olarak üreten bir üretim yöntemleri sistemi. Modern kalite kontrol, istatistiksel yöntemlerden yararlanır ve genellikle istatistiksel kalite kontrol olarak adlandırılır."

Kaoru Ishikawa ise kalite kontrolü şöyle tanımlamaktadır:[19]

"Kalite kontrol yapmak; en ekonomik, en kullanışlı, ve tüketiciyi her zaman memnun eden kaliteli bir ürünü geliştirmek, tasarlamak, üretmek ve bakımını yapmak demektir."

Kalite Kontrol sisteminde tüketici istekleri, işletme politikaları ve teknolojik olanaklar girdiyi; ürün tasarımı, üretim işlemleri, proses kontrol ve muayene

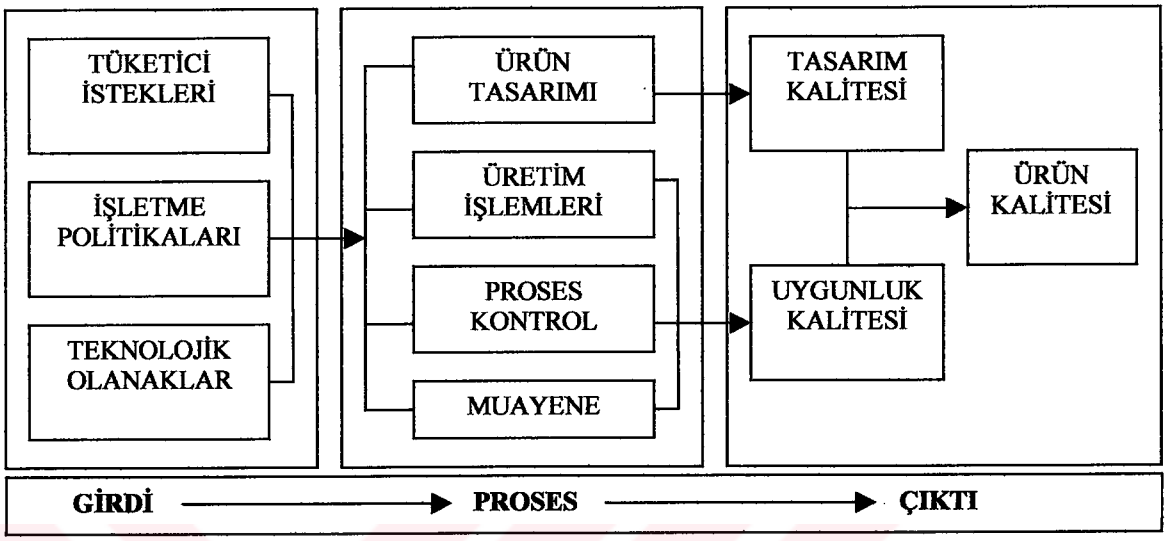
---

[16]Box, Bisgaard, a.ge., s.55

[17] Doğan, a.g.e., s.11

[18] Ishikawa, a.g.e., s.46

dönüşüm prosesini; tasarım ve uygunluk kalitesinden oluşan ürün kalitesi de çıktıyı oluşturur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Kalite Kontrol Sistemi [20]

Kalite Kontrol sistemi, belirli bir ürünün istenilen kalite düzeyine en ekonomik şekilde ulaşılması amacına yönelik teknik ve yönetsel faaliyetlerden oluştuğuna göre bu amacına ulaşılabilmek için kalitenin önce planlanması, sonra kontrol altına alınması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu aşama modern kalite sisteminin faaliyetlerini ortaya koymaktadır.[21]

Kalite Planlama: Ürün kalitesinin ne olacağının saptanmasına ilişkin kararları kapsamaktadır. Stratejik Planlama (Politikalar) ve Taktik Planlama (Standardlar ve spesifikasyonlar) çalışmalarından oluşmakta; tüketici istek ve gereksinimleri ve pazar ile etkileşim içindedir.

Kalite Kontrol: Planlanan kalitenin üretim sırasında kontrol altına alınmasını sağlayıcı kararları kapsamaktadır. İmalat sırasında uygulanacak muayene, deney ve istatistiksel teknikleri içeren "kontrol" ile bunların sonuçlarına göre karar almaya yardımcı bilgileri üreten, kritik kalite problemlerini teşhis eden, çözümüne destek olan "bilişim" bölümlerinden oluşmakta ve üretimle etkileşim içinde bulunmaktadır.

---

[19] A.e.

[20] Kobu, a.g.e., s.29

[21] Doğan, a.g.e., s.11

Kalite Geliştirme: Kalite geliştirmenin amacı, işletmedeki mevcut durumu esas alarak, bir yandan maliyetleri düşürmek, diğer yandan da kalite ve verimliliği arttırmak için kararlar üretmek ve bunların gerçekleşmesini sağlamaktır. İşletmedeki mevcut olanakların daha iyi kullanılmasını sağlamak için "eniyileme" ve mevcut olanakların geliştirilmesi veya değiştirilmesi suretiyle kalite düzeyinde gelişme sağlayan "teknolojik gelişme" sistemlerinden oluşmaktadır.

1. 3 TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

Başta Japon kuruluşları olmak üzere birçok Dünya kuruluşunun başarılarında temel faktör olan Toplam Kalite Yönetimi (TKY), günümüzde en genel haliyle, *bir kuruluştaki tüm faaliyetlerin sürekli olarak iyileştirilmesi ve organizasyondaki tüm çalışanların kesin aktif katılımıyla çalışanlar, müşteriler ve toplum memnun edilerek karlılığa ulaşılması* olarak ifade edilmektedir.[22]

Bu tanıma çok benzer bir tanımı da Ichiro Miyauchi yapmaktadır. Ichiro Miyauchi kitabında TKY'yi "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 yaklaşımı" olarak tanımlamaktadır.[23]

Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi Toplam Kalite Anlayışı'nda, klasik yaklaşımdan farklı olarak çalışanlar ve yöneticilerden beklenen rolde önemli bir değişim yaşanmaktadır. Yeni anlayışta, sorumluluklarını eksiksiz olarak yerine getiren ancak bunun yanında yaptığı işin daha verimli yapılması, iş süreçlerinin geliştirilmesi konusunda sürekli düşünen ve belirlenmiş çeşitli sistematik katılım yöntemleri ile bu düşüncelerini ve becerilerini sisteme katan yeni bir çalışan davranışı sergilenmesi gerekirken, yöneticilerin de çalışanları teşvik edici, katılımı sağlayıcı, inisiyatif kullanmayı, sorumluluk almayı ve yenilikler yaratmayı teşvik eden bir insan kaynakları planlama sistemi kurması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir.

---

[22] "Toplam Kalite Yönetimi", <http://www.kalder.org/egitim.htm>, 04.06.2002

[23] Ichiro Miyauchi, **Japonya'da Kalite Yönetimi**, Çev. Salim Atay, MESS Yayın No.301, İstanbul, 1999, s.12

Diğer bir tanımla, TKY, *müşterilerin ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayan bir yaklaşım olduğu kadar maliyetleri de düşüren bir yönetim tarzı*dır. Başka bir anlatımla, Toplam Kalite, hataları önlemeyi hedefler; böylece bir taraftan müşteri hatasız ürünlere sahip olurken, diğer taraftan da üretici kuruluşun (hatalı üretimden kaynaklanan) maliyetleri düşer.[24]

Kalite kavramı salt "standardlara uyum" değil, aynı zamanda tasarım kalitesinde de sürekli bir gelişme arayışıdır. Bir taraftan hataların yok edilmesi hedeflenirken, diğer taraftan da üstün özelliklerin geliştirilmesi amaçlanır. Bu kapsamda bir faaliyetin birkaç basit düzenleme veya organizasyonla gerçekleştirilmesinin olanaklı olmadığı da yeterince açıktır.

TKY kavramı II.Dünya Savaşı sonrasında ABD kalite guruları Dr.W.E. Deming ve Dr.J.Juran'ın verdiği derslerle ortaya çıkmıştır. Ardından Japon endüstrisinde 140 dolayında işletmenin genel müdürü bu kavramı benimseyip eksiksiz şekilde ve aslına bağlı kalarak uygulamışlardır. Bu genel müdürler her iki gurunun 1950'lerde Japonya'da işletmelerin varlığını sürdürmesi konusunda verdiği seminerlere bizzat katılmışlardır.[25]

Toplam Kalite'nin bilinçli ve sistematik bir biçimde sağlanabilmesi için iki temel öğe vardır:[26]

1. Bilimsel ve objektif analizlerle hatalara neden olan faktörlerin bulunması ve ayıklanması,
2. Bu hataların meydana gelmesine neden olan "sistem"i geliştirmeye dönük bir yönetim anlayışı.

Üretilen her ürün veya ürünü oluşturan parçaların ölçü ile ifade edilen özellikleri her zaman belirli bir değişkenlik gösterir. Japon kalite devriminin mimarı Dr. E.Deming'e göre, tüm kötülüklerin temelinde "değişkenlik" yatmakta ve bu değişkenliğin %2'si özel nedenlerden, %98'i de sistemden kaynaklanmaktadır.[27]

---

[24] İbrahim Kavrakoğlu, **Toplam Kalite Yönetimi**, KalDer Yayınları, No.2, İstanbul, 1994, s.53

[25] Ichiro Miyauchi, a.g.e., s.41

[26] Kavrakoğlu, (1994), a.g.e., s.53

[27] Çelik, Burnak, (1994), a.g.e., s.9

Kalitesizliğin ya da müşteri memnuniyetsizliğinin temelinde sözü edilen bu değişkenlik yatmaktadır. Bu nedenle kaynağına bakılmaksızın söz konusu değişkenlik, ne pahasına olursa olsun önlenmelidir.[28]

Toplam Kalite Yönetimi (TKY)'nin gelişmesine büyük katkıları olan diğer bir uzman Dr.G.Taguchi ise kalitenim "üretim" aşamasından çok "tasarım" aşamasında sağlanabileceğini göstermiştir. Özellikle "istatistiksel deney tasarımı" yöntemini yaygın biçimde kullanarak, ürünlerin kalitesini yükseltirken, üretim maliyetlerinin de düşeceğini kanıtlamıştır.

Kalite programlarının başarılı olabilmesi için herkesin katılımının sağlanması esastır. En alt kademeden en tepedeki yöneticiye, malı satandan üretimi yapana kadar herkes hataları önlemeye ve değişkenlikleri azaltmaya çalışmalıdır. TKY entegre bir sistemdir. Pazar araştırması ile başlar, son ürünün müşteri tarafından kullanımı ile son bulur.[29]

Hayatın tüm alanlarını kapsayan bu küresel rekabet ortamında, TKY, ekonomik ve sosyal kurum ve kuruluşlar için bir "var olma tarzı", bir yaşam biçimi, başarısını kanıtlamış güçlü bir alternatif olarak her geçen daha geniş kesimlerce benimsenmektedir.[30]

TKY, kalite ve maliyet üstünlüğünün yanı sıra hızda da üstünlük sağlayan bir yönetim modelidir. Bunun nasıl gerçekleştiğini anlamak için yine klasik yönetim modeli ile bir karşılaştırma yapmak gerekir. Şekil 1.3'deki zincirleme prosesi göz önüne alınırsa, klasik işletmenin kaliteyi geliştirme yönteminin "reaktif" bir mantığa dayalı olduğu görülür. Müşteri şikayetlerinin yeni ve/veya geliştirilmiş bir kaliteye dönüşmesi bu yönetim modelinde aylara, hatta bazen yıllara yayılmaktadır.

Verim ve proseste iyileştirme için her adımdaki anahtar önem, reaktif yaklaşımdan proaktif yaklaşıma geçiştir. Geleneksel reaktif yaklaşımı, halihazırda mevcut olan problemleri ortaya çıkarmak ve düzeltmek ile ilgilidir. O geçmişte uygulanan bir yaklaşımdır ve daima geçmiş olaylara odaklanır ve muayene tabanlı

---

[28] Kavrakoğlu,(1994), a.g.e., s.55-56

[29] A.e., s.60

bir felsefe olarak kendini ortaya koyar. Bu felsefede kalite, yüksek yeniden işleme maliyetleri ile ürünlerde muayene edilir. Bu yaklaşımda, işletme daima teslimatta baskı altında olduğundan dolayı genellikle problemlerle mücadele edildiğinden, reddedilen ürünlerin veya yeniden işlemenin nedenini anlamak ve çözmek için çaba gösterilmez. Bu senaryoyu kesip atmak çok zor olabilir.[31]



Şekil 1.3 Kalite Geliştirme (Eski Yaklaşım)[32]

TK modelinde ise esas "ilk defada doğruyu yapmak"tır. Bu nedenle, müşterinin beklediği (hatta beklentisinin ötesindeki) kalite tasarım aşamasında gerçekleştirilir. Bu kaliteyi tutturmak olanaklı olsa da olmasa da, TKY –şikayetleri beklemeden- yeni ve gelişmiş kalite arayışlarını sürdürür. Reaktif değil, proaktiftir. Kalite geliştirme süreci ile ürünü oluşturma ve müşteriye sunma süreci ters yönde değil, aynı yöndedir (Şekil 1.4).[33]

Proaktif yaklaşım ölçüm, analiz, öngörü ve önleme üzerinde önemle durur. Ürünün ömür döngüsünde, daha sonra görünen hata ve kusurların ortaya çıkışını engellemek için özellikle tasarım aşamasında, daha büyük önem gerektirir. Buna göre kalite, muayene edilmekten çok ürün ve proseslerin içine tasarlanmalıdır. Bu amacı başarmak için önemli ve iyi tanınan bir araç Taguchi Yöntemi'dir. Taguchi Yaklaşımı, ürün ve proses performansındaki değişikliği en küçüklemeyi amaçlar, böylece ürün ve proseslerin sürekli kalite iyileştirmesini başarır.[34]

---

[30] Hazım Kantarcı, **Toplam Kalite Yönetimi**, Marmara Üniversitesi Yayını,1999, s.1

[31] Hefin Rowlands, Jiju Antony, Graeme Knoles, "An Application of Experimental Design for Process Optimization",**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000, s.78-83

[32] Kavrakoğlu, (1994), a.g.e., s.30

[33] A.e., s.31



Pazar	Pazar Araştırması	Tasarım	Mühendislik	Üretim	Muayene	Satış	Müşteri
	Müşteri ihtiyaçlarının sistematik biçimde belirlenerek teknik özelliklere dönüştürülmesi (QFD)	Üretimde sorun çıkarmayacak ürünleri tasarlamak (Robust Tasarım)	Hata kaynaklarını önceden belirleyip gidermek (FMEA)	Sürekli denetimle hatalı üretimi önlemek (SPC)		>Yüksek Kalite >Düşük fiyat >Zamanında ve kısa sürede teslim (K-T-M)	

Şekil 1.4 Kalite Geliştirme (TKY)[35]

Prosesler aynı yönde geliştiğinden birbirlerini besler ve güçlendirirler. Klasik yönetimde ise şikayetler kaynağa doğru ilerlerken, farklı fonksiyonların birbirleri ile çatışması ve zaman kaybedilmesi söz konusudur (Şekil 1.3). Bütün bu nedenlerden dolayı, toplam kalite yönetimi, klasik yönetime göre hız üstünlüğüne de sahiptir.

TKY'nde kalite, standardlara uyumun ötesinde bir kavramdır. Ürün ve hizmet kalitesinin yanı sıra yönetimin, çalışanların, ilişkilerin, davranışların, özetle iyileştirilebilecek tüm işlerin niteliğini kapsamaktadır. TKY'nin başarılı olabilmesi için başta üst yönetim olmak üzere kuruluşun her kademesinde köklü bir değişime gereksinim vardır. Sistemin başlatılması ve uygulanmasında özellikle üst yönetimin, aktif ve görünür bir rol üstlenmesi, sezgi ve hislerine göre değil, verilere, ölçümlere, hedeflere ve kıyaslamalara dayalı bir yönetim şeklini benimsemesi son derece önemlidir.[36]

TKY'nin nihai hedefi, herkesin yaptığı işi sürekli iyileştirmeye çalıştığı, ürettiği mal ve hizmetleri kullananları mutlu etmeyi amaçladığı, performansların evrensel ölçütlere göre değerlendirildiği, sürekli öğrenmeyi ve başarmayı ilke edinen bir topluluk yaratmaktır.[37]

TKY'nin evrensel çerçevesi, bu hedefi gerçekleştirmek üzere öngörülen ve esas olarak, faaliyetin kaynağı ya da muhatabı olan herkesin –tüm paydaşların-

---

[34] Rowlands, Antony, Knoles, a.g.e., s.78-83

[35] Kavrakoğlu, (1994), a.g.e., s. 31

[36] Kantarcı, a.g.e., s.2

[37] A.e., s.3

üretim ve yönetim proseslerine katkısını sağlama, sürekli iyileştirme, sağlıklı iletişim, verilere dayalı konuşma, hataların tekrarını önleme, neden-sonuç mantığı içerisinde çözüm üretme; kaynakları, iş proseslerini ve sonuçlarını sürekli gözden geçirme, örnek kuruluşlarla kıyaslama ve öğrenmeye dayalı, insan odaklı bir ilkeler bütünüdür.

TKY yaklaşımının hayata geçirilebilmesi için öncelikle bilimsel temellerinin, uygulama koşullarının bilinmesi ve olası sonuçlarının öngörülmesi elbette gereklidir. Ancak bu "öğrenme ve bilgilenme" prosesinde gereksiz bir abartıya düşüldüğü ve TKY'nin can damarı olan uygulamanın hayati önemi gözden kaçırıldığı takdirde, teorik bilgilenme ve yoğun kalite tartışmaları aksiyona dönüşemeyecek ve işlerin pek çoğu yine kaliteden uzak yürümeye devam edecektir.[38]

1.3.1 Toplam Kalite Yönetimi'nin Temel Özellikleri

TKY'nin özellikleri kısaca aşağıda açıklanmaktadır:[39]

- **Müşteri Odaklılık**

Günümüzde yönetim anlayışı devrim niteliğinde sayılabilecek önemli bir değişim yaşıyor. Klasik Yönetim Anlayışı'nda tepe yönetimin görüş ve düşünceleri doğrultusunda tepeden aşağıya doğru inen hiyerarşik yapı içinde kuruluşlar yönetilmekte, astlar amirlerinden aldıkları talimatlara göre işlerini görmektedirler. Doğal olarak burada amaç amirlerin memnun edilmesidir.

Halbuki yeni anlayışta amaç; müşteri talepleri doğrultusunda kuruluşun tüm birimlerinin yönlendirilmesi, desteklenmesi ve müşteri beklentilerini karşılayarak müşteri tatminine ulaşılması, hatta beklentilerin de ötesine geçip tam olarak müşteri memnuniyetinin sağlanmasıdır. Kısacası müşteri artık "Kral"dır, ve tüm organizasyonlar artık *müşteri odaklı* hale gelmek zorundadır.

- **Tedarikçilerle İşbirliği**

Tedarikçilerle güvene dayalı bir işbirliği içinde, rekabet gücünü artıracak girdileri en kaliteli, en ekonomik ve en hızlı şekilde temin etmek amaç olmalıdır.

---

[38] A.e.

[39] "Toplam Kalite Yönetimi", <http://www.kalder.org/egitim.htm>, 04.06.2002

➢ **Çalışanların Geliştirilmesi ve Katılımı**

Çalışanların potansiyeli, "kuruluşun değerleri" ve "güven ve yetkilendirmeye dayalı kurum kültürü" ile ortaya çıkarılır. "Bir işi, en iyi, o işi yapan bilir" temel prensibini esas alan bu anlayışta iş proseslerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde bizzat o işi yapan personelin katılımı çok önemlidir. Katılım ve iletişimi yaygın hale getirebilmek amacıyla öğrenme ve beceri geliştirmeye yönelik olanaklar seferber edilmelidir.

➢ **Prosesler ve Verilerle Yönetim**

Bütün faaliyetler sistematik olarak proseslerle yönetilmektedir. Prosesler anlaşılmış ve sahipleri belirlenmiş olmalıdır. Önlemeye yönelik iyileştirme faaliyetleri ile ölçüm ve istatistik tüm çalışanların günlük yaşamına entegre olmalıdır. Yönetim sisteminin temelini veriler, ölçüm ve bilgi sistemi oluşturmaktadır.

➢ **Sürekli Gelişme ve Yaratıcılık**

Günümüzde en yüksek rekabet gücüne sahip kuruluşlarda kalite yönetiminin temeli "sürekli gelişme"ye dayalıdır. Hedef belli bir standardı tutturmak değil, seviyeyi, hedeflenen seviyeye ne olursa olsun, sürekli ve hızlı bir tempoda geliştirmektir. Orijinal fikirler ve yaratıcılık özendirilmeli ve desteklenmelidir.

➢ **Liderlik ve Amacın Tutarlılığı**

Kurum kültürünü liderler geliştirmektedir. Her düzeyde yönetim fonksiyonunda liderlik davranışları sergilenmektedir. Şirketin politika ve stratejileri sistematik ve yapısal araçlarla bütün organizasyonda yaygınlaştırılmalı ve tüm faaliyetlerle uyum sağlamalıdır.

Sürekli başarının sağlanması paydaşların tatminine ve çıkarların dengelenmesine bağlıdır. Bu paydaşlar kuruluştan menfaat sağlayan müşteriler, tedarikçiler ve ortakların yanı sıra toplumu da kapsar. Kuruluş ve çalışanları topluma karşı, düzenleyici ve yasal gereklerin de ötesine geçecek örnek bir sorumluluk bilinci ve iyi bir ahlaki yaklaşım sergilemelidirler.[40]

---

[40] "Toplam Kalite Yönetimi", <http://www.kalder.org/egitim.htm>, 04.06.2002

1.3.2 Toplam Kalite Yönetimi'nde Taguchi Yöntemleri'nin Rolü

Kalitenin birçok tanımı vardır; fakat Dr.Taguchi tarafından önerilen kalitenin tanımı, ürün/prosesin hedef performansına yönelik çalışmaya nazaran daha çok ilişkilidir. Gerçekten hedef performansına yaklaşarak çalışmak, sürekli iyileştirme düşüncesini yansıtır. Açıkça belirtilmemesine rağmen Deming'in tanımı müşteri gereksinimlerinin değişebileceğini ima eder. Bu, gelecekte yeni müşteriler edinmek amacıyla da kalitenin dinamik bir tanımını önerir. Kalite sabit (still) kalmaz; bunun için müşterilerin sürekli değişen gereksinimlerini karşılamak için kaliteyle ilgili fikir ve görüşlerin uyarlanması için hazırlıklı olunmalıdır. Bu düşünce, sürekli iyileştirme yaklaşımı ile uyuşmaktadır.[41]

Toplam Kalite Yönetimi'nin özü ve temeli (ethos) sürekli iyileştirmedir. Ürün/proses kalitesini iyileştirmek için, müşteriler açısından en kritik olan kalite karakteristiklerinin ölçülmesi zorunludur. Başka bir deyişle, ölçme yapmadan herhangi bir proses kolayca yönetilemez. Toplam Kalite Yönetimi'nde Taguchi Yöntemleri'nin rolü, son ürün/proses performansını etkileyen kritik kalite karakteristiklerini tanımlamak ve eniyilemektir.[42]

1.4 KALİTE DEĞERİ VE MÜHENDİSLİĞİ

II. Dünya Savaş'ının başında, Japon yapımı ürünlerin kalitesi kötüydü. Fiyatlar düşüktü, eğer olanaksız değilse, satışların tekrarını sağlamak güçtü. Amerikan ve Japon yapımı ürünlerin kaliteleri arasında basit bir karşılaştırma için aşağıdaki örnek ile gösterilebilir: Japon yapımı bir ürünün fiyatı ABD yapım bir benzer ürünün fiyatının yarısı olduğu varsayılsın. Eğer Japon yapımı ürünün kullanımı sırasında müşterinin uğradığı kayıplar ürün fiyatının dokuz katı olsaydı ve eğer ABD yapımı ürünün kullanımı sırasında maruz olduğu kayıplar ABD yapımı ürünün fiyatına eşit olsaydı, o zaman Japon yapımı ürünün sayın alınmasından dolayı müşterinin toplam kaybı, ABD yapımı ürünün satın alınmasından kaynaklanan kaybın 2.5 katı olacaktır.

---

[41] Rowlands, Antony, Knoles, a.g.e., s.78-83

[42] A.e.

Bu aşağıdaki hesaplamalara göre ABD yapımı ürün, kalitede Japon yapımı üründen 2.5 kat daha iyidir.[43]

Tablo 1.1 ABD Yapımı ile Japon Yapımı Ürünün Maliyet Karşılaştırılması[44]

	ABD yapımı ürün	Japon yapımı ürün
Satın alma fiyatı	p	0.5p
Ürün kullanımından dolayı kayıp	p	9(0.5p)
Toplam müşteri kaybı	2p	5p

Kalite ve fiyat arasındaki ödünleşim önemli bir konudur. Ürün kalitesi, onun tolerans tasarımı ile ilgilidir. Kalite ve fiyat arasındaki ödünleşimin önemini daha çok göstermek için bir çok yönetici tarafından kullanılan bir ifade "ürünümüzün kalitesi mükemmeldir, fakat fiyatı çok yüksektir" şeklindedir. Kalite kaybı ve ürün fiyatı arasında bir denge kurulmalıdır. Fiyat, ürünün satın alınmasında müşterinin kaybını gösterir ve kalitesizlik ürünün kullanımı esnasında müşteri için ek bir kaybı gösterir. Kalite mühendisliğinin bir amacı da müşterinin toplam kaybını azaltmak olmalıdır.

Kalite-fiyat ödünleşimi uygulamak için, ürün tasarımı, proses tasarımı ve üretim aşamalarında kalite kaybını öngörmeye gereksinim duyulur. Bir ürün genellikle, birim üretim maliyeti birkaç kez fiyatlandırılır. Bu yüzden, birim üretim maliyeti ödünleşim analizinde çok önemli bir faktör haline gelmektedir. Kalite kaybı ifadesinde paraya ait bir öngörü gereklidir. Bir çok işletme hala hata yüzdesini, kalite seviyesinin bir ölçüsü olarak kullanmaktadırlar. Hatalı ürünler yine de genellikle gönderilmezler. Müşteriye sadece kalite problemlerine maruz kalmayan ürünler gönderilir. Bu nedenle, hatalı ürünlerin gönderilmemesinden kaynaklanan kayıp, bir kalite kaybı değil, bir maliyet olarak düşünülmelidir. Kalite kaybı, ürünün üretilmesinden sonra müşteriye gönderilen ürün maliyetleri, toplum kaybı olarak tanımlanmaktadır.[45]

---

[43] G.Taguchi, E.A.Elsayed, Thomas C.Hsiang, **Quality Engineeringin Production Systems**, New York, McGraw-Hill, 1988, s.1-2

[44] A.e.

[45] A.e., s.2

1.5 GÜNÜMÜZDE KALİTE GELİŞTİRMENİN ÖNEMİ VE GEREKLİLİĞİ

Kaliteli mal ve hizmetler, işletmeler ve ülkeler için stratejik olarak önemlidir. Bir işletmenin ürünlerinin kalitesi, fiyatları ve elde edilebilirliğinin sağlanması, talebi etkileyen başlıca faktörlerdir. Özellikle kalite, bir işletmeyi dört yolla etkiler:[46]

➢ ***Pazar Payı ve Maliyetler***

Şekil 1.5, kalitenin geliştirilmesi ile pazar payı artışı ve maliyet tasarrufu sağlayabileceğini gösterir. İkisi de karlılığı etkileyebilir. Aynı şekilde, kalite standardlarına bağlı kalmak, daha az hatalı ve daha düşük servis maliyetleri demektir. Bir klima üreticilerinin analizi de, kalite ile verimliliğin pozitif ilişkili olduğu gösterilmiştir.[47] O incelemede, en yüksek kaliteli işletmeler, en düşük kaliteli işletmelerin beş katı kadar verimliydi (iş-saati başına üretilen ürün sayısı ile ölçülmüştür). Gerçekten malların ve hizmetlerin %100'ü kusursuz ve hatasız olduğunda, bir işletmenin uzun dönemli maliyetleri birbirine karıştırıldığında ve arttırılmış pazar payı potansiyeli düşünüldüğünde, toplam maliyetler enküçük olabilir.

➢ ***İşletmenin İtibarı***

Bir işletme, onu takip eden itibarını kaliteyle –iyi veya kötü- olanaklı kılabilir. Kalite, işletmenin yeni ürünleri, iş deneyimleri ve tedarikçi ilişkileri ile ilgili anlayışlarını ortaya koyacaktır. Self promosyon, kaliteli ürünün yerine geçmez.

➢ ***Ürün Sorumluluğu***

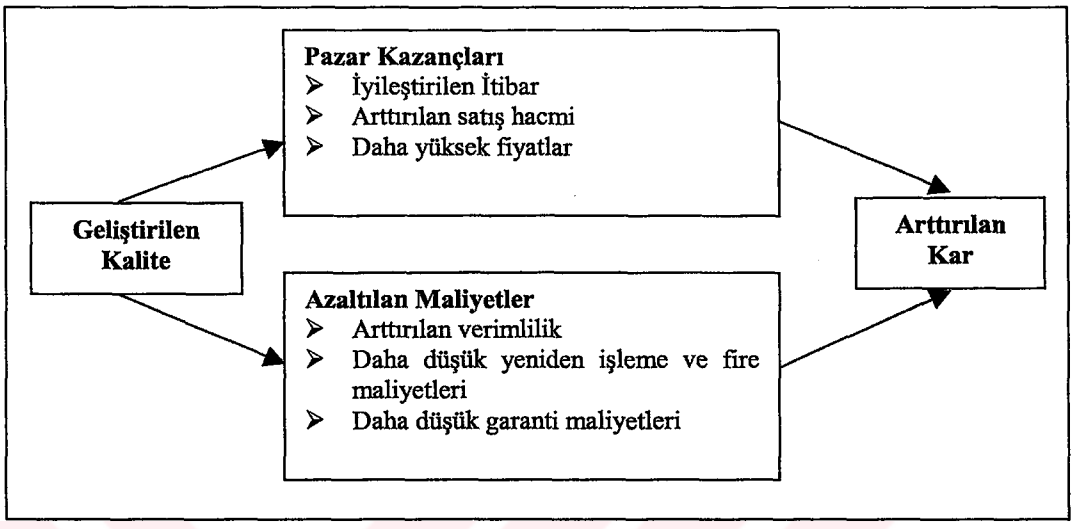
Mahkemeler, tasarımı, üretimi veya dağıtımı yapılan kusurlu ürün veya hizmetlerin kullanımından kaynaklanan tazminat veya hasarlara bağlı olarak işletmeleri artan şekilde sorgulamaktadır. 1972 Müşteri Ürün Güvenlik Kanunu, ürün standardlarını belirlemiş ve uygulamıştır. Bu standardları karşılayamayan ürünler cezalandırılmıştır. Doğum hatalarına kazara neden olan ilaçlar, kansere yol açan izolasyon maddeleri veya çarpışma nedeniyle patlayan otomobil yakıt tankları çok

---

[46] Heizer, Render, a.g.e., s.79

[47] A.e.

büyük kanuni tazminatlara, büyük ceza ve kayıplara ve çok kötü tanıtımlara neden olabilmektedir.



Şekil 1.5 Kalite İki Yolla Verimliliği Geliştirebilir[48].

- ***Uluslararası Kabul Görme***

Bu teknoloji çağda kalite, üretim ve operasyonlar yönetimi kadar uluslar arası bir sorundur. İşletme ve ülke için küresel ekonomide etkili rekabet için ürünler, beklenen küresel kalite ve fiyatı karşılamalıdır. Düşük kaliteli ürünler, işletmenin karlılığına ve ülkenin ödemeler dengesine zarar verir.[49]

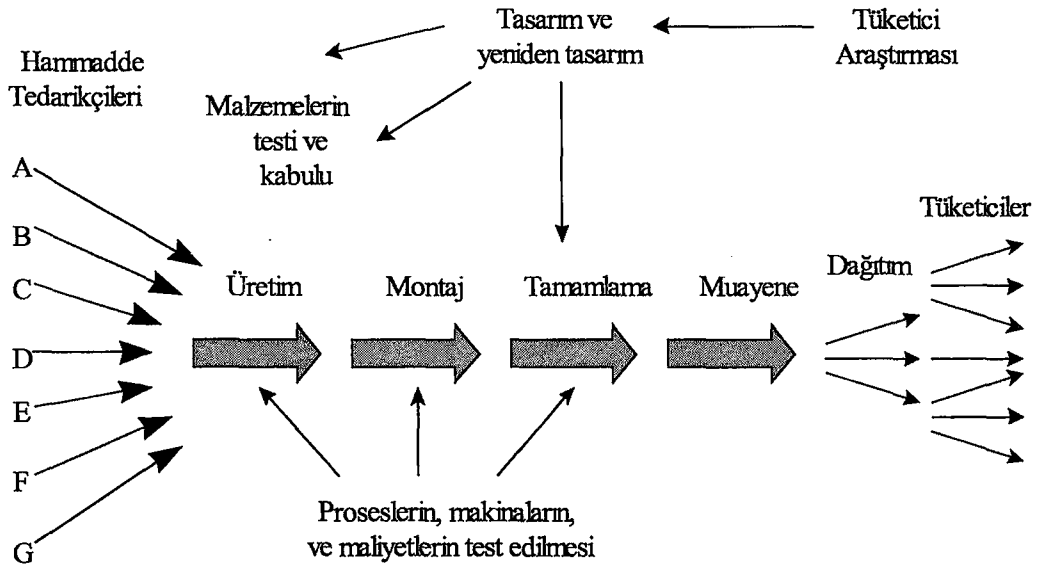
Küresel rekabetin baskıları, işletmelerin, müşterilerinin isteklerini karşılamak, maliyetleri düşürmek ve verimliliği arttırmak için yeni yollar aramalarına neden olmuştur. Kalitenin geliştirilmesi fikri bu amaçların odak noktasında gelişmiştir. Kalitenin sürekli geliştirilmesi işletmelerin mesleki stratejilerinde gerekli ve kaçınılmaz bir unsur haline gelmiştir.[50]

---

[48] A.e.

[49] A.e., s.80

[50] Ronald D.Moen, Thomas W.Nolan, Lloyd P. Provost, **Improving Quality Through Planned Experimentation**, Int.ed., Singapore: McGraw-Hill,1991,s.1



Şekil 1.6 : Deming' in Üretimi Bir Sistem Olarak Görüşü[51]

Kalitenin geliştirilmesi değişime dayanmaktadır. İmai, iki tür değişim tanımlamıştır: *Kademeli* ve *ani değişim*. Kademeli değişimler, küçük iyileştirmelerden herkesi kapsayan sürekli değişimlere kadar sonuçlar doğurmaktadır. Ani değişimler ise yenilik ve/veya buluşlarla ortaya çıkmaktadırlar.[52]

Kalitenin geliştirilmesinde, kavram ve yöntemlerde genel amacın belirlenmesine ve bilgiye gerek duyulur. Böylece geliştirmenin sonuçları değiştirilebilir. Asıl ağır basan hedef her faaliyette sürekli iyileşme sağlanmasıdır. Güncel (mevcut) sonuçların iyi veya kötü olmaları göz önünde bulundurmaksızın gün geçtikçe daha iyiye ulaşmak çok daha önemlidir.

Bir rekabet ekonomisinde, makul bir miktarda kar etmeyen bir iş, uzun süre devam edemez. Kar, satış fiyatı ile birim başına üretim maliyeti arasındaki farkın satılan miktar ile çarpımıdır. Müşteriler iyi bilgilendirildiğinde ve serbest seçme şansı olduğunda, satış fiyatı, rakibin kıyaslanabilir ürünlerinin satış fiyatı ve diğer

[51] A.e., s.3

[52] A.e., s.1

pazar koşulları ile önceden belirlenir. Bu yüzden kar, satılan ürün miktarı (veya pazar payı) ve üretim (pazarlama) maliyeti tarafından tespit edilmektedir.[53]

Pazar payını arttırmanın kesin bir yolu, yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle üreterek, uygun bir fiyatla piyasaya sunmaktır. Müşteriler, yüksek kalite ve düşük fiyatın ikisini birden isterler. Bununla beraber, müşterilerin çoğu, daha kaliteli bir ürün için biraz daha fazla ödemekten çekinmezler. Gerçekte, fiyatı hesaba katmayan kalitenin hiçbir anlamı yoktur. Örneğin, aralarında önemli fiyat farkı nedeniyle bir Mercedes Benz ile bir Chevrolet'nin kalitesini kıyaslamak haksızlık olur. Bir Mercedes Benz'i aynı fiyatla alma olanağı varken bir Chevrolet'yi kim almak ister?

İş hayatında varolmaya ve kalmaya karar vermiş işletmeler, kendi rekabet stratejileri olarak "yüksek kalitede düşük maliyet"i kullanırlar. Bu gibi işletmeler bilirler ki, kalite hiçbir zaman yeteri kadar iyi değildir ve üretim maliyeti de hiçbir zaman yeteri kadar düşük değildir. Ayrıca yeni küresel ekonomide iyi bilgilendirilmiş müşterilerin sürekli artan beklentileri vardır. Bu yüzden, bir serbest girişim sisteminde sürekli olarak, kaliteyi geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek gereklidir.

Bir işletme "önce kalite" ilkesini benimserse uzun vadede karları artacaktır. Eğer bir işletme kısa vadeli kar elde etme amacını güderse uluslararası piyasada rekabet gücünü kaybedecek ve uzun vadede karı azalacaktır.[54]

Önce kaliteye önem veren yönetim, müşteri güvenini yavaş yavaş kazanabilir ve işletmenin satışları giderek artar. Uzun vadede önemli karlar olacak ve işletmenin kalıcı yönetime sahip olmasına olanak verecektir. Eğer bir işletme "önce kar" ilkesini izlerse, çabuk kar elde edebilir; fakat gücünü uzun süre devam ettiremez.

Sürekli kalite geliştirme programı, ürün performans karakteristiklerinin hedef değerleri civarındaki değişimlerde devamlı azalmayı içerir. Bir ürünün kalite karakteristikleri tanımlanamadıkça ve ölçülemedikçe, bu ürünün kalitesi geliştirilemez. Ayrıca sürekli kalite iyileştirme programı, bu kalite karakteristiklerinin ideal değerleri hakkındaki bilgiye bağlıdır. Her kalite

---

[53] Taguchi, Elsayed, Hsiang, a.g.e., s.6

karakteristiği bir değişken varlıktır. Onun değeri, ürünün farklı birimleri için farklı olabilir ve verilen bir birim için zamanla da değişebilir. *Sürekli kalite geliştirme programının amacı, ürünün kalite karakteristiklerinin istenen değerlerden sapmasını azaltmaktır.*[55]

Kalite geliştirme amacıyla kullanılan yöntemler;

- Taguchi yöntemleri gibi tasarım kalitesini geliştirmeye yönelik üretim öncesi
- Kabul örneklemesi ve istatistiksel proses kontrolü gibi üretim kalitesini geliştirmeye yönelik üretim aşaması

yöntemleri olmak üzere iki ayrı aşamada yürütülmektedir. Kalite geliştirmede hedeflenen düzeye ulaşabilmek, sözü edilen bu yöntemlerin dengeli olarak kullanılmasıyla olanaklıdır. Üretim aşaması kalite geliştirme yöntemleri özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği, üretim öncesi kalite geliştirme yöntemleri de sistemden kaynaklanan değişkenliği azaltmaya yönelik olarak uygulanmaktadır.[56]

Hemen hemen bütün ürünler çok sayıda kalite karakteristiklerine sahiptirler. Ancak bütün kalite karakteristiklerini iyileştirmek ne ekonomiktir ne de gereklidir; çünkü bütün kalite karakteristikleri aynı öneme sahip değildir. Başlıca kalite karakteristiklerini iyileştirmek yeterlidir. *Bir ürünün performans karakteristikleri, müşteri isteklerinin karşılanmasında ürün performansını belirleyen öncelikli kalite karakteristikleridir.* Bir televizyondaki resim netliği, performans karakteristiğine bir örnektir. Bir performans karakteristiğinin *ideal değeri, hedef değer* olarak tanımlanır. Yüksek kaliteli bir ürün, bütün farklı şartlar altında ve ürünün kullanım ömrü boyunca sürekli olarak hedef değere yakın çalışır. Hedef değerine yaklaşık bir performans karakteristiğinin varyasyonu (değişimi), performans varyasyonu olarak addedilir. Performans varyasyonunun hedef değerden az bir miktar sapma göstermesi, kalitenin daha iyi olduğu anlamına gelmektedir.

---

[54] Ishikawa, a.g.e., s.106

[55] Taguchi, Elsayed, Hsiang, a.g.e., s. 6

[56] Çelik, Burnak, (1994), a.g.e., s.9

Kalitenin üretim aşamasından çok tasarım aşamasında sağlanabileceği gerçeğinin Taguchi tarafından ortaya atılması bu aşamanın başlangıcı olarak kabul edilebilir[57]. Taguchi, ürün (proses) performans karakteristiklerindeki değişkenliğin kalite kayıplarını arttırdığını belirterek; performans değişkenliği nedenlerini ortadan kaldırmak yerine ürünü (prosesi) bu değişkenlere karşı duyarsız tasarlamanın gerekli olduğunu göstermiştir. Taguchi'nin önerdiği istatistiksel deney tasarımı (statistical design of experiment) veya Taguchi Yöntemleri (Taguchi Methods) olarak anılan ve kalite güvencesine önemli katkıları olan bu yöntemler, üretim öncesi kalite güvence fonksiyonlarını yürütmek için kullanılmaktadır.

Endüstride bilgisayarların kullanılmasıyla birlikte önemli gelişmeler sağlanmıştır. 1970'li yılların sonlarına doğru bilgisayarlı otomatik test düzeni, bilgisayar destekli tasarım (CAD) (computer-aided design), bilgisayar destekli üretim (CAM) (computer-aided manufacturing), bilgisayar destekli proses kontrolü (computer-aided process control), veri toplama, saklama ve analizler yapılmaya başlanmıştır. Yine bu dönemde bilgisayar destekli kalite (computer-aided quality) kavramı ise kalite kontrolda, bütünüyle bilgisayar kullanımını ifade etmektedir.

Ürün tasarım güvencesi, ürün kalitesinde tasarım kalitesinin önemli rolü olduğunu, zayıf tasarımların üretiminin ya olanaklı olmadığını ya da çok pahalı olduğunu ifade eder. Bu da CAD ve CAM'in bütünleştirilmiş şekli olan bilgisayar destekli tasarım ve üretimin (CADM) gerekliliğini vurgulamaktadır.[58]

1.6 KALİTE GELİŞTİRMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Teknoloji geliştirme mühendislerinin çoğu, çeşitli piyasa gereksinimlerini karşılamak için yeni sistemlerin amaç fonksiyonlarını ayarlamak için geleneksel güvenilirlik mühendislik yöntemlerini kullanırlar. Bu yöntemler, hata oranlarını azaltmada marjinal olarak etkilidir. Kaliteyi temelli olarak iyileştirmek için mühendisler yeni ürün veya proses teknolojilerinin temel fonksiyonlarının robustluğunu iyileştirmeye odaklanmalı ve gerçek koşullarda ideal fonksiyonlara

---

[57] Cafer Çelik, Nimetullah Burnak, "Kalite Anlayışındaki Gelişmeler ve Kalite Güvence Sistemi", **Endüstri Mühendisliği**, Cilt 6, sayı 4, 1995, s.27

[58] A.e.

yakınlaşan temel fonksiyonları yapmak için parametre tasarım yöntemleri uygulamalıdırlar. Bu robust tasarım faaliyetleri, gerçek ürünler planlanmadan önce araştırma ve geliştirme departmanları tarafından yapılmalıdır. Amaç, yeni teknolojilerin üretilebilirlik yönünü geliştirmektir.[59]

1.6.1 Kalite Geliştirmede Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Tüm teknikler ve uygulamalar ürünün "kullanıma uygunluğunu" sağlamaya yöneliktir. Ürün, tasarım aşamasında veya üretim aşamasında uygunluk sınırlarının dışına çıkabilir. Üretimde tam kontrol sağlandığı takdirde ürün tasarımlandığı gibi üretilebilir. Ancak tasarım aşamasının (tasarım kalitesi) maliyetleri arttırdığı görüşü Genichi Taguchi tarafından yıkılmıştır.[60] Taguchi'ye göre ürünün kalitesi maliyeti ile birlikte tasarım aşamasında kurulmaktadır. Ürüne tasarım aşamasında kullanıma uygun nitelik kazandırmak ve bunu da maliyetleri düşürerek yapmak olanaklıdır.

Kaoru Ishikawa, Toplam Kalite Kontrol adlı eserinde istatistiksel yöntemleri zorluk derecelerine göre üç kategoriye ayırmaktadır:[61]

1. Temel İstatistiksel Yöntemler
2. Orta Dereceli İstatistiksel Yöntemler
3. İleri İstatistiksel Yöntemler

1.6.1.1 Temel İstatistiksel Yöntemler ("Yedi Araç")

Kaoru Ishikawa, proseste üretilen bilgiyi elde etmek için çalışanlara yardım edecek mükemmel araçlar geliştirmiştir.[62] "Yedi Araç" olarak da bilinen bu araçlar şunlardır:

1. Pareto Şeması
2. Neden – Sonuç Diyagramı (tam olarak istatistiksel bir yöntem değildir)
3. Verilerin Gruplandırılması
4. Kontrol Tablosu

---

[59] Genichi Taguchi, "Quality engineering (Taguchi Methods) for the development of electronic circuit technology", **Microelectronics and Reliability**, *Volume 37, Issue 3, March 1997, s. 534*

[60] Doğan, a.g.e., s.11

[61] Ishikawa, a.g.e., s.196-197

5. Histogram
6. Dağılma Diyagramı
7. Grafik ve Kontrol Çizelgesi (Shewhart Kontrol Çizelgesi)

Bunlar kalite kontrolün herkes tarafından kullanılan en gerekli yedi araçtır. Bu araçlar yalnız üretimde değil planlama, tasarım, pazarlama, satın alma ve teknoloji gibi bazı bölümlerde de kullanılmaktadır. Ishikawa'ya göre, bir işletme genelindeki tüm sorunların %95'i bu araçlarla çözülebilmektedir.[63] Bu basit ve temel yöntemleri kullanmaya eğitimli olmayan biri, daha zor yöntemleri başarıyla kullanamaz. Japonya'da üst düzey yönetimden üretim hattı işçilerine kadar herkesin bu yedi yöntemi kullanabiliyor olması çok önemli bir gerçektir. Hatta bu yöntemlerden en çok yararlanan ülkenin de Japonya olduğu söylenebilir.

Bu yedi araç çok kullanışlı ve güçlüdür. Hataların ne sıklıkta, ne zaman, nerede olduğunu ve ne zaman farklı olduğunu görmelerini sağlamak için çalışanlara verilecek eğitim sürekli gelişmeyi sağlamaktadır.[64]

1.6.1.2 Orta Dereceli İstatistiksel Yöntemler

Bu yöntemler şunları içerir:[65]

1. Örnekleme araştırmaları teorisi
2. İstatistiksel örnekleme muayenesi
3. İstatistiksel öngörü ve testlerin çeşitli yöntemleri
4. Duyarlılık testi kullanım yöntemleri
5. Tasarlanmış deney yöntemleri

Bu yöntemler, işletmelerde mühendislere ve KK geliştirme bölüm görevlilerine yaygın olarak öğretilmektedir. Japonya'da ve diğer gelişmiş ülkelerde etkin olarak kullanılmaktadır.

---

[62] Box, Bisgaard, a.g.e., s.55

[63] Kavrakoğlu, (1994), a.g.e., s.15

[64] Box, Bisgaard, a.g.e., s.56

[65] Ishikawa, a.g.e., s.200.

1.6.1.3 İleri İstatistiksel Yöntemler

İleri istatistiksel yöntemler şunları kapsar:[66]

1. Tasarlanmış deneyin gelişmiş yöntemleri
2. Çok değişkenli analiz
3. Çeşitli yöneylem araştırması yöntemleri.

Yalnız sınırlı sayıda mühendis ve teknisyen, karmaşık proses ve kalite analizlerinde görevlendirilmek üzere, bu ileri istatistiksel yöntemlerde eğitilir. Bu ileri yöntemler, yüksek teknolojinin oturtulmasında ve teknoloji ihracında da temel olmuştur. Endüstriyel işkollarında, istatistiksel yöntemler çoğunlukla analiz araçları olarak kullanılır. Analizin iki ana türü vardır. Bunlardan biri kalite analizi, diğeri ise proses analizidir.[67]

Kalite analizi, verilerin ve istatistiksel yöntemlerin yardımıyla gerçek kalite karakteristikleri ile bunların yerine geçen kalite karakteristikleri arasındaki ilişkiyi belirler.

Proses analizi, prosesteki nedenlerle kalite, maliyet, verimlilik vb. gibi sonuçlar arasındaki ilişkiyi açıklar. Proses kontrolü üretim prosesinin düzgün işleyişini engellemeye neden olan faktörleri ortaya çıkarmaya çalışır. Koruyucu kontrol uygulayabilecek bir teknoloji bulmayı hedefler. Kalite, maliyet ve verimlilik proses kontrolünün neden ya da sonuçlarıdır.

Proses analizinin %95'i yedi yöntemi kullanarak gerçekleştirilebilir. Ancak çok karmaşık problemlerde, çelik işletmelerindeki proseslerde, ileri teknikler gereklidir. Bu durumda bilgisayar kullanımı zorunludur.

1.6.2 Kalite Geliştirmede Kullanılan Diğer Yöntemler

Kalite geliştirmekte kullanılan birbirinden farklı birçok yaklaşım vardır. Bu yaklaşımların temel amacı kaliteyi geliştirmek ve müşteri tatmini sağlamaktır. Bunların etkinlikleri de çeşitli kriterlere göre farklılık göstermektedir. Örneğin

---

[66] A.e.

[67] A.e.

uygulama kolaylığı, uygulama alanı , maliyet vb kriterlere göre bazıları diğerlerinden daha üstün olabilmektedir. Bu yaklaşımlarda bazıları aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

1.6.2.1 Kalite Fonksiyonu Yayılımı (QFD)

Kalite fonksiyonu yayılımı (QFD:Quality Function Deployment); tüketicinin satın almak istediği ürünlerin/hizmetlerin tasarımı, üretimi ve pazarlanması amacıyla, organizasyon içindeki beceriler üzerinde yoğunlaşarak gerekli koordinasyonu sağlayan bir dizi planlama ve iletişim proseslerinden oluşan sistematik bir yaklaşımdır. QFD prosesi, kalite geliştirme aşamalarının herhangi birinin ya da tümünün planlanmasına yardımcı olmak amacıyla kullanılabilir. QFD müşteri öncelikleri ile kuruluşun olanaklarını uyumlu hale getiren bir ekip kararıdır.[68]

Müşterinin ürünü satın almasını ve bunu sürdürmesini sağlamak için, pazarlanan ürün veya hizmetlerin tasarımından üretimine kadar organizasyon içerisinde yer alan fonksiyonlara odaklanan ve bunları koordine eden ve QFD olarak ta bilinen modern bir yaklaşım, fonksiyonlararası haberleşmeyi sağlayan bu metodoloji, "her bir fonksiyonel bileşenin kalitesinden başlayıp, bunu her bir parçanın veya prosesin kalitesine yayarak sistematik bir şekilde talepler ve karakteristikler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak sureti ile, müşteri taleplerini kalite karakteristiklerine dönüştürme ve bitmiş ürün için bir tasarım kalitesini geliştirmedir" şeklinde tanımlanmıştır.[69]

QFD yaklaşımı, ilk olarak 1972 yılında Japonya'da o dönem Kalite Kontrol Derneği Araştırma Komitesi başkanı Dr.Yoji Akao tarafından Mitsubish'nin Kobe tesislerinde geliştirilerek uygulanmıştır.[70] "Kalite Evi" (The House of Quality) ise bu yeni yönetim yaklaşımının temel tasarım aracı olarak kullanılan sistematik bir algoritmadır. Toyota, kalite evini, değişik biçimlerde geliştirerek daha sonraları yoğun bir biçimde kullanmıştır. Bugün kalite evi; elektronik, ev eşyaları, giyim-

---

[68] Day, a.g.e., s.13

[69] Yaşar Baki Cengiz, A. Yeşim Yayla "Rekabet Üstünlüğü İçin Modern Yaklaşımlar", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

[70] Yılmaz Taptık, Özgül Keleş, **Kalite Savaş Araçları**, KalDer Yayınları No.23, İstanbul, 1998, s.110

kuşam, entegre devreler, sentetik kauçuk, inşaat ekipmanları ve tarım makinaları iş kollarında yer alan pek çok Japon sanayici tarafından başarıyla uygulanmaktadır.[71]

QFD, müşteri istek ve beklentilerini ürünle ilgili özelliklere dönüştürmekte ürünün yaşam döngüsü boyunca kullanılabilen bir yöntemdir. Müşterinin ne istediğini anlama QFD'nin hareket noktasıdır ve kalbini oluşturur. Tasarım aşamasında kullanımı yaygındır ve işin başında doğru yapılmasını sağlayarak en fazla yararı bu aşamada getirir. Tasarım prosesi boyunca müşteri isteklerini açık ve net bir şekilde görülmesini sağlarken, bunlardan sapmayı önlemektedir. QFD, müşteri odaklı tasarım/geliştirme prosesinin iskeletini oluşturmakla birlikte, iyileştirme ve problem çözme faaliyetleri için de uygun bir alt yapı oluşturmaktadır. Müşteri isteklerini üretim gereklerine dönüştürmek için ard arda bir dizi kalite evinin oluşturulmasını içeren bir mekanizmadır.[72]

QFD, ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesini sağlarken, rekabetçi pazarlarda kaçınılmaz olan yeni ürünlerin ortaya çıkarılması için de elverişli bir mekanizmadır. QFD "Eşzamanlı Mühendislik" yaklaşımı ile işletilir.

QFD bir araç değil, bir işletmeye, diğer teknik araçların birbirini destekleyecek ve tamamlayacak şekilde etkin olarak kullanımında ve öncelikli konuların ortaya konmasında yardımcı olan bir planlama prosesidir.[73] Ayrıca, ekip çalışmasının ve özel araçların yararlı olacağı müşterilerle ilgili konuların belirlenmesine de yardımcı olmaktadır.

QFD, etkin bir ürün ve servis geliştirme mekanizmasıdır. Müşteri isteklerini, ürün ve proses karakteristiklerine aktarmak için kullanılır. Üretici firmanın tasarım, üretim ve pazarlama vb gibi değişik uzmanlık alanlarını temsil eden kişilerin oluşturduğu bir takım tarafından gerçekleştirilir. QFD, bir dizi matris operasyonu içerir. Her matriste bir çeviri yapılır. Örneğin, "kalite evi" de denilen ilk matriste (Şekil 1.7), müşteri istekleri, ürünün genel karakteristiklerine yansıtılır (Hauser and

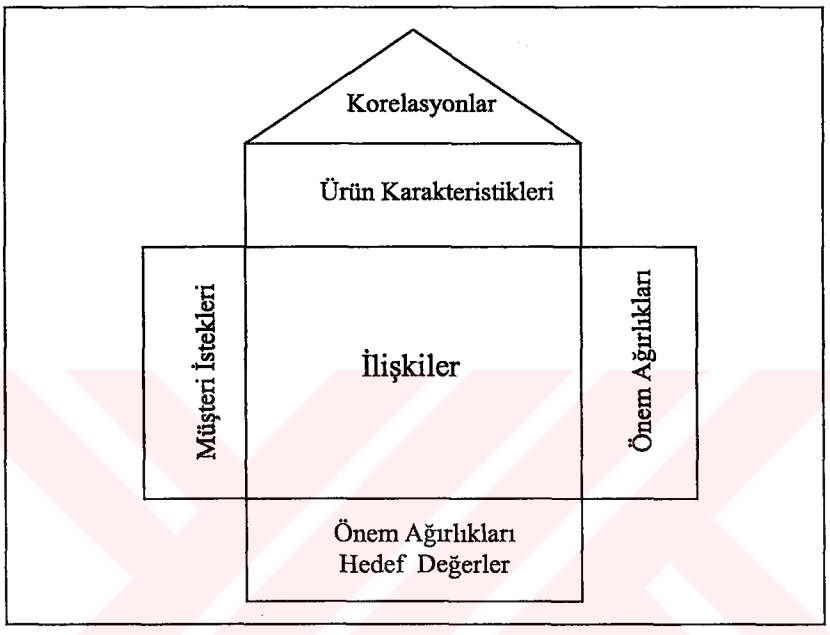
---

[71]Nesime Acar, "Kalite Fonksiyonu Göçerimi-Kalite Evi", **Verimlilik**, Özel Sayı, MPM Yayını, Ankara,117-132,1995, s.117

[72]Meryem Fıkırkoca, "Tasarımda Kalite ve Problem Çözme Yaklaşımı", **9. Ulusal Kalite Kongresi:Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Sektörü**,*İstanbul*, 21-22 Kasım 2000

[73] Day, a.g.e., s.7

Clausing). Ürün geliştirme; ürün planlama, ürün tasarımı, proses tasarımı ve proses kontrol planlama şeklinde dört aşamada yapıldığı düşünülecek olursa, bu tür dört temel matristen söz etmek olanaklıdır (Şekil 1.8). Ancak her aşamada birden fazla konuşlandırma matrisi kullanılabilir. Örneğin, Akao ve King, QFD prosesinde 150'den fazla matrisin kullanılabileceğine işaret etmektedir.[74]



Şekil 1.7 Kalite Evi[75]

Kalite evi, bir anlamda, fonksiyonlar arası (tasarım-üretim-pazarlama) planlama ve iletişime olanak tanıyan kavramsal bir şema olarak tanımlanabilir[76]. Kalite evi, farklı fonksiyonlardan gelen elemanların ortak bir amaç doğrultusunda nasıl çalışacaklarını belirleyecek, başka bir anlatımla ortak bir dil oluşturacaktır. Kalite evi kavramı ile müşterinin sesi ve üretim mühendisinin sesinin buluşturulduğu etkin bir araçtır.[77]

Farklı departmanların veya fonksiyonların ürün geliştirme prosesi içerisinde farklı zamanlarda devreye girip fikir beyan etmeleri artık günümüzde geçerliliğini

---

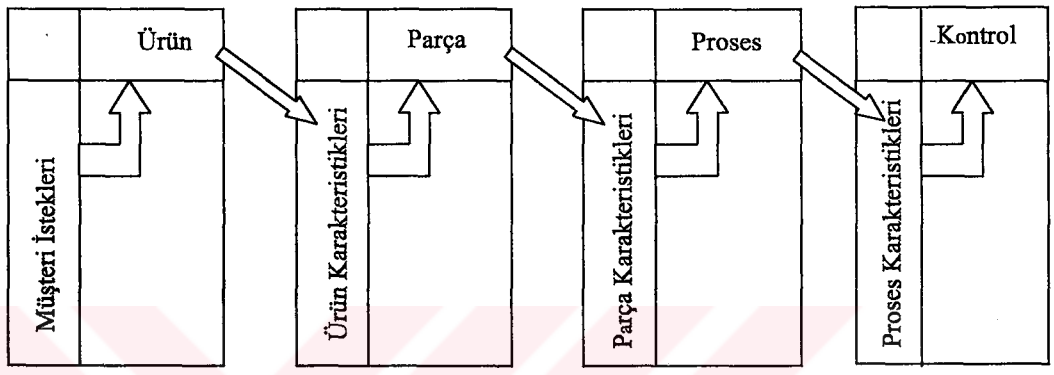
[74] Gülser Köksal, "Tekstil Ürünleri İçin Kalite İşlev Konuşlandırma ve Robust Tasarım", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997,İstanbul

[75] A.e.

[76] Acar, a.e., s.118

[77] Taptık, Keleş, a.g.e., s.114

yitirmiş bir çalışma şekli olarak benimsenmektedir. Ancak her ne kadar ortak çalışma platformunun gerekliliğinden söz edilse de herhangi bir teknik veya araç kullanılmadan söz konusu iletişim yeteneğini oluşturmak da oldukça güç olmaktadır. Bunun için kalite teknikleri ve özellikle QFD tekniğinin etkin kullanılması farklı platformlardaki uzmanlıkların ve bakış açılarının ortak bir çalışma ortamına adapte olmalarını sağlayacaktır.[78]



Şekil 1.8 Kalite Fonksiyonu yayılımı Aşamaları[79]

QFD prosesi, esnek yapısı ve güçlü grafikmatris elemanlarıyla, yeni ürün geliştirme prosesinde gerekli olan pek çok karmaşık analizin dokümantasyonu ve sonuçlandırılmasında önemli bir araçtır.

1.6.2.1.1 QFD'ye Dayalı Ürün Geliştirme Prosesi

QFD'ye dayalı bir ürün geliştirme yaklaşımının aşağıdaki özellikleri vardır[80]:

• ***Çapraz fonksiyonel ekipler ürünün herkes tarafından aynı şekilde anlaşılmasını sağlar.*** Bu ekipler, geliştirme prosesinde çalışan birçok fonksiyonel alanları içine aldığından, tüm alanlarda ürünün herkes tarafından benzer bir şekilde anlaşılması gerçekleştirilebilir. Ekip üyeleri, erken etkileşimler sayesinde, üzerinde herkesin hemfikir olduğu bir ürün görünümü oluşturur.

---

[78]Haluk Sami Ünsal "Kalite Fonksiyonu Açınımı", 6. **Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

[79]Gülser Köksal, "Tekstil Ürünleri İçin Kalite İşlev Konuşlandırma ve Robust Tasarım", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

[80]Yaşar Baki Cengiz, A. Yeşim Yayla, "Rekabet Üstünlüğü İçin Modern Yaklaşımlar", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997,İstanbul

• ***QFD ile ürün geliştirme eşzamanlı bir prosestir.*** Burada her bir parti ürün geliştirmede açık ve erken bir bakış açısı kazanır. Olayı tanıma eşzamanlı olarak gerçekleşir ve bu dönüşüm boyunca, iletişim kesin ve doğru bir şekilde ortaya çıkar. Sonuçta ya hiç veya çok az ürün üzerinde yeniden işleme (rework) gerekir.

• ***Ya hiç yada çok az iyileştirme gereklidir.*** Fonksiyon icra eden mühendislik çizimleri, bilgisayar programları ve spesifikasyon dokümanları gibi araçlar, QFD esaslı yaklaşımda daha bütün ve doğrudurlar. Bunu nedeni, açık müşteri gereksinimleri ve düzenli veri organizasyon yapısı ile çalışan çapraz fonksiyonel ekiplerdir. Amaç ve detaylar iyi anlaşıldığından nadiren beklenmeyen durumlarla karşılaşılır. Bu, spesifikasyonlar ve tasarımlar konusunda iyileştirme gereksinimlerini azalttığından ürün geliştirme süresini azaltır ve müşterinin istediği ve gereksinim duyduğu ürünün ortaya çıkma olasılığını arttırır.

- Tasarım karakteristiklerinde müşterinin sesi esas alınır.
- Sadece müşteri tatminini esas alan konular önemlidir.
- Tasarımcılar teorik olarak belirlenen toleranslardan çok açıkça ortaya konan işletme hedeflerini karşılarlar.

QFD prosesi her bir adımda müşterinin düşüncesini ön plana çıkarır. Çapraz fonksiyonlu ekipler müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi ve ürün özelliklerinin geliştirilmesi esnasında bu bütünlüğü sürdürmek için özel teknikler kullanırlar. QFD, müşteri gereksinimlerini gösteren mekanizmalar için hedef değerleri belirlemeye teşvik eder. Bu hedef değerler müşterinin beklediği belirgin çalışma hedefleridir. Bu, iç tolerans spesifikasyonlarını karşılamadan çok, müşteri tatminini ön plana çıkaran bir tasarıma yönlendirir.

QFD, ürün spesifikasyonlarının belirlenmesini ve üretim aşaması da dahil olmak üzere daha ileri ürün geliştirme aşamalarının "tüketicinin sesi" tarafından yönlendirilip, yürütülmesini sağlar. Her ne kadar ilk QFD uygulamaları, yeni ürün geliştirme alanında olmuşsa da, ayrıntılı tüketici beklentilerinin belirlenip, üretim prosesleriyle ilişkilendirilmesinin gerekli olduğu her alanda QFD prosesinin katkısı

olacaktır. Bu bağlamda, pazar araştırması projelerinin tasarımı, tesis yer seçimi ve işletme planlaması gibi alanlarda da QFD prosesinden yararlanmak olanaklıdır.[81]

İşletmelerin QFD prosesini başarıyla kullanabilmeleri için gerekli olan unsurların belirlenmesi amacıyla, 35 yeni ürün geliştirme grubu üzerinde yapılan bir araştırmaya göre, QFD uygulamalarında istenen sonuçların elde edilmesi için aşağıda belirtilen konulara dikkat edilmesi gerektiği belirlenmiştir:[82]

- QFD bir maliyet olarak değil, bir yatırım olarak görülmelidir.
- QFD prosesini öncelikle, mevcut tasarımla sınırlı düzeltmeler içeren basit projelerde uygulamak gereklidir. Karmaşık projelerdeki uygulamalar ancak konuda tam deneyim kazandıktan sonra başlatılmalıdır.
- QFD yeni ürün geliştirme prosesinde nihai amaç olarak değil, bir araç olarak algılanmalıdır.
- QFD prosesinin uygulanmasında, üst yönetimden çok, yeni ürün geliştirme grubunun öncülük etmesi önemlidir.
- QFD prosesi, daha iyi pazarlama verileri ya da geliştirilmiş ürün tasarımı sağlamaz; ancak tasarımda pazarlama verilerini kullanarak ve üretim proseslerini hedefleyerek, her ikisinin de geliştirilmesini sağlar.

QFD basit bir proses değildir; bu proseste sofistike bir fikrin üretim ortamında gerçekleştirilmesi söz konusu olmaktadır. Ancak QFD prosesi fonksiyonlararası engelleri ortadan kaldırdığı ve ekip çalışmasını özendirdiği için kullanımına ilişkin çabaların her zaman karşılığı alınacaktır.

QFD'nin uygulanması ve bu bağlamda kalite evinin kurulması yaklaşımının temelinde, ürün ve hizmetlerin, tüketicilerin istek ve beğenilerini yansıtacak şekilde tasarlanmalarının gerektiği ilkesi yer alır. Bu durumda, bir ürünün bir fikir olarak ortaya çıktığı andan itibaren, pazarlamacılar, tasarım mühendisleri ve üreticilerin sıkı bir işbirliği içinde çalışmaları gerekmektedir.

Kalite tekniklerinin proses içerisindeki kullanımı Yeni Ürün Geliştirme Prosesinin güvenilirliği ve verimliliği için zorunludur. Etkin bir veritabanı

---

[81] Acar, a.g.e., s.131

[82] A.e.

oluşturmak ile veri toplamada başlangıçta yaşanılan sıkıntıların ileride yapılacak projelerde yaşanmamasına olanak sağlanabilir. Eşzamanlı mühendisliğin ve onun araçları olan kalite tekniklerinin işletme içerisinde kullanımı ve yaygınlaştırılması işletmede bir kültür değişimini de beraberinde getirmektedir. Eğitim programları ile tekniklerin kuruluş içerisinde kullanımı yaygınlaştırılmalı ve bu yolda sabırlı olunmalıdır. Kullanılan tekniklerin entegrasyonu QFD matrisleri şeklinde ifade edilebilir, bir başka deyişle QFD diğer tüm kalite tekniklerini aynı çatı altında toplamayı başarabilen etkin bir sistemdir.[83]

Kalite tekniklerinin etkin kullanımı için takım çalışması gerekir; proses ve yeni ürün hedefleri sadece işletmenin tasarım ekibini değil aynı zamanda diğer fonksiyonlarını da eşit derecede sorumlu kılar.

1.6.2.1.2 Ürün Geliştirme Prosesinde QFD ile Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırılması

Geleneksel ürün geliştirme prosesinde, farklı çalışma ekipleri kendi değerlerini ürünlerine katmak için farklı kavramlar ve izole edilmiş prosedürler kullanırlar. Böylece ekipler arasında çok az ortak anlaşma zemini oluşabilir.

Sırası ile her bir fonksiyon ürün geliştirme prosesine katkı sağlar. Pazarlamacılar ihtiyaçları belirler. Sistem mühendisleri ise bunları analiz eder. Tasarımcılar çözüm kavramlarını uygular, test elemanları ise tasarımı doğrular. Sonuç olarak ekipler arasında herhangi bir paralellik oldukça sınırlıdır.

Bu sıralı işlemlerin her bir aşamasında gerçekleşen yetersiz iletişim anlarında gerek iç gerekse dış müşteri açısından ürün yetersizlikleri ortaya çıkar. Bu problemleri düzeltmek için gerekli çalışmalar oldukça pahalıdır.

QFD'yi kullanan bir geliştirme prosesinde, her bir fonksiyon müşteri gereksinimleri konusunda kesin bilgi sahibi olarak ürün tanımlamada ekibin bir parçası olarak eşzamanlı bir şekilde proses içinde yer alır ve diğerleri ile paralel bir şekilde kendi değerlerini prosese ekler. Müdahaleler nettir ve ürün üzerinde yeniden işleme enazdır. Ürün geliştirmenin amacı doğrultusunda bu proses eniyilenir. Ürün

---

[83] Haluk Sami Ünsal "Kalite Fonksiyonu Açınımı", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

pazara gecikme olmadan ve müşterileri tatmin olasılığı yüksek bir şekilde ulaşır. Geleneksel ürün geliştirme prosesine göre QFD'nin avantajları şunlardır.[84]

- Ürün, müşteri gereksinimlerini karşılar,
- QFD, müşterilere karşı güvenilirliği inşa eder,
- Ürün pazara daha kısa sürede ulaşır,
- QFD; zengin ve ulaşılabilir ürün tanımlamayı sağlar,
- Müşteri gereksinimlerinin topluca anlaşılması organizasyonu güçlendirir,
- Ekip oluşturulması organizasyonu güçlendirir.

Eşzamanlı mühendislik, Taguchi'nin "Off-Line" ve "On-Line" metodolojisinin genişlemesidir. Taguchi'nin özellikle üzerinde durduğu nokta, üretim ve müşteri kullanımı esnasında ürün performansını belirleyen bu parametrelerin nominal değerlerini tespit etmek için parametre tasarımı gibi bir tasarım adımının başlatılmasıdır. Bunlar aynı zamanda hem ürün performansını hem de yüksek proses çıktısını sağlamak için üretimin kontrol etmek zorunda olduğu parametre değerleridir. Bu metodolojide temel araç Deney Tasarımı (DOE: Design of Experiment)'dır.[85]

İstatistiksel proses kontrolün üretimdeki rolü, önemli parametrelerin nasıl iyi kontrol edildiğini göstermektir. Eşzamanlı mühendislik, ürünün tasarım-üretim çevriminde uygulanan TKY felsefesinin açık bir yansımasıdır. Bu, yeni ürünlerin mühendisliğin tek bir faaliyet olmadığı farklı bir yönetim biçimidir. Bu, tüm organizasyonun bir işletme evliliğidir. Bunun başarılı olması için ekip çalışmasına, teknik rekabet ve yenilikçilik kadar değer verilmelidir. Tasarımın amacı, sadece en mükemmel performans olmayıp aynı zamanda en iyi toplam kalite de olmalıdır. Günümüzde eş zamanlı mühendislik olarak bilinen Taguchi yaklaşımının yansıması Şekil 1.9'daki gibi sistematize edilebilir.

---

[84] Yaşar Baki Cengiz, A. Yeşim Yayla "Rekabet Üstünlüğü İçin Modern Yaklaşımlar", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997,İstanbul

[85] A.e.

QFD'yi kullanan Japon şirketleri, tasarım-geliştirme prosesinde önemli iyileşmeler sağlamışlardır.[86] Bunlar,

- Mühendislik değişimlerinde %30-%50 oranında azalma
- Tasarım dönüşümlerinde %30-%50 oranında azalma
- Başlatma maliyetlerinde %20-%50 oranında azalma.

şeklinde sıralanabilir.

1.6.2.1.3 QFD'nin Uygulama Alanları

QFD, geniş ürün geliştirme senaryolarına uygulanabilen güçlü ve esnek bir yaklaşımdır. QFD'yi uygulamak üzere inceleyen organizasyonlar özellikle başlangıç aşamalarında danışmanlardan faydalanmalıdır.

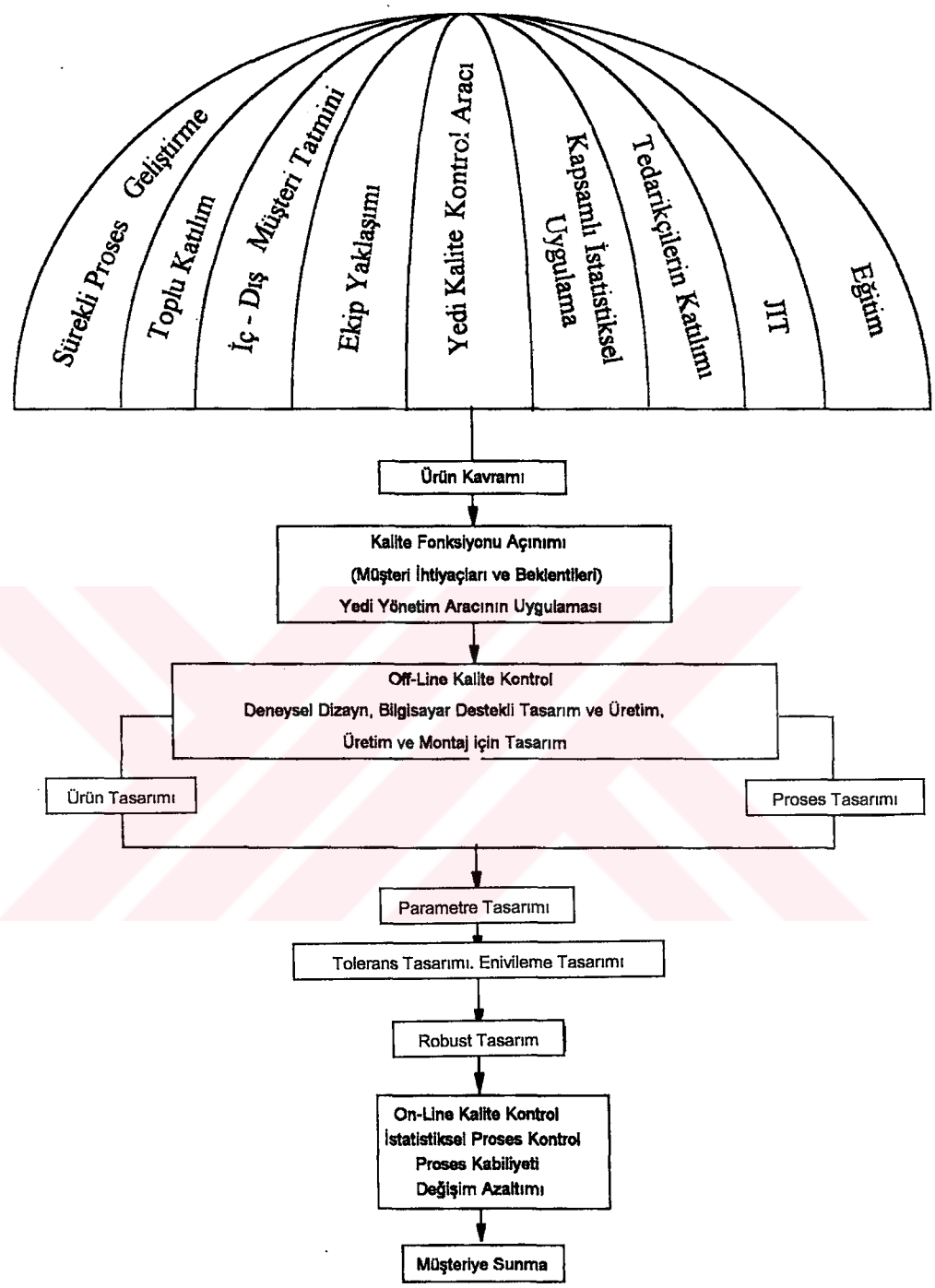
QFD yaklaşımı yeni ürünler tanıtmanın dışında mevcut ürünleri gözden geçirmek için de bir araç olarak kullanılabilir. Yeni bir ürün için ekip hemen hemen açık bir amaç ile yola çıkar ve ürün karakteristikleri, geliştirme yöntemleri, üretim işlemleri ve destek stratejileri konusundaki tüm kararları müşteri değerlerinin yönlendirdiğinden emin olabilir. Mevcut bir ürünü iyileştirmede QFD kullanıldığında ekip mevcut prosesler tarafından sınırlandırılır fakat aynı kurallar geçerlidir. QFD aşağıdaki alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır;

- Yeni ürün için QFD,
- Yeni bir servis için QFD,
- Mevcut bir ürün için QFD,
- Yatırım planlama için QFD,
- Proses yönetimi için QFD,
- Teknoloji yönlendirmeli mühendislik için QFD,
- Politika yönetimi için QFD.

Ayrıca bu yaklaşımda zor olan bir başka konu da, örgütlerin sofistike fikirleri özümleme becerisini kazanabilmeleridir. Kalite evi uygulamasının temel yararı, evde kaliteyi sağlaması, başka bir anlatımla çalışanları doğru yönde ve birlikte düşünmeye alıştırmasıdır. Bir işletmede, farklı birimlerde görev yapan grupların, birbirlerinin

---

[86] A.e.



Şekil 1.9 Toplam Kalite Yönetimi ve Ürün - Proses Tasarımının Eşzamanlı Mühendislik Prosesi[87]

[87] A.e.

önceliklerini ve hedeflerini anlamak üzere bir arada çalışmaya başlamaları "kalite" yolunda atılacak en doğru adımdır.[88]

QFD, kullanıcı tatmini ve satışlarda artış sağlarken aynı zamanda ürün geliştirme aşamasının başlangıcında karşılaşılan problemleri yarı yarıya, geliştirme zamanının 1/2'den 1/3 e azaltır. Ancak yanlış uygulanırsa QFD bu yararları sağlamak yerine iş yükünü arttırır.[89]

QFD kullanılma nedenlerinden en önemlileri yeni ürün geliştirme isteği ve kalite güvencesini sağlama isteğidir. Sosyal ve ekonomik çevremizdeki çok hızlı değişikliklerle pek çok işletme teknolojik yenilikler ve değişen müşteri istekleri sonucu endüstriyel yapılarında değişime giderler. Kuruluşlar varlıklarını sürdürmek için yeni ürünler geliştirme zorunda kalırlar. QFD, tasarım aşamasında başlayarak ürün geliştirme sürecini her bir aşamasında kalite temin edilmesini sağlayan özel yöntemdir. Diğer bir deyişle müşterinin tatmin edilmesini amaçlayan tasarım kalitesi geliştirme ve müşteri isteklerini tasarım hedeflerine ve üretim aşamasında kullanılmakta olan kalite güvencesi noktalarına dönüştürme yöntemidir. Tasarımı gözden geçirme (rewiev) tasarımın kendisini muayene etme fırsatı verdiğinden çok önemlidir. QFD ürün tasarım aşamasındayken tasarım kalitesinin sağlanması yoludur.[90]

Juran, kalite fonksiyonunu kaliteyi oluşturan bir fonksiyon olarak tanımlar. Dr. Shigeru Mizenuo kalite fonksiyonunun yayılımını, kaliteyi oluşturan fonksiyonlar ve operasyonların daha fazla ayrıntılı ele alarak adım adım yayılımı olarak tanımlar.[91]

QFD, müşterilerin taleplerini "kalite karakteristikleri"ne dönüştürme ve talepler ile karakteristikler arasındaki ilişkiyi, her bir fonksiyonel bileşenin kalitesiyle başlayıp her bir parça ve prosesin kalitesini yaymaya genişleten,

---

[88] Acar, a.g.e., s.132

[89] Yoji Akao, **Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design,** Productivity Press, 1990, s.3

[90] A.e.

[91] A.e., s.4

sistematik olarak açılımını sağlayarak bitmiş ürünün tasarım kalitesini geliştirmedir. Ürünün bütün olarak kalitesi bu ilişkiler ağıyla (network) oluşturulur.[92]

Ayrıntılı QFD sistemi teknoloji, güvenilirlik ve maliyet düşüncelerini içerir. QFD çalışmasında kalite evi adı verilen şemalar kullanılır. Bunlar:

- Müşterilerin kendi kelimeleriyle ifade ettikleri talep ettikleri kalitenin yapısını sistematik bir şekilde analiz etmeyi,
- Talep edilen kalite ve belirli kalite karakteristikleri arasındaki ilişkiyi göstermeyi ,
- Müşteri taleplerini karakteristiklere dönüştürmeyi,
- Tasarım kalitesini geliştirmeyi,

sağlayan araçlardır.

1.6.2.2 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)

Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis) ile elde edilen bilgiler tasarımda, üretim sürecinde değişiklikler yapma, kullanılan malzemeyi değiştirme, kalite kontrol ve kalite muayene ölçütlerini tekrar gözden geçirme gibi kararların verilmesinde kullanıldığından, yöntem karar verme aracı olarak da değerlendirilir. FMEA kişilerin deneyim ve düşüncelerini,

- Hata ne olabilir?
- Hatanın nedenleri ne olabilir?
- Hatanın etkileri neler olabilir?

sorularına aldığı yanıtlarla değerlendirir, şekilsel düzenekler (FMEA tablosu) yardımıyla yazılı hale getirir. Böylece bilginin elde tutulması ve yazılı hale getirilmesi, planlı, sistematik bir şekilde yapılmış olur. Aynı zamanda kişiler, disipline edilmiş bir yaklaşım kullanmaya da zorlanmış olurlar. FMEA, genellikle bir grup çalışması olarak uygulandığından, bilgi ve deneyimin bir araya getirilmesini sağlayan bir araç olarak da görülebilir.

Hata Türü, Etkileri ve Kritikliği Analizi (FMECA:Failure Mode and Effects Criticality Analysis) ürünün güvenilirliğini artırmak için kullanılan güçlü bir problem önleme ve düzeltme gerecidir. Ürünün tüm yaşam çevrimi boyunca uygulanabilir,

---

[92] A.e.

ancak en fazla yarar tasarımın ilk aşamalarında uygulanmasıyla sağlanır. Tasarım aşamasında kullanılırken de ürünün yaşam çevrimi boyunca karşılaşabileceği koşulların tümü göz önüne alınır. Tasarım FMECA ile potansiyel hataların erken aşamada belirlenerek etkisinin en aza indirgenmesi hedeflenir. Eşzamanlı mühendislik yaklaşımı ve sürece doğrudan katkısı bulunan kişilerden kurulu fonksiyonlar arası bir ekip tarafından yürütülür.[93]

1.6.2.2.1 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Takımı

FMEA, bir takım fonksiyonudur ve bireysel olarak yapılamaz. FMEA projeleri, spesifik projeye uygun bir takım tarafından yürütülür. İşletme belli kişilerden oluşmuş bir FMEA takımı kurarak tüm FMEA projelerini bu takıma yaptıramaz. Takım proje bazında kurulmalıdır. FMEA projeleri spesifik projeye uygun bir takım tarafından yürütülür. Takım proje bazında kurulmalıdır.

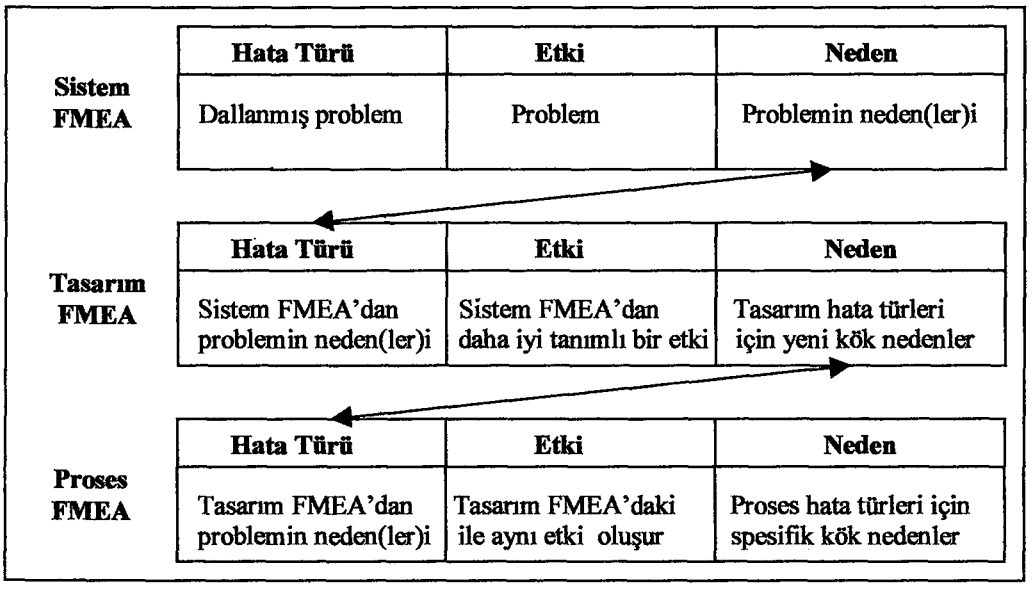
FMEA başladıktan sonra, yaşayan bir doküman olur. Sürekli gelişimin gerçek bir dinamik aracıdır. Başlangıç aşamasına bağlı değildir. Sistem, tasarım, ürün, proses veya servis süreçlerinin gelişimi için bilgileri kullanır. Sürekli olarak, gerektikçe güncelleştirilir. Anlatılan üç ayrı FMEA arasında Şekil 1.10'da görüldüğü gibi bir ilişki bulunmaktadır.

1.6.2.2.2 Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)nin Uygulama Süreci

İşletmelerde üretimden sorumlu kişiler, olası hatalarını, tasarım aşamasında tamamlayarak ortadan kaldırmak için tasarım bölümünde tasarım mühendisiyle çalışabilirler. Benzer şekilde, tasarım mühendisler, tasarım isteklerinin üretim esnasında gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceğini görmek için üretim hazırlama aşamasında ilgili üretim bölümünde bulunabilir. Bu farklı bölümlerde çalışma sistemi, FMEA uygulamasına uyarlanabilir.

---

[93] Meryem Fıkırkoca, "Tasarımda Kalite ve Problem Çözme Yaklaşımı", **9. Ulusal Kalite Kongresi:Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Sektörü**,*İstanbul*, 21-22 Kasım 2000



Şekil 1.10 FMEA'ların Sınırları ve Aralarındaki İlişki[94]

İşletmelerin tedarikçi kuruluşlarından uzman kişiler ve müşteriler, süreç geliştirmede gereksinim duyulduklarında çalışmada yer alabilmelidir. Bugün, birçok Japon şirketi ürün geliştirme çalışmalarında, tedarikçinin teknik ve yenilikçi yeteneklerinden yararlanmaktadır. Tedarikçiler bu durumda, misafir tasarımcı olarak adlandırılırlar.[95]

1. Aşama : Hazırlık çalışmaları
2. Aşama : Sistem analizi
3. Aşama : Analiz sonuçlarını değerlendirme
4. Aşama : İzleme-uygulama
5. Aşama : Doğrulama

1.Aşama: Hazırlık Çalışmaları

Sistem analizi esasına dayanan FMEA yöntemi uygulamasına başlamadan önce bazı çalışmalar yapılmalıdır. İlk olarak analiz edilecek ürün veya sistem tanımlanmalı ve uygulamanın nedenleri belirlenmelidir. Sonra sırasıyla, yöntemin

---

[94] "Kalite Teknikleri", <http://www.kagcme.itu.edu.tr/> (Çevrimiçi, 20.06.2002)

[95] Semra Boran, "Hata Şekli ve etkileri Analizinin Bulanık küme Yaklaşımıyla Çözümlenmesi Olanağı", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996, İstanbul, s.52

uygulanmasını isteyen kişi(ler), analizi yapacak kişiler ve karar verecek kişi, çalışma sınırları ve ulaşılmak istenen rakamsal hedef başlangıçta açıkça tanımlanmalıdır.[96]

2.Aşama : Sistemin Analizi

FMEA tekniği, ürün veya sistemler hakkında ayrıntılı bilgiler ister. Bu da ancak ayrıntılı analiz edilmeleri ile sağlanır. Bu aşamada, ürün veya sistemin fonksiyonları, çalışma şekli ve üretim şekli belirlenir. Fonksiyonlar, ürün veya sistemlerin ne işe yaradıkları ya da var olma nedenleri ile tanımlanır.

Bir FMEA uygulaması sırasında bütün sistem geliştirme tekniklerinden ve bunlardan elde edilen bilgilerden yararlanılır. Aynı zamanda, FMEA'dan elde edilen bilgiler bu tekniklerde kullanılabildiğinden bütünleşik FMEA sağlanmış olur. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünleşik lojistik destek, sistem emniyeti, tasanın ve gelişme alanlarında yapılan çalışmaların her biri FMEA için önemli girdi kaynakları olacaktır.[97]

Yöntemin, sorunun bütün hatları ile incelenmesini sağlayan analiz aşaması, fikirlerin üretildiği aşamadır. Olası hata türü, olası hata nedeni, olası hata etkisi ve mevcut hata saptama teknikleri bu aşamada belirlenir.

➢ **Olası Hata Türü**

Hata türü, hatanın gözlenen tarzıdır. Hatanın ortaya çıkma şekli bir fonksiyona bağlı olduğunda, hata türü, bir sistemin fonksiyonlarını yerine getirememe durumu veya anormal işleyişidir. Daha genel olarak. hata türü yerine getirilememiş bir fonksiyon ve fonksiyonun yerine getirilememe şeklidir. Hata türü, fiziksel özellikler ile tanımlanır. Olası hata türünü belirlerken, hatanın ortaya çıkabileceği fakat ortaya çıkmasının gerekmeyeceği kabulü yapılır. Olası hata türü, genellikle hatanın ortaya çıkma türü ve sistemin çalışmasındaki etkisinin tanımını içerir.[98]

---

[96] A.e.

[97] A.e., s.55

[98] "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

➢ **Olası Hata Etkisi**

Hata etkisi, hata türüyle bağlantılıdır. Etki, her bir hata şekliyle neden olunan, sistemin fonksiyonelliğindeki değişikliği gösterir. Olası hata etkisi, hatanın ortaya çıktığı kabul edildiğinde, müşterinin neyin farkında olacağı ile ilgilidir. Kısaca, hata ile karşılaşan müşterinin tepkisini, yani olası hatayla karşılaştığında oluşan sonuçlan tanımlar. Buradaki müşteri bir sonraki bölüm ya da işlem yapacak kişi veya son kullanıcı olabilir.[99]

Uygulamada genellikle müşterinin son kullanıcı olarak seçildiği görülmektedir. Bunun nedeni de ürünün satın alınma miktarının, kullanıcısının memnunluk derecesi ile ilgili olmasıdır. Bunun yanında parçanın bulunduğu grup, sistem, ürün. ara müşteri yan sanayi, yasalara uygunluk, kullanıcı emniyeti üzerindeki sonuçlar yani etkiler de belirlenebilir.

Hata etkisi. "hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?" sorusu sorularak genellikle işletmelerin araştırma ve kalite bölümü tarafından belirlenir.

➢ **Olası Hata Nedeni**

Olası hata türünün ortaya çıkmasında etkili olacak unsurlar, neden olarak tanımlanır. Hatanın nedeni, hatanın türünü oluşturabilecek ilk anormalliktir. Hata nedenleri tasarım veya proses esnasında sorunlarını ortaya çıkma gerekçelerini gösterir. Hata nedenlerini ortaya çıkarmak için, "Olası hata türünde sonuçlanabilir işlem değişkenleri nedenleri nedenlerdir?" sorusuna yanıt aranır.

Hata nedenlerinin belirlemesinde kullanılan en yaygın yöntem neden-sonuç (balık kılçığı) diyagramıdır. Neden sonuç diyagramlarının yanı sıra nedenlerin üretilmesinde yararlanılan diğer olanaklar şu şekilde sıralanabilir.

➢ **Keşfedilebilirlik (Saptama)**

Ortaya çıktığı kabul edilen, bir hata nedeninin (türünün) müşteriye ulaşmasını önleyen uygulamalara keşfedilebilirlik (saptama, tespit) adı verilir. Hata saptama çalışmaları, hatanın müşteriye ulaşmaması için öngörülen bütün önlemleri içerir. Hataların saptanmasında temel yaklaşım kontroldür. Ancak hatalar, sadece kontrol

---

[99] Boran, a.g.e., s.59

ile bulunamaz. Sistem veya ürünün oluşturulması aşamalarında gerçekleştirilen diğer faaliyetler ile de hatalar fark edilebilir.[100]

- Tasarım aşamasındaki, malzeme dayanımlarının hesapları, bitmiş parçalar üzerinde yapılan hesaplamalar, deneyler, ön üretimde yapılan denemeler etkin hata saptama yollarıdır.
- Sistem veya ürünlerin tanımlanması aşamasında, benzerleri üzerinde ölçümlendirme, düzenleme, deneme gibi konularda elde edilmiş olan deneyimler yine hataların bulunmasında kullanılır.
- Üretime alınma aşamasında, ürünün üretim ölçülerinin hesaplarından, proses yetenek hesaplarından, deneyimlerden hataların bulunmasında yararlanılır.
- Üretim sisteminin kurulması aşamasında, montajın yapılamaması, operasyon sırasının izlenememesi, talimatlar, ürünün veya üretim yönteminin kontrolü, deneme üretimler, hataların bulunmasını sağlar.

Hata saptamada yararlanılan bu olanaklar, hata saptama noktalarının her zaman hata kaynağının yakınında olamayacağı, uzağında da yer alabileceğini göstermektedir.

Hata türü, nedeni ve sonuçlarını belirlemek amacıyla hata saptamada kullanılan kontrol cihazı gibi araç ve gereçler, kontrol yöntemleri, kontrol sıklıkları gibi bütün ayrıntılar FMEA tablosunda ilgili sütunlarda yer almalıdır. Bir hata türü (nedeni) için öngörülmüş bir hata saptama yöntemi yok ise yine belirtilmelidir. Bu tanımlama "tespit yok" şeklinde yapılır. Bir hata türü veya nedeni için birden fazla yöntem kullanılıyorsa yine hepsi analiz esnasında tanımlanmalıdır. Hata saptama ile ilgili bu ayrıntılı açıklama,

- Hata saptama yönteminin, hatanın oluştuğu en yakın yere yerleştirilmesini,
- Hata bulunamıyorsa, hata türünü bulabilecek yöntemin uygulamaya alınmasını sağlar.

Böylece hata bulma yöntemlerinin etkinliği artacak, maliyetler düşecektir.

---

[100] A.e., s.62

3.Aşama : Değerlendirme

Değerlendirme aşaması FMECA'nın olası hataların kritikliklerine göre sıralama işlemi yapıldığı Kritiklik Analizi kısmını oluşturmaktadır. Bu aşamada her bir olası hatanın risk esasına göre kritiklikleri belirlenir. MIL-STD 1629A (1984)'da kritiklik "Hata türü ve onun ortaya çıkma sıklığının sonuçlarının göreli ölçüsüdür" şeklinde tanımlanmaktadır.[101] Kritikliği belirleyen ölçüt, Kritiklik Sayısı veya onu eşdeğeri olan Risk Öncelik Sayısıdır. Kritiklik sayısı, risk faktörlerinin olasılık değerleri kullanılarak hesaplanır. Ancak uygulamada işlem kolaylığı sağlamak amacıyla kritiklik, olasılıksal bir değer yerine sayısal büyüklük olarak ifade edilir.

Risk öncelik sayısı adı verilen bu sayı, hata ortaya çıkma ve bulunabilirlik risk faktörlerinin olasılık ile ve ağırlık risk faktörünün sözel olarak tanımlanan değerlerine belirli aralıkta yer alan sayılar atanır matematiksel işlem uygulanması sonucu bulunur. Risk öncelik sayısının bir değeri veya anlamı yoktur, sadece hataların kritiklik yönünden göreceli olarak karşılaştırılmasını ve sıralanmasını sağlar.

Değerlendirme aşamasında aşağıda belirtilen göstergelerden yararlanılır:

- Olasılık (Sıklık, ortaya çıkma)
- Şiddet (Ağırlık, ciddiyet)
- Keşfedilebilirlik (Saptama, bulma, tespit)
- Kritiklik Sayısı veya RÖS

- **Olasılık (Sıklık, ortaya çıkma)**

Hatanın ortaya çıkma sıklığını gösterir ve her bir olası hata türünün gerçekleşmesi olasılığı ile ilgilidir. Ortaya çıkma olasılık değerini belirlemek için iki farklı yaklaşım vardır. Birincisi, bir hata türü (veya nedeni) için ortaya çıkma olasılık değerini belirlemektir. Diğerinde ise olasılık değeri hata nedeni ile onun sonucunda ortaya çıkan hata türünün ilişkilendirilmesi ile bulunur. Neden oluşursa, hata türünün de oluşacağı esas alınır. Bu durumda olasılık değeri, hata nedeni ortaya çıkma

[101] A.e., s.63

olasılığı P_1 ile hata nedeni oluştuktan sonra bunun hata türüne yol açması koşullu olasılığı $P_{2/1}$'in çarpımı ile bulunur.[102]

Hata nedeninin oluşma olasılığı istatistiksel yöntemler ve benzer ürünlerden yararlanarak belirlenir. Her bir nedenin, hata türünün oluşmasındaki katkısının ise varyans analizi, Taguchi teknikleri, Bayes analizi gibi istatistiksel yöntemlerle veya benzer ürünlerin verilerinden yararlanarak belirlemek olanaklı olacaktır. Veri tabanları oluşturulmamışsa ve hesaplama yöntemleri kullanılmıyorsa, grup üyelerinin deneyimlerinden yararlanılarak olasılık değerlerini kestirmeleri istenir.

- **Şiddet(Hatanın Ağırlığı)**

Ağırlık ile müşteriye yansıyan olası hata sonuçlarının düzeyi değerlendirilir. Hata ağırlılığı etkiye karşılık gelir ve aralarında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Hatanın etki düzeyi arttıkça ağırlık da artar. Ağırlılık derecesini belirlemek için kullanılan veri kaynaklan hata etkisini belirlemede kullanılanlarla aynıdır. Hata ağırlılığını belirlemek için müşteri anketlerinden, geri dönen ürünlerle ilgili tutulan kayıtlarından, geçmiş dönemlerde benzer ürün veya sistemler için tutulan kayıtlardan, laboratuvar deneyleri veya simülasyon çalışmaları sonuçlarından ve analizi gerçekleştiren kişilerin deneyimlerinden yararlanılır.[103]

Hata şekillerinin olası sonuçlarını, niteliksel bir ölçü ile değerlendirebilmek amacıyla sınıflandırma yapılır. Ağırlılık sınıflandırması olarak adlandırılan bu sınıflandırmada analiz edilen her birimin, ürünün veya sistemin hata türünün sonuçları kayıp ile ifadesidir Kayıplar sistemin hasar görmesi, fonksiyonunu yitirmesi can kaybı, yaralanma şeklinde ortaya çıkar. Kayıp miktar ve çeşitleri, hata etkisinin derecesini belirler. Etki derecelerini belirlemek için aynı zamanda sistemin girdi ve çıktılarındaki kayıpları esas alan tanımlar da kullanılabilir.

- **Keşfedilebilirlik (Hata Saptama)**

Olası hatanın, bir sonraki aşamada veya son müşterinin kullanımı esnasında ortaya çıkacağı varsayıldığından, öngörülen saptama önlemlerinden geçmiş olması

---

[102] A.e.

[103] "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

gerekir. Bu nedenle, saptama ile ilgili olasılık değeri, ortaya çıktığı varsayılan hata nedeninin ya da şeklinin müşteriye ulaşabilme olasılığı olarak tanımlanır. Bazı işletmelerin bu olasılık değerini, hatanın müşteriye ulaşmama olasılığı olarak aldığı görülmektedir. Olasılık değerleri, analiz edilen birimlerin benzerlerinin, geçmiş dönem verilerinden, ürün iç denetlemelerinden bulunabilir. Olasılık durumu kestirilemediği durumlarda ona bir değer verebilmek için grup üyelerinin deneyimlerine başvurulur.[104]

- **Risk Öncelik Sayısı**

Risk öncelik sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS her bir hata türü veya nedeni için "önemlilik", "ortaya çıkma" ve "saptama" gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılıksal olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. RÖS ile her bir hata türü (nedeni) için riskler tanımlandığından en büyük RÖS'e sahip olandan başlayarak uzun dönemde ortadan kaldırılması, kısa dönemde enküçültülmesi için alınacak düzeltici önlemler belirlenir.

4.Aşama : İzleme-Uygulama

FMEA tekniğinin bu adımı, öngörülen düzeltici önlemlerin, yeterli etkinlikte uygulanmaya alınıp alınmadıklarının doğrulanması ve yeni sonuçların incelenmesi ve değerlendirilmesi aşamasıdır. Düzeltici önlemlerin devreye alınması açısından büyük önem taşır. Bu aşamada kritik RÖS değerleri ortadan kaldırılıncaya kadar çözümler incelenir ve değerlendirilir. İzleme işlemi ile şunlar sağlanır:[105]

- Düzeltici önlemlerin kesinlikle alınması sağlanır.
- RÖS düzeylerinin azaltıldığı doğrulanır.
- Gerçekleşen iyileşmeler korunur.

Oluşabilecek hata nedenlerini önleyebilmek için düşünülmüş yeni önlemler, izleme aşamasından sonra ilgili kişilerce uygulamaya alınır. Uygulama aşamasında plan, proses akış diyagramları, imalat araçları, organizasyonda öngörülen değişiklikler gerçekleştirilir.

---

[104] Boran, a.g.e., s.66

[105] A.e., s.82

5.Aşama : Doğrulama

Her şey yolunda gidiyor diyebilmek için gerçekleştirilmesi gereken analizin en son aşamasıdır. Doğrulamada amaç, düzeltici önlemlerin uygulandığını doğrulamak ve yeni oluşan hataları belirlemektir.

FMEA uygulaması esnasında kullanılan bilgilerin yer aldığı tablolar, amaçlar, bütün kabul ve koşullar, sonuç ve öneriler gibi analizle ilgili bütün her şey raporlanmalıdır. Bu FMEA raporları, ilgili birim ve kişilere sonraki çalışmalarda kaynak olması amacıyla dağıtılmalıdır.

Bu tekniğin en olumlu özelliği, güçlüğünün bir ürün veya sistem için bir kez hazırlandıktan sonra sona ermesidir. Böylece bundan sonraki yeni ürünler için yapılacak çalışma, sadece var olan ürünler için yapılmış çalışmaları güncelleştirilmesi ve değiştirilmesi şeklinde olacaktır. Uygulamada bu işlemlerin sadece tasarım hatalarıyla karşılaştıklarında ya da ürün ve proseste bir değişiklik olduğunda analizi güncelleştirdikleri görülmektedir. Ancak güncelleştirmenin, şikayetler olduğu, hatalar ve sorunlar tanımlandığı, yeni makina kullanımı söz konusu olduğu, proses geliştirme faaliyeti, bir işgören eklendiği, ürüne ve makinaya yeni özellikler katıldığı zaman da yapılması gerekir.

1.6.2.3 Hata Ağacı Analizi

Hata Ağacı Analizi (HAA) ürünle ilgili kritik hataların veya ana (majör) hataların, nedenlerinin ve potansiyel karşıt önlemlerinin şematik gösterimidir. Bu teknik yeni ürün tasarımı veya var olan ürünün geliştirilmesindeki ilgili alanların tanımlanmasını sağlar. Ayrıca düzenleyici hareketleri veya problem azaltıcı hareketleri tanımlar. HAA'nın amacı hataların gidiş yollarını, fiziksel ve insan kaynaklı hata olaylarına neden olacak yolları tanımlamaktır. HAA belirli bir hata olayı üzerine odaklanan analizci bir tekniktir. Daha sonra olası alt olayları mantıksal bir diyagramla şematize eder. Grafik olarak insan yada malzeme kaynaklı hasarları olası kombinasyonların meydana geliş olasılıklarını ortaya çıkarabileceği önceden öngörülen istenmeyen hata olayını (en üst olay) grafik olarak gösterir. HAA çok geniş kapsamlı olarak dayanılabilirlik, güvenlik ve risk analizinde kullanılabilir.

HAA niceliksel bir teknik olarak bir hatayı alt bileşenlerine ayırarak irdelediği için kullanışlıdır. Bu şekilde sistemi oluşturan her bir parçanın modifiye edilmesi, çıkarılması yada elde edilmesine olanak sağlar. HAA tanımlamada tasarımda, modifikasyonda, operasyonda, destekli kullanımda yada bir boşaltım sisteminde kullanılabilir.[106]

Özellikle hiçbir işletim geçmişi olmayan yeni teknik proseslerin kullanımında çok yararlı olur. HAA'dan elde edilen değerler bir dizi mantık diyagramları olarak bazı kombinasyonların olası hatalara nasıl yol açabileceğini gösterir. Elde edilen değerler nitelikseldir. Elde edilen hasar verileri oranlanabilirse ya da hasar olayları için öngörüler varsa sonuçlar niceliksel hale getirilebilir. Bir hata ağacı bütün olası bileşke hasar türlerini ya da hata olaylarını içeremez. Genellikle en üst olaya göre düzenlenirler ve zamanla kısıtlanırlar.

Hata Ağacı Analizi, sistemde tehlike olarak kendini gösteren olası tüm problem veya hataların tanımlanmasında ve analizinde kullanılan sistematik bir yolu temsil eder.[107] HAA her düzeyde tehlike oluşturan hataların analizini yapar ve bir mantık diyagramı aracılığı ile enbüyük olayı (kaybı) yaratan hataların ve problemlerin olası tüm kombinasyonlarını gösterir.

Ürün geliştirme prosesinin yanı sıra ürün kalitesine etki eden en önemli faktörlerden biri hatalardır. HAA, TKY ve eşzamanlı mühendislik çalışmalarında ürün ve üretim sisteminin tüm aşamalarında ortaya çıkan ve çıkabilecek hataların analizine yönelik olarak kullanılabilir.[108]

HAA sistem güvenilirliğini ve emniyetini tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. Analiz tasarımcının çözüm önermesi gereken hata türlerini tanımlaması ile başlar ve hataya neden olabilecek ana nedenlerin araştırılması ile devam eder. Ayrıca hatanın belirlenmesinde söz konusu aşamalara yol göstererek karmaşık ve karşılıklı ilişkiler sonucu ortaya çıkan olumsuzluğun belirlenmesini ve bu olumsuzluğun

---

[106] "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

[107] A.e.

[108] A.e.

oluşma olasılığını değerlendirmeyi amaçlar. Bu yönüyle HAA, FMEA tekniği ve diğer kalite araç ve teknikleri ile amaç birliği içinde uygulanabilir.

HAA sistemde tehlike olarak kendini gösteren olası tüm problem veya hataların tanımlamasının sistematik yoludur. HAA problemlerin çözümüne yönelik olarak düzeltici nitelikle kullanıldığı gibi verimli ürün geliştirmeye yönelik çalışmaların planlanmasında belirleyici niteliği ile de kullanılabilir.

HAA'nde oluşması istenmeyen olayın kökündeki nedene kadar inilerek istenmeyen diğer olası hatalar ve onların nedenleri ortaya çıkarılır. Tüm bu hataları ve nedenlerini görüntülemede tekniğin kendine özgü mantık sembollerinden yararlanılarak hatanın soy ağacı çıkarılır.

HAA, olası hata türlerinin ve nedenlerinin ortaya çıkarılmasıyla ürün geliştirme çalışmalarında hata olasılıklarını azaltmaya yönelik stratejilerin belirlenmesinde, ürün ve sistem tasarımına yönelik önerilerin ortaya çıkarılmasında, ürün ve sistemle ilgili hata kataloglarının hazırlanmasında kullanılır.

HAA önleyici niteliğe sahip bir kalite tekniğidir. Bu nedenle tasarım veya ürün geliştirmede çalışanlara kaliteyi güvence altına almaya yönelik bilgi üretir. HAA ile bir sistem kavramı doğru olup olmadığına yönelik olarak araştırılabilir. Özel deneyler yapmadan öngörülen koşulların hatasız yerine getirilip getirilemeyeceğini belirlemeye olanak verir. HAA problem çözücü niteliğe sahiptir. HAA da FMEA gibi sistem analizine gerek duyar. Sistem analizi olgusunun içerdiği ön koşulları aşağıdaki şekilde özetlemek olanaklıdır.

- Sistem ilişkisi çerçevesinde düşünülmesi,
- Kritik sistem elemanlarının seçilmesi,
- Kritik işletme koşullarının belirlenmesi.

Ağaçlar hiyerarşik modellerdir ve bu modeller güvenlik, dayanabilirlik ve risk değerleri açısından performans değerlendirmede önemli rol oynar. Mantık ağacı modelleri FMEA gibi kalite planlamada ya da kalite sağlamada kalite fonksiyonu

yayılımı aşamasında vazgeçilmez bir faktördür.[109] Bu tekniğin kullanımı aşağıdaki adımları içerir:

- Analiz için bir bileşen seçilir.
- Bileşenle ilgili kritik bozulmalar ve hatalar tanımlanır.
- Her hatanın nedeni tanımlanır.
- Bir kök nedene doğru ilerlenir.
- Her kök neden için karşıt ölçümleri tanımlanır.

Tüm bu amaçlara yönelik olarak HAA uygulayıcıları diğer tüm kalite araç ve tekniklerinde olduğu gibi amaçların belirli olduğu sistematik bir yol izlemek durumundadırlar. Bu yol genel olarak tanımlama, planlama, değerlendirme ve sonuçların analizi ve önerilerin belirlendiği adımlardan ibarettir HAA diyagramları hem düzeltici hem de belirleyici analiz elemanı olarak kullanılabilir. Düzeltici bir anlayışla kazaları ve olayları kontrol etmeye yönelik olarak kullanılanlara "hata veya kök neden ağaçları" denir.

Ağaç diyagramları aynı zamanda etkili ürün operasyonlarında ileri gelişmeler, projeler, programlar ve organizasyonlar için gerekli gereksinimleri sistematik bir yaklaşımla organize etmekte ve planlamakta belirleyici olarak kullanılabilir. Bununla birlikte ağaç diyagramları olayların oluşumunun içeriğini analiz etmekte de kullanılabilir.

1.6.2.4 Poka - Yoke

Poka-Yoke kavramı Japonya'da geliştirilmiştir. İlk defa 1986 yılında Shigeo Shingo tarafından açıklanmıştır.[110] Poka-Yoke şu anlama gelmektedir:

Poka : Kaza ile herkesin yapabileceği hata (Görülmeyen rassal hata)
Yoke : Korumak (Azaltma)

Bu tekniğin kullanılması ile rassal hataların azaltılması, üretim prosesinde hatasız ürün üretimine yönelik koşulların gerçekleştirilmesi ve gelecekte

---

[109] "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

[110] A.e.

oluşabilecek hataların %100 önlenmesi koşulu hedeflenir.[111] Bu hedef, sıfır hata **"Zero Defect"**tir. Poka-Yoke tekniğinin uygulanması çok gelişmiş bir kalite kültürünün sağlanmış olmasını gerektirmektedir. Müşteri için problemlere neden olan spesifik hataların oluşumunun engellendiği bir tasarım operasyonudur.

1.6.2.4.1 Poka-Yoke Ne Zaman ve Nasıl kullanılmalı

Hatalar ortaya çıktığında kullanılabilir ve bu durumda %100 kontrol yapmayı gerektirir. Bu kontroller:

- Hammaddelerin ve bileşenlerin
- Üretim prosesinin başlangıcı ve
- Hatanın ortaya çıkabileceği üretim noktalarında

yapılır.

Poka Yoke sisteminde otomatik ve sürekli kontrol sağlar. Eğer anormallikler ortaya çıkarsa, sistemi geriye doğru incelemek ve harekete geçmek gerekir. Fakat prosesin tekrar başlayabilmesi için birisinin prosesi durdurması gerekir. Bundan sonra sistemin gelişimi incelenir.

1.6.2.4.2 Poka-Yoke'nin Yararları

İstatistiksel kalite kontrol sistemlerinden farklı olarak bunlarda kontrol ve gerekli eylemin yapılması arasındaki süre oldukça uzundur. Poka-Yoke hataları enaza indirir. Bunu da kontrol ve eylemi seri olarak düşük maliyetli şekilde sağlar. Poka-Yoke tekniğinin temel felsefesi, hata kaynaklarının gerçekte yanılgılardan ve yanlışlıklardan ileri geldiği yaklaşımından oluşmuştur. Söz konusu yanılgı ve yanlışlıklar şu şekilde örneklenebilir.[112]

- Unutmak
- Karıştırmak
- Değiştirmek
- Yanlış anlamak
- Okuma hatası
- Bilgi ve iletişim eksikliği

---

[111] Taptık, Keleş, a.g.e., s.156

[112] "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

Poka-Yoke'de her türlü hataya neden olabilecek sistem elemanlarının etkisiz bırakılarak üründe herhangi bir hata oluşumunun engellenmesine bağlı olarak "delicesine güvenilirlik" sağlanır. Poka-Yoke, üretim prosesinde olası her türlü hatanın eksiksiz belirlenmesini takiben uygulanır.[113]

Poka-Yoke tekniği öncelikle prosesteki insan hatalarının ortaya çıkarılıp yok edilmesi için tasarlanmış bir tekniktir. Bu tekniğin gerektirdiği anlayış çerçevesinde hatalar kaynağında önlenmeye çalışılır. Buna yönelik olarak öncelikle problemin oluşması engellenmeli, problem oluşmuşsa daha büyük kayıplara neden olmadan işlemin durdurulması gereklidir.

Poka-Yoke prosese odaklanmış bir kalite tekniğidir. Müşterinin sıfır hatalı ürün talebi karşısında giderek önem kazanan bir kalite tekniğidir.[114]

[113] Taptık, Keleş, a.g.e., s.156

[114] A.e., s.157

BÖLÜM 2

DENEY TASARIMI ESASLI ENİYİLEME YÖNTEMLERİ

Gün geçtikçe pahalılaşan araştırma-geliştirme giderlerini en düşük seviyede tutmak için enaz deneyle sonuca gitme ilkesine dayanan birçok deney tasarım yöntemi geliştirilmiş ve bunlar geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntemlerin uygulama alanlarından biri de tasarım eksikliği nedeniyle karşılaşılan kalite (tasarım eniyileme) problemlerinin çözümüdür.[1]

Kitle üretiminin düşmanı değişkenliktir. Değişkenliğin kontrol altında tutulması ile kalitenin yükseltilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi sağlanabilir. Performans değerindeki değişkenliğin enküçüklenmesiyle, ürünün her kopyasının, ürünü satın alan müşterinin beklentilerini karşılaması garanti altına alınmış olur. Müşteriler tam beklediği gibi çalışan ürünler satın almak, üreticiler de pazar payını arttırmak ister. Kaliteli ürünle pazar payını artıracak ve sarsılmaz müşteri bağlılığı sağlayacaktır.[2]

2.1 DENEY TASARIMI

Bir ürünün kalitesi, tasarım, uygunluk ve kullanım kalitesi olmak üzere üç yönde oluşmaktadır. Ürünün performansındaki varyasyon bu üç aşamadan kaynaklanabilmekte, varyasyonları enküçüklemek için, ürün geliştirilirken bu üç konunun dikkate alınması gerekmektedir. Bugüne kadar kalite tekniklerinin çoğu üretim prosesini kontrol altında tutarak uygunluk kalitesinin geliştirilmesine ilişkindir. Oysa ürün ve proses tasarımı geliştirilerek hem üretim kusurlarını azaltmak hem de proses kontrollerini azaltmak olanaklıdır. Ürün tasarım aşamasından sonra üretim sırasında kullanıma uygunluk sınırlarının dışına çıkabilmektedir. Çünkü proses ne kadar duyarlı ayarlanırsa ayarlansın yanlış tasarım nedeniyle proseste oluşabilecek temel bozukluklar giderilemez. Ancak üretim prosesine tam kontrol söz konusuysa ürün tasarımlandığı gibi üretilebilir. Ürün ve proses tasarımı aşamalarında uygulanacak bir kalite kontrolü ile ürünün

---

[1] Cafer Çelik, "Tasarımda Yönlendirilmiş Tasarım Teknikleri", Endüstri Mühendisliği, Cild.7, sayı.6, 1996, s.14

üretilebilirliğini ve güvenilirliğini geliştirmek, kullanım maliyetlerini azaltmak olanaklı olabilmektedir. Ürün ve proses tasarımını geliştirmeye yönelik yöntemler maliyet arttırmadan üretim kusurlarını azaltmaktadır.[3]

2.2 KALİTE GELİŞTİRMEDE DENEY TASARIMI

İstatistiksel kalitenin geliştirilebilmesi için tasarlanmış deneylerin uygulanması güçlü bir yöntemdir ve doğru uygulandığında prosesler hakkında önemli miktarda derin bilgi edinilmesini sağlar. Bu yöntemler literatürde genellikle iyi bir şekilde ele alınmıştır ve öğrenciler ile pratisyen mühendislere genellikle iyi bir şekilde öğretilmiştir. Ancak tasarlanmış deneylerdeki başarının anahtarı bir çok istatistiksel bilginin odaklandığı tasarım ve analizden ibaret değildir. Fakat aynı zamanda deneyin yürütülmesidir. Problemin formülasyonuna daha fazla zaman ve çaba harcanmalıdır. Bu araştırılacak kalite karakteristiğinin seçimidir. Aynı zamanda nasıl ölçüleceği ve faktör ve seviyelerinin seçimiyle de ilgilidir. Bu yapıldığı takdirde proses hakkında büyük ölçüde bilgi sahibi olunacaktır ve çeşitli diğer etkiler hakkında da gözlem yapmak olanaklı olacaktır. Tasarlanmış deneylerin kullanımını haklı çıkaran işte bu yan ürün etkileridir. Dolayısıyla tasarlanmış deneylerin uygun kullanımı proses hakkında bilimsel yöntemin uygulanması yoluyla bilgi kazanmak için bir araç sağladığı kesin olarak anlaşılmalıdır. Yöntemin aşamaları şunlardır: [4]

- Formülasyon
- Model İnşası
- Test etme
- Uygulama

Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu da şudur: Deneyin yürütülmesinde dokümantasyon ve geliştirilmiş iletişim gereksiniminin kuvvetlendirilmesidir. Özellikle bu buluşları üst yönetime sunmak ve beğendirmek için de gereklidir. Bu

---

[2] A.e.

[3] Üzeyme Doğan, **Kalite Yönetimi ve Kontrolu**, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991, s.43

[4] Robert Raeside, "Taguchi Experimental Design Techniques to Engineers", **International Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.12, No.1, 1995;47-52, s.47

şekilde hareket edildiğinde değişiklik yapmak kolaylaşacaktır.[5] Bu pratik konuların öğretilmesi zordur. Resmi sınıflar tasarım ve analizin istatistiksel yönüne boğulurlar; ki bunlar aslında öğretilmesi ve değerlendirilmesi en kolay olanlardır.

Bu yöntemlerin hedefi ürün performansını çevre değişkenlerine, aşınma ve üretim kusurlarına duyarsız kılarak, üretim ve ürün kullanım maliyetlerini azaltmaktır.

Kalite literatüründe sözü çok sık edilen klasik bir örnek de Japonya'da İna Seramik işletmesinde 1953'te gerçekleştirilmiş bir uygulamadır. Seramik üretimi sırasında, fırın içi sıcaklık dağılımındaki farklılık nedeniyle, pişirilen seramiklerin boyutlarında önemli farklar oluşmakta ve sonuçta toplam ürünün büyük bir bölümü ıskartaya çıkarılmaktadır. Bu tür durumlar için geleneksel (Taguchi öncesi) yaklaşım, işletmesinin fırın içi ısısını herhangi bir şekilde kontrol ederek, ısı dağılımını homojen hale getirmeye çalışmasıdır. Geleneksel yaklaşımda amaç, kaliteyi bozan nedeni bularak, onu ortadan kaldırmaktır. Bu yaklaşım fırın içi ısısını kontrol edecek cihazların satın alınmasından, fırınların yeni baştan inşasına kadar, hepsi maliyeti yükselten bir dizi önlem anlamına gelmektedir. İşletme farklı bir yaklaşım benimser. Isı dağılımını kontrol etmek yerine, ısı farklılığının seramik boyutlarında oluşturduğu etkiyi enküçükleyecek bir formül araştırır. Bu amaçla, çeşitli katkı maddelerinin ve diğer faktörlerin (toplam yedi faktör) seramik boyutlarına olan etkisini belirlemek üzere, oldukça basit bir deney tasarımlanır ve üretim koşullarında uygulanır. Deneyin en önemli sonucu şudur: Seramik hammadde formülünde yer alan kireç oranının %1'den %5'e çıkarılması, seramik boyutlarındaki varyasyonu mevcut değerin 1/10'una indirmektir.[6] Bu iyileştirme sonucunda fire oranının da %30'dan %5'e düştüğü tespit edilmiştir.[7]

Deney tasarımı, üretim prosesiyle ilgili kalite karakteristiklerini etkileyen önemli faktörlerin belirlenmesinde çok yardımcı olur. Tasarlanmış bir deney, girdi

---

[5] A.e.

[6] Mete Şirvancı, **Kalite İçin Deney Tasarımı:Taguchi Yaklaşımı**,Literatür Yayınları, No.23, 1997, s.17-18

[7] Doğan, a.g.e., s.43

faktörlerinin sistematik olarak değiştirilerek çıktı üzerindeki etkisinin belirlenmesi yaklaşımıdır.

Deney tasarımı, faktör etkilerinin ölçülmesinde 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 ise 3^n olur (burada n faktör sayısını gösterir). Yani her bir faktöre ait tüm seviyeler için deneme yapmak gerekmektedir. Bu da faktör sayısı arttıkça deneme sayısında geometrik bir artışa neden olacaktır. Deneme sayısındaki söz konusu artış maliyetleri de çok fazla arttırdığından ve önemli ölçüde zaman aldığından kalite iyileştirmede kullanılmaya elverişli olamamıştır. Ancak yine deney tasarımına dayalı ve bu dezavantajı gideren istatistiksel yöntemler geliştirilmiş ve kalite geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır.[8] Taguchi Yöntemi ve Shainin Yöntemi bunlardan sadece ikisidir.

Yapılan bir deneyin amaçları arasında şunlar sayılabilir:[9]

1. Ürün performansı üzerinde en çok etkisi olan faktörlerin belirlenmesi.
2. Ürün performansının istenilen hedef değere yakın olmasını sağlamak için etkili faktörlerin değerlerinin belirlenmesi.
3. Ürün performansındaki varyasyonu enküçükleyen etkili faktör değerlerinin belirlenmesi.
4. Kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini enküçükleyen etkili faktör değerlerinin belirlenmesi.

Deney tasarımı, üretim prosesi performansını arttırmak ya da dış kaynaklı değişkenlere karşı duyarsız bir üretim prosesi elde etmek için yeni bir üretim prosesi geliştirmekte ya da üretim prosesindeki sorunlara çözüm bulmakta kullanılır.

---

[8] M.Emin Aydın, "Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Segman Sanayiinde Bir Uygulama", **Standard**, Ekim 1994, s.104

[9] C.Hakan Kağnıcıoğlu, "Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mayıs 1998, Eskişehir, s.24

Ürün veya proses geliştirme;

- Sistem tasarımı,
- Parametre tasarımı,
- Tolerans tasarımı

olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir. Sitem tasarımı, ilgilenilen ürünün veya prosesin temel fonksiyonel prototip modelini üretmek için mühendislik bilgilerinin kullanımını gerektirir ve bir takım yenilikleri içerir. Parametre tasarımında ise, klasik yaklaşımlardan farklı olarak, kontrol edilebilen faktörlerin iç (inner), kontrol edilemeyen faktörlerin de dış (outter) diziye yerleştirilerek incelendiği Şekil 2.1'deki deney tasarım modelinin kullanılması önerilmektedir[10].

Çok yüksek maliyet gerektirmeleri nedeniyle kontrol edilemeyen faktörlerin olumsuz etkilerini belirleyip ortadan kaldırmak yerine, bunların olumsuz etkilerini ortadan kaldıracak veya azaltacak kontrol edilebilen faktörlerin değerleri araştırılır. Kontrol edilebilen faktörler de performans değerine etkileri bakımından üç grupta sınıflandırılabilir:

- Kontrol faktörleri,
- Düzeltme faktörleri,
- Etkisiz faktörler.

Deneyler sonunda elde edilen performans değerleri ve performans istatistiği (Sinyal/Gürültü (SN) oranı: signal to noise ratio) bilgileri analiz edilerek bu sınıflama yapıldıktan sonra; kontrol faktörleri yardımıyla performans değerindeki değişkenlik azaltılır, düzeltme faktörleri yardımıyla da ortalama, hedeflenen değerine getirilir. Etkisiz faktörlerin de eniyi ve en ekonomik değerleri seçilir. Bilinen eniyileme yöntemleriyle benzerlik kurulacak olursa, açıklanan iki aşamalı çözüm yaklaşımının tasarım eniyileme problemini kısıtsız eniyileme problemine dönüştüğü söylenebilir.

Bir eniyileme prosesi olan parametre tasarımı sonunda değişkenlik yeterince azaltılamazsa tolerans tasarımı yapılmalıdır. Basit olarak tolerans tasarımı, performans değişkenliği üzerinde etkili olan bazı faktörlerin değişkenliğini ek harcamalarla azaltarak (kalitesini yükselterek) performans değerindeki değişkenli

[10] Çelik, (1996), a.g.e., s.18

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

azaltmaktır. Ek harcamalardan dolayı oluşan maliyet artışının hoş görülebileceği miktar, kayıp fonksiyonu (loss function) yardımıyla belirlenebilir.[11] Bu konu üçüncü bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

		Dış Dizi						
	U	-	-	.	.	.	.	+
	X	-	-	.	.	.	.	+
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.	.	.	.
	Z	-	+	.	.	.	.	-

Deney No	İç Dizi A	B	C	.	.	.	K	Veriler						Performans İstatistiği
1	-	-	-	.	.	.	-	Y_{11}	Y_{12}	.	.	.	.	Y_{1k}	Z_1
2	-	-	+	.	.	.	+	Y_{21}	Y_{22}	.	.	.	.	Y_{2k}	Z_2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
M	+	+	+	.	.	.	+	Y_{m1}	Y_{m2}	.	.	.	.	Y_{mk}	Z_m

Şekil 2.1 Taguchi Deney Tasarım Modeli[12]

Kalitenin somut bir ölçüsü ilgilenilen karakteristiklerdeki değişkenlik miktarıdır. Değişkenlik iki ana nedene bağlanabilir:

- Özel nedenler,
- Sistemden kaynaklanan (genel) nedenler.

Kalite geliştirmede hedeflenen seviyeye ulaşabilmek, bu yöntemlerin dengeli olarak kullanılmasıyla olanaklıdır. Üretim öncesi kalite geliştirme yöntemleri sistemden, üretim aşaması kalite geliştirme yöntemleri de özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği azaltmaya yönelik olarak uygulanmaktadır

2.2.1 Deney Tasarımının Tarihçesi

İstatistiksel deney tasarımı, 1920'lerde, İngiltere'de istatistik bilimine büyük katkıları olan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında

[11] A.e., s.19

[12] A.e., s.18

araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher henüz iyi tanınmadığı zaman, Londra yakınlarında Rothamsted adındaki bir tarım araştırma merkezinde küçük bir işte çalışmaktaydı. Rothamsted'taki çalışanlar, buğday, patates ve diğer tahılları en iyi yetiştirme yolları üzerinde çalışmaktaydılar. Seralarda kuşları dışarıda bırakarak sıcaklık ve nemi dikkatle kontrol eden, düzgün yapay toprakla deneyler yapmaktaydılar. Bunların yapılmasıyla çok yapay koşullarda büyüyen bitkilerin üretilmesiyle ilgili sonuçlar elde edilmekteydi. Bununla beraber, sonuçlar çiftçilerin tarlalarında ne olacağına karar verilmesinde yeterli olmamaktaydı.[13]

Sorun gerçek hayattaki "istenmeyen" ve mükemmel olmayan koşullarda deneylerin nasıl yapılacağıydı. Fisher, bunun nasıl yapılacağını gösterdi ve bu konudaki fikirleri özellikle ABD'de başta olmak bütün dünyada hızla uygulandı. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konumuna gelmesinde büyük katkısı olmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama seviyelerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır.[14] Fisher, ayrıca, deney verilerinin analizi bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir.

Fisher'in deneysel yöntemde oluşturulan çalışması insanlığın gelişmesinde ilerisi için atılmış en önemli adımlardan biri olduğu yavaşça ortaya çıkmıştır. Fisher, başlangıçta deneyin nasıl laboratuvar dışına çıkarılacağını göstermiştir. Onun yöntemi, tıp, eğitim ve biyoloji gibi pek çok önemli alanda ilgili, pratik bulgular üretmiştir. Özellikle fikirleri endüstriyel kuruluşlarda uygun bir şekilde geliştirildi. Pek çok istatistiksel olarak tasarlanmış deneyler ABD, İngiltere ve diğer bir çok ülkede endüstride uygulanmıştır. Ne yazık ki, uygulamalar genellikle Batı'da yönetimin bilgisizliği ve destek olmamasından dolayı yarım yamalak olmuştur. Diğer taraftan Japonya'da yönetim, yüksek kaliteli ürün ve prosesleri geliştirmek için bu

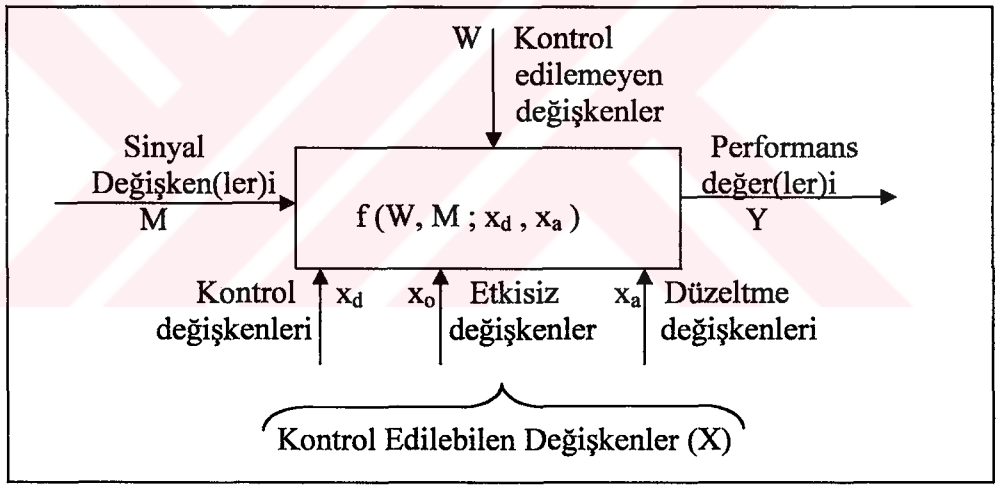
---

[13] George E.P.Box, Soren Bisgaard, "The Scientific Context of Quality Improvement", **Quality Progress**, June 1987, 54-61, s.56

[14] A.e.

gibi yöntemleri kullanma gereksinimleri duymaktadırlar ve çok ender olarak yanlış uygulamalar görülür.[15]

Deney tasarımı, daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, üretim sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır (Şekil 2.6). Amerika'da üretim sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetti. 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 sektörünce kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur.[16]



Şekil 2.2 Bir Ürünün (Prosesin) Blok Diyagramı[17]

[15] A.e., s.57

[16] Şirvancı, a.g.e., s.14

[17] Cafer Çelik, "Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistematik Bir Yaklaşım", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Anadolu Ünivesitesi, Fen Bilimleri Enst., 1993, s.40

2.2.2 Tasarım Eniyileme Problemi

Taguchi ve Phadke ürün (proses) girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi Şekil 2.2'deki blok diyagramı ile ifade etmişlerdir. Bu diyagramın performans değer(ler)i (çıktısı) Y ile gösterilir. Performansı etkileyen değişkenler üç gurupta toplanabilir:[18]

Sinyal Değişkenleri (M): Hedef performans değerlerini elde edebilmek için, değeri kullanıcı/operatör tarafından belirlenen değişkenlerdir. Sinyal değişkenleri (signal variables) tasarımcı tarafından seçilir. Bazen iki veya daha fazla sinyal değişkeni aynı bileşimde kullanılabilir. Bazı durumlarda ise sinyal değişkenleri sabit değer alır (Tasarımcı tarafından başlangıçta belirlenir, kullanıcının müdahalesi olmaz).

Kontrol Edilebilen Değişkenler (KD): Taguchi'nin tasarım parametreleri (desing parameters) kavramı ile ifade ettiği bu değişkenlerin değerleri tasarımcı tarafından belirlenir. KD bir parçanın boyutları, malzemesi veya bir devrenin çıkış voltajının seçimi gibi basit önlemlerle kontrol edilebilen değişkenlerdir. KD;

- 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 ve incelenebilir. Taguchi, x_a değişkenlerini düzeltme değişkenleri ve x_o değişkenlerini de etkisiz değişkenler olarak nitelendirmektedir. KD'i $X=(x_d, x_a, x_o)$ olarak ayırmanın asıl nedeni kontrol değişkenleri (x_d) ile ürün (proses) değişkenliğini enküçükledikten sonra düzeltme değişkenleri (x_a) ile performans karakteristiğini hedef değerine yaklaştırmaktadır. Yanı sıra etkisiz değişkenlerin (x_o) en ekonomik değerinin belirlenmesidir. Böylece hem ortalama hedefe yaklaştırılacak, hem de maliyetler enazalacaktır. Bu ise çok yönlü eniyileme anlamına gelmektedir.

---

[18] A.e., s.41

Düzeltme değişkenleri (x_a), sinyal değişkeni (M) ile ilgilenen performans değeri (Y) arasındaki arzulanan fonksiyonel ilişkinin sağlanabilmesi için kolaylıkla ayarlanabilen değişkenlerdir. KD'in eniyi değerleri bir kez belirlendikten sonra ürünün (prosesin) hedef değerlerinde yapılacak olan makul varyasyonlar (boyut büyütme, küçültme gibi) sadece düzeltme değişkenlerinin değerleri değiştirilerek geçekleştirilebilmektedir.

Kontrol edilebilen değişkenlerin her biri birden fazla değer alabilirler. Bu değerler, seviyeler (levels) veya konumlar olarak adlandırılmaktadır. Bir değişkenin alabileceği farklı değerler, o değişkenin değer kümesi olarak adlandırılmaktadır. Tasarım eniyileme çalışmalarının amacı, kontrol edilebilen değişkenlerin eniyi değerini belirlemektir. Eniyi değerleri belirlemede birden fazla ölçüt kullanılabilir.

Kontrol Edilemeyen Değişkenler (KED): Ürün (proses) kullanım ortamındaki sıcaklık, nemlilik, rüzgar, gürültü, toz, titreşim, ürünün aşınması, özelliğini kaybetmesi, hammadde ve bileşenlerinin toleransındaki değişiklik vb gibi kontrol edilmeleri çok zor olan veya olanaklı olmayan değişkenlerdir. Bunlar ilgilenilen performans değer(ler)i üzerinde bozucu etkiye sahiptirler. Bu değişkenlerin seviyeleri, bir üründen diğer ürüne, bir çevreden diğer bir çevreye veya bir andan diğer bir ana göre değişir. Phadke'ye göre KED'in gerçek değerleri değil, sadece istatistiksel karakteristikleri bilinir. Bu nedenle performans değişkenliğine neden olan en önemli KED bulunup ortadan kaldırılamaz. Bunun yerine ürünü KED'e karşı daha duyarlı KD'in değerlerinde ayarlamalar yapılır. Yani kaliteyi olumsuz yönde etkileyen KED'i giderme yerine, bu değişkenlerin etkilerini azaltmaya veya ortadan kaldırmaya çalışılır. KED içsel ve dışsal değişkenler olmak üzere iki gurupta toplanabilir. Ürün hem iç ve dış, hem de birimden birime olan değişkenliklere karşı daha dayanıklı (duyarsız–sağlam) olarak tasarlanmalıdır. Bu amaçla KD'in seviyelerinin farklı kombinasyonlarında (bileşimlerinde) ürün performansının değerleri araştırılır. Böyle bir çalışma sonucu tasarlanan ürünler robust (sağlam, güçlü) tasarım olarak adlandırılır.[19] İzleyen kesimde kullanılan matematiksel ifadelerde; KD yerine $X= (x_d,x_a,x_o)$, KED yerine ise $W=(w_1,w_2, \ldots ,w_n)$

[19] A.e., s.43

gösterimi kullanılacaktır. Sinyali, kontrol, düzeltme ve kontrol edilmeyen değişkenlere bağımlı olan performans değeri, açık yazılırsa;

$$Y=f(W, M ; x_d , x_a) \quad (2.1)$$

fonksiyonu ile ifade edilebilir. Kavramsal olarak *f* fonksiyonu iki parçadan oluşur.[20]

- Y ile M arasında arzulanan ve kestirilebilen fonksiyonel ilişki, $g(M;x_d,x_a)$,
- Y ile M arasında daha az arzulanan ve kestirilemeyen fonksiyonel ilişki, $e(W,M;x_d,x_a)$.

f fonksiyonu yeniden yazılırsa ;

$$Y=g(M;x_d,x_a) + e(W,M;x_d,x_a) \quad (2.2)$$

eşitliği elde edilir. Y ile M arasındaki ilişkinin doğrusal olması istendiğinden *g*, M'nin doğrusal fonksiyonu olmalıdır. Doğrusal olmayan bütün terimler ve kontrol edilemeyen değişkenlerin etkileri de *e* içinde olacaktır.

Performans karakteristiğinin yapısına göre bazı farklılıklar göstermesine rağmen, genel olarak, tasarım eniyilemesi iki adımda yapılabilir.[21]

1. Y fonksiyonun kestirilebilen kısmı (g) enbüyüklenirken, kestirilemeyen kısmını (e) enküçükleyen kontrol değişkenlerinin (x_d) değerleri belirlenir.
2. Kestirebilen kısmını (g) hedef değere yaklaştıran düzeltme değişkenlerinin (x_a) değerleri belirlenir.

Bu proseste birinci adımda değişkenlik azaltırken, ikinci adımda ise duyarlılık artırılmaktadır

2.3 DENEY TASARIMI ESASLI ENİYİLEME YÖNTEMLERİNİN UYGULANDIĞI PROBLEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Parametre tasarım (PT) problemleri statik ve dinamik olmak üzere başlıca iki gurupta ele alınmaktadır. Her gurup kendi içinde alt guruplara ayrılmaktadır. Performans karakteristiğinin yapısı, bu ayrımı belirleyen en önemli faktördür. Performans karakteristiğinin durumuna göre kullanılacak kalite kayıp fonksiyonu ve performans istatistiği de farklı tanımlanır.

---

[20] A.e.

[21] A.e.

Taguchi'nin PT deneyi için kalite karakteristikleri iki ana sınıfta ele alınır:[22]

- Statik kalite karakteristikleri,
- Dinamik kalite karakteristikleri.

Statik kalite karakteristikleri daha küçük daha iyi (STB:Smaller-the-Better), daha büyük daha iyi (LTB:Larger-the-Better), nominal en iyi (NTB:Nominal-the-Best) ve sınıflandırılmış nitelikler olarak adlandırılırlar. Bir prosesin, özel faktör durumu kalite karakteristiğinde doğrudan etkiye sahip olduğu zaman dinamik kalite karakteristiği sergilediği söylenir. Bu faktör ayarlama faktörü olarak adlandırılır. Böyle karakteristiklerin kullanma avantajı prosesin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bununla beraber, pek çok proses için dinamik karakteristiklerini tanımlamak karmaşık bir prosedürdür.[23]

2.3.1 Statik Parametre Tasarım Problemi

Performans karakteristiğinin hedef değerinin tasarımcı tarafından başlangıçta sabit olarak belirlendiği problemler statik parametre tasarım problemi olarak adlandırılmakta ve Şekil 2.3'teki gibi ifade edilmektedir.[24]

KED'in rassal ve tasarımcının kontrolü dışında olduğu bilindiğinden Y=f(X,W) transfer fonksiyonu altında KD değiştirilerek farklı performans değerleri (Y'ler) elde edilir. Amaç(lar)a uygun olarak, beklenen kayıpları enküçükleyen KD değerleri eniyi tasarım değerleri olarak belirlenmektedir.

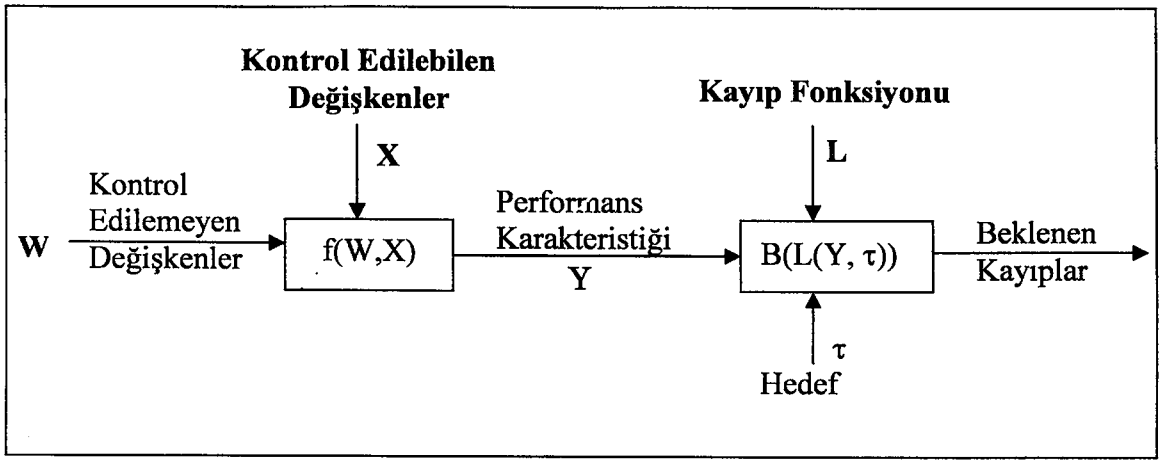
Statik Taguchi uygulamaları ile belirli bir performans seviyesi veren ürün tasarımı veya üretim prosesi araştırılır. Örneğin, bir enjeksiyon yapıştırma makinası için statik uygulama, tek bir yapışma tasarımı için eniyi işleme koşulları bulunur.

---

[22] J.Antony, "Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Loss Function", **Int.J.of Adv. Manuf. Technology**, 2001, **17**:134-138, s.136

[23] A.e.

[24] Çelik, (1993), a.g.e., s.48



Şekil 2.3 Statik Parametre Tasarım Probleminin Blok Diyagramı[25]

2.3.2 Dinamik Parametre Tasarım Problemi

Dinamik yaklaşım, bugünün gereklerini karşılayan bir tasarım üretmek için bir organizasyona olanak sağlar; fakat yarının isteklerini öngörmek için kolayca değiştirilebilir. Bu son belirtilen yaklaşım, gelecekteki bir bilinmeyen gereksinim için beklenmedik durumu planlama olarak düşünülebilir. Dinamik uygulamalarda, bir kontrol faktörü performansı bir değere götürür ve bir ayarlama faktörü, bu faktör için tasarımın duyarlılığını değiştirir. Yatay eksen kontrol faktörü ve düşey eksen de yanıt olarak alındığında, aralarındaki ilişki bir doğru ile çizilir ise, ayarlama faktörü doğrunun eğimini değiştirir. Böylece analizin sonucu, kontrol faktöründeki varyasyonlar ile bir ürünün duyarlılığında bir azalma olacaktır.[26]

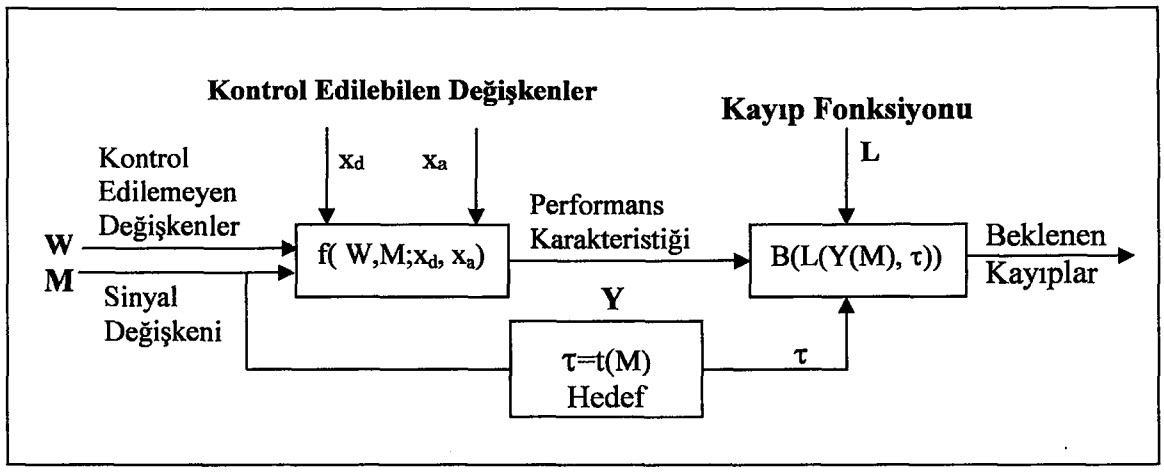
Bazı durumlarda ürünün (prosesin) özelliğinden dolayı hedef tasarımcı tarafından başlangıçta sabit olarak belirlenemez. Böyle durumlarda performans karakteristiği ve onun hedef değeri, bir veya birkaç sinyal değişkeni tarafından ürünün (prosesin) kullanımı anında belirlenir. Amacı performans karakteristiğini ve hedef değerini dinamik olarak kontrol etmek olan bu sistemlere dinamik sistemler denir. Bu sistemler için kullanılan parametre tasarım problemi de dinamik parametre

---

[25] A.e., s.49

[26] Thomas Lofthouse, "The Taguchi Loss Function", **Work Study**, Vol.48, No.6, 218-222, 1999, s.220

tasarımı olarak adlandırılır ve dinamik sistemlere ilişkin parametre tasarım problemi Şekil 2.4'teki gibi belirlenebilir.[27]



Şekil 2.4 Dinamik Parametre Tasarım Probleminin Blok Diyagramı[28]

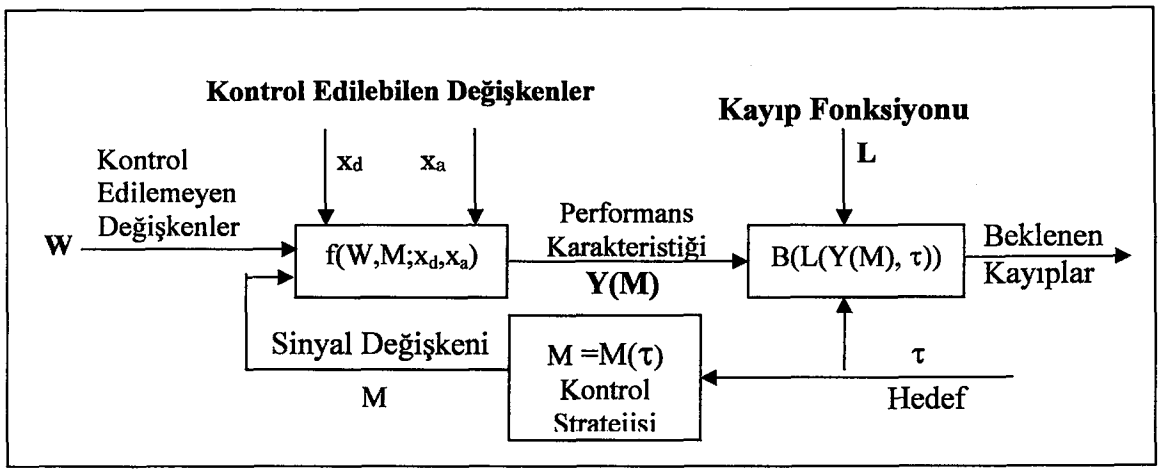
Dinamik parametre tasarım probleminin statik parametre tasarımı probleminden farklı bir sinyal değişkenin olması ve hedef değerinin de bu sinyal değişkeni tarafından belirlenmesidir. Ancak Şekil 2.4'teki diyagram bütün dinamik parametre tasarım problemlerini kapsamaz. Buna göre biraz farklılık gösteren kontrol probleminin diyagramını ayrı göstermekte yarar vardır. Bu kontrol problemi Şekil 2.5'teki gibi ifade edilmektedir.[29]

Bu diyagramda, sinyal değişkeni, kontrol stratejisi ve hedef değere göre belirlenir. Amaç, beklenen kayıpları enküçüklemek için sadece KD'in eniyi değerlerini belirlemek değil, aynı zamanda eniyi kontrol stratejisini de belirlemektir

[27] Çelik, (1993), a.g.e., s.49

[28] A.e.

[29] A.e.



Şekil 2.5 Kontrol Probleminin Blok Diyagramı[30]

2.4 TEK VE ÇOK YANITLI PROBLEMLERİN ENİYİLEMESİ

Üzerinde çalışılan problemler çıktılarına göre bir sınıflandırma yapılabilir. Probleme konu olan kalite karakteristiği tek ise ve bu kalite karakteristiği eniyilenmek isteniyorsa o halde tek yanıtlı bir problem söz konusudur. Uygulamalarda daha çok bu tür problemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Ürün yada proses çıktısında birden fazla kalite karakteristiğinin eniyilenmesine çalışılıyorsa bu durumda çok yanıtlı problemin eniyilemesi yapılmaktadır. Çok yanıtlı problemlerde ödünleşimler yapılarak sonuçta eniyi faktör kombinasyonu bulunmaya çalışılmaktadır.

2.4.1 Tek Yanıtlı Problemlerin Eniyilemesi

Mühendislik tasarımında kalite ve üretim veriminin ciddiye alınması zorunludur. Bunlar tasarım değişkenlerindeki varyasyonların sonucu olarak ortaya çıkarlar. Üretim veriminin tanımı, tüm tasarım sınırlamalarını tatmin eden ürünlerin, üretilen toplam ürün sayısına oranıdır. Verimliliği enbüyüklemek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Kalite, hedeflenen yanıtların enküçük değişkenlikle sağlanması olarak tanımlanır. Bunu gerçekleştirmek için geliştirilen teknikler başarılıdır. Bir mühendislik tasarımında ilgilenilen birkaç yanıt vardır. Tasarımı

[30] A.e.

birden fazla yanıtla ilgili olarak eniyileyebilecek tekniklerin sayısı azdır. Jayaram ve Ibrahim, çok yanıtlı problemlerde kaliteyi sağlamak için Taguchi tarafından savunulan kayıp modeli (loss model) kullanarak bir metodoloji geliştirmişlerdir.[31]

Genel olarak tek yanıtlı problemler için Taguchi'nin eniyileme metodolojisi aşağıdaki iki adımdan meydana gelmektedir:[32]

1. SN oranı üzerinde önemli etkisi olan faktörler belirlenir. Bu ANOVA analizleri ile yapılır; bunlara kontrol faktörleri denir yani proses değişkenliğini kontrol ederler. Her bir kontrol faktörü için en yüksek seviyedeki SN oranı eniyi seviye olarak seçilmelidir. Böylece toplam SN oranı enbüyüklenir.
2. SN oranı üzerinde en düşük etkisi olan faktör seçilir. Bu seçim ortalamada en çok etkisi olan faktörlerle yapılır. Böyle bir faktöre sinyal/ayarlama faktörü denir. Sonra sinyal faktörünün seviyesini ortalama yanıtı hedefe getirecek şekilde ayarlanır.

İki adımlı prosedürü uygulayarak, tekli yanıt için faktörlerin eniyi seviyeleri kararlaştırılır. Ancak iki veya daha fazla yanıt varsa modifiye edilmiş iki adımlı prosedür önerilmekte ve bu prosedürün dikkatle uygulanması gerekmektedir. Temel adımlar aşağıdaki gibidir:[33]

1. Kontrol faktörleri ve her bir yanıt değişkenine karşılık gelen yanıt seviyeleri belirlenir. Eniyi seviyeler arasında bir çatışma varsa, bunu çözmek için mühendislik yargısı kullanılır.
2. SN oranı üzerinde hiç etkisi olmayan bir faktör seçilir. Fakat bu faktörün ortalama seviyeler üzerinde önemli bir etkisi olmalıdır. Buna ortalama ayarlama/sinyal faktörü denir. Sonra ayarlama faktörü seviyesini ortalama yanıtları hedefe getirecek şekilde ayarlanır.

Ürün geliştirmede ortaya çıkan bir problem, ürün özelliklerinin arzu edilen kombinasyonunu veren koşulların seçimidir. Bu da, birden çok sayıda yanıt

---

[31] J.S.R. Jayaram, Yaakop Ibrahim, "Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model", **Int.Juornal of Quality Science**", Vol.2, No.3, 1997, pp,199-205, s.199

[32] P.B.S. Reddy, K.Nishina, A.Subash Babu, "Taguchi's methodology for multi-response optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry", **Int.Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.15,No.6, 646-668 1998, s.655

değişkeninin eşzamanlı eniyilenmesini (özellikle arzu edilen kombinasyonunu) içeren bir problemdir.[34]

2.4.2 Çok Yanıtlı Problemlerin Eniyilemesi

Çok yanıtlı bir deneyde amaçlardan birisi, söz konusu bir bölgede (deney bölgesinde), girdi değişkenlerinin davranışının eşzamanlı olarak modellenmesidir. Böyle bir fonksiyon ile ortaya çıkan model, *çok yanıtlı model* olarak adlandırılır. Çok yanıtlı bir tasarım problemi, tek yanıtlı olan bir tasarım probleminden daha karmaşıktır. Bir yanıt için etkin olan bir tasarım diğer yanıtlar için etkin olmayabilir. Çok yanıtlı bir durumda, bir tasarımının seçiminin, tüm yanıtlarınkine ait olan etkinlik ölçülerini içeren bir kritere dayanması gerekmektedir.[35]

Üretimi yapılan ürünler tipik olarak sayısız kalite karakteristiklerinden oluşur. Bu tür tasarım genellikle bu kalite karakteristiklerinin eniyi kombinasyonunu verecek ürünle sonuçlanacak girdi faktörleri kümesinin seçimini içerir. Yaygın olarak bu işleme *çok yanıtlı tasarım eniyilemesi* denir[36]. Buna ait kalite karakteristikleri çoklu yanıtlar olarak tanımlanır ve genellikle Y_i ile gösterilir. Amaç, çoklu yanıtların eniyi uzlaşmasını sağlayan faktörler kümesini eşzamanlı olarak tanımlamaktır. Çok amaçlı karar verme tekniklerinin kullanımı çok yanıtlı mühendislik tasarım problemlerinin çözümünde yararlı olabilmektedir.

Taguchi'nin proses tasarımı (PT) yöntemleri hakkındaki pek çok tartışma tek kalite karakteristiği'nin eniyilenmesinde odaklandı. Çoklu kalite karakteristiklerinin eniyileme prosesinde, amaç deneycinin ilgilendiği bütün kalite karakteristiklerini aynı zamanda eniyileyecek eniyi faktör kümelerini belirlemektir.[37]

---

[33] A.e.

[34] Cenk Özler, "Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1997, s. 134

[35] A.e., s.142

[36] John F.Kros, Christina M.Mastrangelo, "Comparing Methods for the Multi-Response Design Problem", **Qual.Reliab.Engng.Int.**, 2001,17:323-331, s.223

[37] Antony (2001), a.g.e., s.134

Çok yanıtlı problemde görev, eşzamanlı olarak bir kaç yanıtı eniyileyen tasarım değişkenlerine ait değerler kümesini bulmaktır. Örneğin toplam ağırlığın ve malzeme maliyetinin asgariye indirilmesi. Bu probleme tek bir çözüm genellikle bulunamaz. Bir yanıtın çözümü diğerinden ayrılır. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef, tüm yanıtlar için sağlanan çözümün tanımlanmasıdır. Bunun tanımında çözüm veya tasarım noktasında yanıtlar eniyilenir ve varyanslar enküçüklenir. Bu yine de zor bir problemdir ve bu konuda az sayıda teknik geliştirilebilmiştir.[38] Çok yanıtlı problemler dördüncü bölümde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

2.5 DENEY TASARIMI ESASLI ENİYİLEME YÖNTEMLERİ

Deney planlamasında amaç, var olan koşullar yerine farklılarını deneyerek üründe ve/veya proseste gelişme sağlamaya çalışmaktır. Pratikte kullanılan deneylerin bir kısmı basit deneylerdir. Bunların planlanması ve sonuçlarının analizi "Ishikawa'nın Yedi Basit Aracı" da denilen istatistiksel araçlarla sağlanabilir. Diğer yandan, ürün tasarımı ve üretim aşamalarında karşılaşılan pek çok durumda ise, ürün kalitesini etkileyebilecek çok sayıda faktörün varlığı dikkati çekmektedir. Bu durumlarda istatistiksel olarak tasarımlanan deneylerle, bir çok faktörün ürün parametrelerine olan etkilerini ve birbirleriyle oluşan etkileşimlerini (interactions) ekonomik olarak incelemek olanaklıdır.[39]

Ekonomik tasarım; örnek büyüklüğü, örnekler arasındaki aralık ve beklenen maliyetleri enküçükleyen kritik bölgelerin bulunması anlamına gelir. Kontrol diyagramının ekonomik tasarımının öncüsü Duncan'dır. Bir proses bir parçaya mükemmel uysa da ve ortalamanın her zaman hedef değerin üzerinde olduğu durumu sağlamak için gereken faaliyet gösterilse de prosesin varyansı zamanla değişebilir ve kesin olarak değişmektedir. Varyanstaki bu artış, üretim proseslerinde yaşanılan bir çok ek varyans kaynağından ileri gelmektedir. Değişik bileşenlerin genel olarak yaşlanması, yıpranması ve kopması zamanla varyanstaki bu artışa katkıda

---

[38] J.S.RJayaram, Yaakop Ibrahim, (1997), a.g.e., s.199

[39] Mete Şirvancı, **Kalite İçin Deney Tasarımı:Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları, No.23, 1997, s.12-14.

bulunabilir. Ayrıca ortalama ve proses varyansını devam ettirmek önemlidir. Varyanstaki herhangi bir artış, prosesin parça spesifikasyonları ve çıktının daha büyük bir oranı ile başlangıçtaki uyumunu ortadan kaldırır. Sonuç olarak, çıktı kalitesi azalır ve hurda/ret'ler artar. Zaman geçtikçe, hiç önlem alınmazsa bu proses daha çok bozulur. Dolayısıyla varyansı azaltmak, böylece ret kayıplarını azaltmak için önlem alınmalıdır. Proses varyansındaki bu tedrici artış, proses mühendisi için gerçek ve önemli bir problem oluşturmaktadır. Eğer hiç önlem alınmazsa ret edilen ürünlerin artan maliyeti ve buna bağlı olarak çıktı kalitesindeki azalma önemli boyutlarda olacaktır. Yöneticinin varyansı tekrar beklenilen bir seviyeye indirmek veya prosesi değiştirmek için karar alması gerekmektedir.[40]

Taguchi bir ürünün kalitesini tekrar tanımlayarak; üretici ve tüketiciden oluşan toplumun toplam kayıplarını enküçüklemek için kuadratik kayıp fonksiyonunu öne çıkarmıştır. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu on-line kalite kontrolde kullanılabilmektedir. Kontrol planlarının ekonomik tasarımı, spesifikasyon limitleri ve kabul örneklemesi bunlara örnektir.[41]

2.5.1 Geleneksel Deney Tasarımı Esaslı Eniyileme Yöntemi

Motorola'nın kalite gurubundan K. Bhote, "World Class Quality" adlı eserinde 1950-1990 yılları için, üç yöntemin kalite gelişmesine olan katkısı, Amerika ve Japonya'daki işletmeler için karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 2.6'da görülmektedir.[42] Amaçları kalite sağlamak olan üç yöntem, geleneksel muayene, istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemleridir. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, Japonya'da kalite ilerlemesine en büyük katkıyı, 1970'ten sonra deney tasarımı sağlamıştır. Japonya'da yılda bir milyondan fazla istatistiksel olarak tasarımlanmış deney uygulanmaktadır. Bu deneylerin bazıları oldukça büyük ölçeklidir. Örneğin, Japon Fuji firmasını 1980'lerin ortalarında ziyaret eden bir Amerikan heyeti, Fuji firmasında 100 faktörün film kalitesine olan etkisinin birlikte

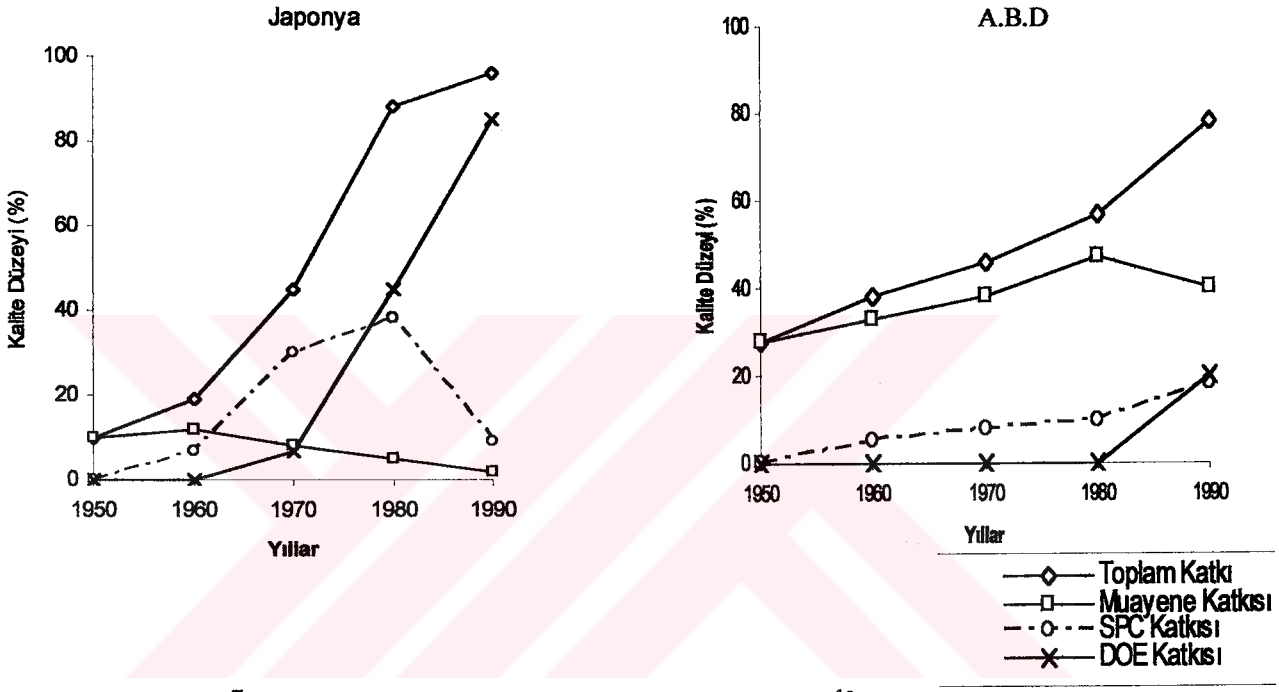
---

[40] Samar K.Mukhopadhyay, Debopam Chakraborty, "Optimal Process Variance Under Taguchi Loss", International Journal of Quality and Reliability Management, Vol.12, No.9, 1995:14-29, s.14-15

[41] Reay-Chen Wang, Chung-Ho Chen, "Designing a Variable Sampling Plan Based on Taguchi's Loss Function", Journal of Applied Statistics, Vol.26, No.3, 1999:309-313, s.312

[42] Şirvancı, a.g.e., s.13

incelendiği bir deneyin uygulanmakta olduğunu gözlemişlerdir. 1980'lerin başında Taguchi'nin Amerika'da verdiği seminerlerden sonra, deney tasarımının eğitimi ve uygulaması Amerika'da da hızla yaygınlaşmıştır. Bugün dünyanın hemen hemen her ülkesinde deney tasarımı eğitimleri verilmekte ve yöntem üretimde uygulanmaktadır.[43]



Şekil 2.6 Üç Temel Yöntemin Kalite Düzeyine Katkısı[44]

Deney tasarım teknikleri farklı üretim alanlarında uygulanmaktadır. Bunlardan biri Hubele ve arkadaşlarının otomatik lazer matkabının makina vizyon (vision) bileşeninin muayene yeterliliği ve gaz türbin motor üretimi için muayene sistemini karakterize etme görevine uygulanmıştır.[45] Sistem, gaz türbin motor yanma (combustor) ringlerinde çok küçük soğutma boşluğu açmak için lazer ve boşluğu muayene etmek için makina vizyon bileşeni kullanılmıştır. Makine, muayene sonuçlarını esas alan lazer delme işlemini kontrol etmek için kapalı döngü

---

[43] A.e.

[44] Şirvancı, a.g.e., s.13

[45] Norma Faris Hubele, Terrence Beaumariage, Gurshaman Baweja, Suck-Chul Hong, Rey Chu, "Using Experimental Design to Assess the Capability of a System", **Journal of Quality Technology**, Vol.26, No.1, 1-11, (January 1994), s.1

algoritmayla tasarlanmıştır. Sistemin gelişmesini sağlayan bu deney, sistemin yeterliliğinin ve kullanıcının tasarım isteklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır.

Yapılan deneyle sistemin daha iyi anlaşılır hale gelmesi sağlanmıştır. Üzerinde çalışılan karmaşık sistemin tasarım ve üretiminin başlangıcında, beklenen performansla ilgili olarak her zaman belirli miktarda belirsizlik bulunmaktadır. Üreticiler, kullanıcıların beklentilerini ve isteklerini daha iyi anlamışlardır. Deneyden elde edilen veri ve deneyim, bütün bölümlerin vizyon sistemi, tüm delme ve muayene sisteminin başarılı üretim yorumunun sağlanmasıyla ilgili tasarım ve kullanım sorunlarının tanımlanmasına yardım etmiştir.[46]

Son yıllarda hızlı prototipleme teknolojisi (RPT:Rapid Prototyping Technology), endüstrinin birçok alanında, özellikle ürünün geliştirilmesinde uygulanmıştır. Kuşkusuz yüksek kaliteli ürünler ve pazar boşluğunun doldurulması başarılı bir işletme için ön koşullardır. Bütün bunlar, sterolitografinin (SL: stereolithography) gelişmesine yol açmıştır. Bu teknoloji ürün geliştirme hızını önemli ölçüde azaltmış, maliyetleri düşürmüş ve daha yüksek ürün kalitesi sağlamıştır. SL öyle bir teknolojidir ki dijital çizimleri üç boyutlu dayanıklı maddelere dönüştürmüştür. Bunlarla da makina parçaları, modeller, prototipler ve kalıplar yapılmıştır. Bir kerede bir tabaka sağlam maddeler inşa eder; bir günde üst kalite modeller üretir; aylar süren çalışmalara gerek bırakmaz. SL'nin bu alışılmamış yaklaşımına rağmen bu teknoloji ile inşa edilen modeller aşağıdaki problemlerle karşılaşmaktadır: Boyutsal tamlık, kıvrım bozulması, kötü yüzey bitimi. Onuh ve Hon çalışmalarında söz konusu problemleri enküçüklemek için bir tek deneysel inceleme yapılarak eniyi parametrelerin istatistiksel olarak belirlenmesi Taguchi yöntemi kullanılarak sağlanmıştır. Yapılan çalışmada iki yeni çizim stili kullanılmış ve bunlar da parça yüzey bitiminin genel olarak iyileştirilmesini sağlamıştır.[47]

Onuh ve Hon tarafında yapılan deneysel inceleme SL ürünlerine ait yüzey kalitesi problemini ele almak amacıyla yürütülmüştür. SL prosesinde daha ucuz ve daha hızla kuruyabilen akrik bazlı reçine kullanılmıştır. Yapı parametrelerinin

---

[46] Hubele et al., a.g.e., s.11

kurulması sonucunda iyi kalitede ürünler elde edildiğini sonuçlar göstermiştir. Yapılan çalışmada önerilen eniyi parametrelerin kullanımı parçaların daha hızlı, daha ucuz ve daha kaliteli bir biçimde üretilmesini sağlayacağı vurgulanmıştır.[48]

Shipley Firması, mikro elektronik endüstrisine çip yapımında kullanılmak üzere fotodirenç (photoresist) tedarik etmektedir. Çip yapımı teknolojisinde tepede kalmak için fotodirenç üreticileri yeni nesil fotodirençleri hızla geliştirmek ve mükemmelleştirmek zorundaydılar. Bir tasarım ekibi Taguchi deneysel tasarımları (L_4 ve L_8) kullanarak, anahtar karakteristiklerin ve doğrusal programlamanın doğrusal tepkilerini tanımlamak ve formülasyon faktörlerini eniyilemek için yeni bir fotodirenç geliştirmiştir. Anahtar özellikler belirlendikten sonra objektif açıklamalar ve özellik sınırlamaları değiştirilmiştir. Bir yeni nesil fotodirencin gerekliliği anlaşılınca Shipley Firması, yeni bir tasarım ekibi kurarak, yedi ay içerisinde pazara hazır bir ürün geliştirmeyi amaçlamıştır. AR-GE bilim adamları ve operasyon mühendisleri istatistiksel olarak tasarlanmış deneylere bilgisayar modellemesine ve doğrusal programlamaya güvenerek yeni ürünü hızla geliştirme ve eniyilemeyi hedeflemişlerdir. Tasarım ekibinin ilk görevi kendisinden son ürünün formüle edileceği potansiyel ham maddeleri perdelemekti. Ekip daha çok Taguchi'nin kesirli faktöriyel deneyine güvenmişlerve bu geliştirme yöntemi (megapozit S9400) yeni fotodirencin tasarım ekibi tarafından sadece sekiz ay içerisinde pazar yerine getirilmesi sağlanmıştır.[49]

Park ve Young'un çalışması büyük bir külçede iç boşlukların eliminasyonu ile defosuz ürünler elde etmek ile ilgilidir. Boşluk ezme prosesi üç boyutlu dövme için yükseltilmiş sıcaklıkta termo-visko plastik sonlu eleman yöntemi ile analiz edilmiştir. Ön soğutma ısısı, deformasyon oranı ve kalıp şeklinin değişmesi etkileri yüksek dövme verimliliği elde etmek için tartışılmıştır. Birleşme verimliliği ayrıca öngörülmüş ve Taguchi yönteminin kullanılması ile boşlukların giderilmesi için

---

[47] S.O.Onuh, K.K.B.Hon, "Optmising Build Parameters for Improved Surface Finish in Stereolithography",**Int.J.Mach.Tools Manufact.**, Vol.38, No.4, 329-392, 1998, s.329

[48] A.e., s.341

[49] Michael S. Schmidt, Larry C. Meile, "Taguchi Designs and Linear Programming Speed New Product Formulation", **Industries-Electric/Electronic Statistics Design**, Interfaces 19:5 September-October 1989; 45-56, s.51

dövme parametrelerine ait eniyi kombinasyon saptanmıştır. Taguchi yönteminde yük kısıtlamalarını dikkate alan yeni bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır.[50] Bu yeni amaç fonksiyonuna dayalı olan Taguchi yöntemi kullanılarak, parametrenin eniyi kombinasyonu seçilmiştir.[51]

Kesme parametreleri, çalışma parçası malzemeleri ve kesme alet geometrisi ve malzeme, tümü birden istenilen ürün kalitesini uygun bir maliyetle gerçekleştirme konusunda hayati etkilere sahiptir. Soğuk şekilli çalışma parçalarının işlemesi yaygın bir üretim rotasıdır ve ekonomik olarak elverişlidir. Kopac et al. çalışmaları, kabul edilebilir bir yüzey sertliği sağlamak üzere düşük soğuk ön deformasyonlu düşük karbon çeliğine ait ham çalışma parçalarının eniyilenmesine ilişkindir. Deneysel işletimlerin sayısını azaltmak ve sonuçların güvenilirliğini arttırmak için bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlarda işleme parametrelerinin etkileri ve yeterli robustluğa ait seviyelerin tanımı verilmiştir.[52]

İşleme proseslerinin eniyilemesi üretime ait yüksek yanıtlının gerçekleşmesi için zorunludur. Bu, bugünün dinamik pazar koşullarında ayakta kalmanın temelini oluşturur. Maliyetler ile kalite arasındaki oran dikkatle kontrol edilmeli ve sapma halinde hızla düzeltici önlemler alınmalıdır. Kesme proses yönetiminin karmaşıklığı, kesme aleti ve çalışma parçası malzemesine ait tek veya kombine etkiler ile paralel olarak artar. Taguchi yöntemi nispeten basit bir yöntemdir ve farklı üretim aşamalarının eniyilemesini az sayıda deney ve enaz istatistiksel teorik bilgi ile sağlamaktadır.[53]

Yüzey kalite karakteristik hedef değerinin sertleştirilmiş çeliğe ait ince işleme içerisindeki yüzey kalitesi, Taguchi yöntemlerinin büyük yardımı ile sunulmuş ve

---

[50] C.Y.Park, D.Y.Young, "Modelling of Void Crushing for Large-Ingot Hot Forging", **Journal of Materials Processing Technology**, 67 (1997); 195-200,s.195

[51] A.e., s.200

[52] Janes Kopac, Makro Bahor, Mikro Sokovic, "Optimal Machining Parameters for Achieving the Desired Surface Roughness in Fine Turning of Cold Pre-Formed Steel Workpieces", **Machine Tolls &Manufacture**, 42 (2002) 707-716, s.707

[53] A.e.

istenilen yüzey sertliğini gerçekleştirmek için eniyi kesme koşulları enaz sayıda deneme yapılmak kaydı ile belirlenmiş ve önemli bilgiler elde edilmiştir.[54]

2.3.1.1 Çok Faktörlü Deneyler

Birden fazla faktörün yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin, faktör seviyelerinin olası tüm kombinasyonlarının denenerek incelendiği deneylere, *çok faktörlü deneyler* adı verilmektedir. Çok faktörlü deney tasarımında, hem her faktörün seviyeleri kendi aralarında karşılaştırılmakta, hem de her bir faktörün seviyelerinin diğer faktör seviyeleri karşısında yanıt değişkenine olan etkisini incelenmektedir. A faktörünün seviye sayısı i ve B faktörünün seviye sayısı j olduğunda, $(a_1+a_2+...+a_i)(b_1+b_2+...+b_j)$ kadar deneme kombinasyonu söz konusudur. Örneğin; her bir faktör için 2 seviyenin olduğu 5 faktörden oluşan bir tasarım probleminde, eniyi faktör kombinasyonunu bulmak için 32 deney yapmak gerekmektedir. Faktör sayısı 7'ye çıktığında bu sayı 128, 10 olduğunda ise 1024 olmaktadır. Yapılan deneylerin maliyeti ve harcanan zaman göz önüne alındığında, eniyi değeri bulmanın zorluğunun da arttığı açıktır. Bu soruna çözüm olarak, daha az deney yardımıyla eniyi kombinasyonu bulmaya çalışan, kesirli çok faktörlü deney tasarımı ve Taguchi Yöntemi vb alternatif yöntemler önerilmiştir.[55]

Tablo 2.1 İki Faktöre Sahip Çok Faktörlü Tasarımının Veri Yapısı[56]

		B Faktörü			
		1. Seviye	**2. Seviye**	**. . .**	**b. Seviye**
A Faktörü	**1. Seviye**	$Y_{111},Y_{112},...,Y_{11n}$	$Y_{111},Y_{112},...,Y_{11n}$	. . .	$Y_{1b1},Y_{1b2},...,Y_{1bn}$
	2.Seviye	$Y_{211},Y_{212},...,Y_{21n}$	$Y_{221},Y_{222},...,Y_{22n}$	. . .	$Y_{2b1},Y_{2b2},...,Y_{2bn}$
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	.	.	.	.	.
	a. Seviye	$Y_{a11},Y_{a12},...,Y_{a1n}$	$Y_{a21},Y_{a22},...,Y_{a2n}$	. . .	$Y_{ab1},Y_{ab2},...,Y_{abn}$

[54] A.e., s.715

[55] Mehmet Özgür Yeniay,"Taguchi Deney Tasarımı Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı", Hacettepe Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1999, s.37-38

[56] A.e., s.38

Tablo 2.1'de iki faktöre sahip çok faktörlü deney tasarımının veri yapısı verilmiştir. Her gözde n sayıda gözlem bulunan ve iki faktöre sahip çok faktörlü bir deneyin model denklemi;

$$Y_{ijk}=\mu+A_i+B_j+AB_{ij}+\varepsilon_{ijk}, \quad \begin{matrix} i=1,2,...,a \\ J=1,2,...,b \\ k=1,2,...,n \end{matrix} \qquad (2.3)$$

biçimindedir. Burada;

Y_{ijk} :A faktörünün i. seviye ve B faktörünün j. seviyedeki k. gözlem değeri

μ : Ortalama değer,

A_i : A faktörünün i. seviyesinin ana etkisi,

B_j : B faktörünün i. seviyesinin ana etkisi,

AB_{ij}: A faktörünün i. seviyesi ile B faktörünün j. seviyesinin ana etkisi,

ε_{ijk} : Deneysel hatadır.

2.3.2 Diğer Deney Tasarımı Esaslı Eniyileme Yöntemleri

2.3.2.1 Taguchi Yöntemi'ne Genel Bakış

Günümüzün modern küresel (global) pazarda müşterilerini tutmak ve işte rekabetçi kalmak isteyen işletmeler için kalite, en önemli konudur. Kalite sadece proses muayenesinin bir sonucu olamaz; fakat işletme çapında bir yönetim felsefesi olmasını gerektirir. Kalite iyileştirme programları, başarılı işletmelerin stratejik planlama prosesinin çok önemli parçasıdır. Stratejik planlamanın yanında, tasarımın önemi ve kalitenin ürün ve proseslerin içinde tasarlanması fikri tartışılacak sorundur. Tasarımda daha fazla çaba harcayarak, kalite ürün içine tasarımlanabilir ve böylece kaliteyi sağlamak için muayeneye bel bağlama gereksinimi azalır. Bununla birlikte, eğer ürünler daha karmaşık olurlarsa, tasarımın eniyilemesi işi artarak zorlaşır. Kalite iyileştirme aracı olarak, son yıllarda hem olumlu hem de olumsuz çok dikkat çeken bir yöntem, Taguchi Yöntemi'dir. Taguchi Yöntemi, istatistiksel deney tasarımına

dayanmakta ve eniyi proses ayarları veya tasarım parametrelerini yerleştirmek için parametre tasarımı aşamasında uygulanmaktadır.[57]

Kalite iyileştirmede Taguchi yaklaşımı varyans azaltma (küçültme) yaklaşımına dayanır. Taguchi'nin varyans küçültme yaklaşımından önce diğer yaklaşımlarda gürültü değişkenlerinin (noise variables) kullanımını önermişlerdir; fakat Taguchi'nin onları varyans küçültmeyle ilgili olarak kullanma fikri orijinaldir ve çok büyük yankı uyandırmıştır.[58]

Taguchi analizinde yer alan mantığı anlamak için parametre tasarımının amacının, robust ürün veya prosesi oluşturacak kontrol değişkenlerini bulmak olduğu hatırlanmalıdır. Kontrol değişkenleri niteliksel veya niceliksel olabilir. Sonuç olarak Taguchi analizi, performans ölçütü Sinyal/Gürültü (SN) oranı olduğunda, proses eniyilemesidir.

Analiz yöntemi basit ve çapraz (crossed) dizi kavramıyla çok bağlantılıdır. SN oranını enbüyüklemek girişimi vardır. "Modelleme" SN oranını "sadece ana etkiler" durumundaki kontrol değişkenleri ile ilişki kılar. Taguchi, kontrol değişkenleri arasındaki etkileşimleri pek göz önüne almaz. Gerçekte Taguchi tarafından ileri sürülen pek çok tasarım bu etkileşimin kestirimine yer vermez. Standart ANOVA teknikleri SN oranını sıkıştıran kontrol faktörlerini tanımlamak için kullanılır. Ayrıca olanaklı düzeltme faktörlerini araştırmak için $\bar{y}$ da (kalite karakteristiklerinin ortalama değeri) ANOVA yapılır. SN oranını etkileyen faktörler, SN oranını enbüyük kılacak seviyeler için belirlenirken, ANOVA ortalamayı hedefe (hedef en iyi durum için) getiren seviyeler için yapılır. Bu, iki adımlı prosesi tamamlar. Seviyelerin ayarları, marjinal ortalamalar yaklaşımı yapıldığında belirlenir.[59]

---

[57] Hefin Rowlands, Jiju Antony, Graeme Knoles, "An Application of Experimental Design for Process Optimization",**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000, s.78-83

[58] R. Myers, D.C. Montgomery, **Response Surface Methodolgy:Process And Product Optimization Using Designed Experiments**, 1995, s.471

[59] A.e.

Kalite teknolojisi ve bilimindeki gelişme prosesinin önemli kilometre taşlarından biri olan Taguchi Yaklaşımı, kalite tanımına değişik bir bakış getirmiş olup, tasarım kalitesi ve kalite-maliyet eniyileme konuları ile ilgilidir.[60]

Bir Japon mühendis olan Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş olan ve kendi adı ile anılan Taguchi Yöntemi, 1940'lı yıllarda başlatmış olduğu kalite kontrolünde istatistiksel uygulamalarla ilgili çalışmaların ürünü olmuştur. Taguchi Yöntemi, kalite geliştirme konusunda uygulanan ve deneysel tasarıma dayalı olarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemin temel felsefesi, kalitenin tasarım aşamasında ürün veya prosese kazandırılmasıdır. Bunun için;

- Ürün ve prosesleri çevresel değişikliklere (yani; nem, çevre sıcaklığı, toz, elektrik tedarik voltajı) duyarsız yapmak;
- Ürün ve prosesleri üretim değişikliklerine veya eksikliklerine duyarsız yapmak;
- Ürünleri, ürün bozulmalarına (güvenilirlik derecesini düşürme, alet kullanımı vb) karşı duyarsız yapmak;
- Ürünleri, birimlerarası varyasyonlara (bileşenden bileşene varyasyon, vardiyadan vardiyaya varyasyon, makinadan makinaya varyasyon, malzemeden malzemeye varyasyon vb) karşı duyarsız yapmaktır.

Taguchi'nin kalite iyileştirme felsefesi, ürün ve prosesteki varyasyonu (variation) kaynağında azaltmaya çalışır. Taguchi Yöntemi, daha sıkı toleransları (tolerans tasarımı) belirlemekle tekil (individual) bileşenlerde varyayonu azaltmaktan çok, tasarım parametrelerinin (faktör olarak adlandırılır) dikkatli seçilmesiyle sonuca gidilebileceğini söyler. Daha sıkı tolerans bileşenlerinin açıkça belirlenmesinin ek maliyeti olmadan, son üründe varyasyonu azaltmak başarılabilinir. Parametre tasarım yaklaşımı, hammadde malzemeleri, bileşenler, üretim prosesleri ve çevre gibi istenmeyen kaynaklardan ortaya çıkan varyasyonlara karşı koyması kabiliyeti olan daha robust (sağlam) bir tasarım ile sonuçlanır.[61]

---

[60] Nurettin Peşkircioğlu, "Toplam Kalite Güvenirliği Programlarının Entegre Bir Parçası Olarak Taguchi Yöntemi", **Verimlilik**, Ankara:MPM Yayını, sayı.4, 1990, s.76

[61] Rowlands, Antony, Knoles, a.g.e., s.78-83

Taguchi felsefesi ve ona ilişkin deneysel tasarım yöntemi, üretim proseslerini iyileştirmek için üretim çevresinde, örneğin metal enjeksiyon kalıp yapma prosesi ve alet yapımında plazma çökelti prosesi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu gibi çevrelerde, eğer deneysel yöntemlerin tüm yararları paraya çevrilebilirse, deneyin dikkatli planlanması ve sürekli yol operasyonu için robotun performans yeteneğinin eniyilemesini içerir.[62]

Taguchi yöntemi kesirli faktöriyel deneye dayanır ve bağımsız değişkenleri, kontrol edilebilir ve gürültü faktörlerine ayırır. Kontrol edilebilir faktörler, istenen değere ulaşmak için kullanılan faktörlerdir. Gürültü faktörleri ise kontrol edilemezler. Taguchi yöntemine göre robust tasarım, yüksek bir performansı sürdürürken gürültü faktörlerindeki değişikliklere duyarsız kalır. Robust bir ayarlama tekniği, Taguchi yöntemi ile sadece kontrol faktörlerinin azaltılmasını değil aynı zamanda bu değerlerdeki varyasyonları azaltırken sistem dinamikleri ve operasyon noktalarındaki değişikliklere duyarsız kalma olanağı verir.[63]

Taguchi yöntemleri, Japon endüstrisinde TKK'ün uygulamalarının iyileştirilmesine yardımcı olarak Genichi Taguchi tarafından geliştirildi. Taguchi, yöntemlerini "Kalite Mühendisliği" olarak tanımlamış ve gerçekten yöntemler, proses bilişimini anlamak için bir yaklaşım olarak alınmaktadır. Yöntemler belirli bir amacın eniyi kalite karakteristiklerine yakın olmasını sağlamak için deneylerin tasarımına dayanmaktadır. Bu yöntemler, izleyen uygulanabilir istatistiksel kurallar için bir başarısızlıktan dolayı teknik yetersizliğin artmasından özellikle akademisyenler tarafından sık sık eleştirilmiştir. Bununla beraber, Taguchi yöntemlerini eleştirenlerin çoğu bir noktayı unutmaktadırlar. Taguchi yöntemleri, deneylerin tasarımının basit bir istatistiksel uygulaması değildir. Bu yöntemler, güçlü mühendislik prosesinde istatistiksel deney tasarımının bir integrasyonunu

---

[62] A.e.

[63] Kiha Lee, Jongwon Kim, "Controller gain turning of a simultaneous multi-axis PID control system using the Taguchi method", Control Engineering Practice, 8,2000;949-958, s.950-951

içermektedir. Böylece, mühendislik yargısını istatistiğin temeline dayandırdığından bir çok mühendis Taguchi yöntemlerini tercih etmektedirler.[64]

Son zamanlarda istatistiksel deney tasarımı ve Taguchi yöntemleri kullanılarak kompleks sistemlerin etkili analizleri yapılmaktadır. İstatistiksel deney tasarımı, karakteristik özellikler ve faktörlerin eniyi koşulları üzerindeki faktörlerin etkilerini saptayabilir. Analiz araçları olarak ortogonal diziler ve varyans analizi (ANOVA) tablolarını kullanır. Geleneksel istatistiksel deney tasarımı, karakteristik özelliklerin ölçülmüş değerlerini esas alarak, eniyi koşulu saptayabilir. Robust parametre tasarımı olarak da bilinen Taguchi deneysel tasarımı bu işi karakteristik özelliklerin değişkenliğini baz alarak yapar. Diğer bir deyişle Taguchi yöntemi enküçük değişkenliğe sahip olan, ki buna *eniyi koşul* denir, deneysel koşulu saptayabilir.[65]

Bir özelliğin değişkenliği, kontrolü zor olan gürültü faktöründen ileri gelir. Tersine kontrol faktörünün kontrolü kolaydır. Değişkenlik, sinyal gürültü (SN) oranı ile ifade edilebilir. SN oranları karakteristiğin türüne göre farklı olarak tanımlanır. SN oranının birimi desibel (dB) olup iletişim mühendisliğinde sıkça kullanılmaktadır. Enbüyük SN oranına sahip deneysel koşula eniyi koşul denir. Çünkü karakteristiklerin çeşitliliği SN oranıyla ters orantılıdır. Sonuç olarak Taguchi yöntemi SN oranları ile enküçük değişkenlik koşulunu saptayabilmektedir. [66]

Taguchi Yöntemlerinin gücü, yöntemdeki temel kavramın basitliğinden ve uygulamalarının kolaylığından gelmektedir. Bu yöntemler, ürün ve proseslerin iyileştirilmesi için işletmelerde teknisyenler tarafından sık sık uygulanmaktadırlar. Amaç, sadece amaç fonksiyonunu keyfi olarak eniyilemek değildir (ABD'nde yaygın bir uygulamadır); aynı zamanda mühendislik tasarımlarının kontrol edilemeyen faktör veya gürültü kaynaklarına karşı duyarlıklarını azaltmaktır[67].

---

[64] Thomas Lofthouse, "The Taguchi Loss Function", **Work Study**, Vol.48, No.6, 218-222, 1999, s.218

[65] Sangwoo Kim, Jyongsik Jang, Ohyoung Kim, "The Rheological Properties Optimization of Fumed Silica Dispersions Using Statistical Experimental Design and Taguchi method", **Polimer Testing**, 17,1998;225-235, s.226

[66] A.e.

[67] Lofthouse, a.g.e., s.219

Taguchi yöntemleri, Japon kalite kazançlarının %80'inden fazlasını sağladığı iddia edilmektedir. Bu, ABD endüstriyel işletmelerinin çoğunda etkiye sahip olan Japon kalite kazançlarını küçük başarı olarak düşünülemez. Bu etki ABD endüstrilerini bu kalite yaklaşımlarını kendilerine adapte etmeye zorlamıştır.[68]

Bu yöntem, Japonya'da bir çok işletmede uygulanmış ve önemli başarılar elde edilmiştir. ABD'nde 1982'den itibaren pek çok uzman bu konuda çalışmaktadır. Japonya'da bugün yılda bir milyon, ABD'nde ise 6000'in üzerinde vaka çalışması gerçekleştirilmektedir.[69] Bir çok Japon işletmesi ve daha sonraları da Amerika ve Avrupa'daki işletmeler tarafından başarılı bir şekilde uygulanmış ve halen uygulanmaktadır. Taguchi, kalite alanında yapmış olduğu çalışmaları ile prestiji yüksek ödüller kazanmıştır.[70]

Bu yöntem, bir kalite geliştirme faaliyetleri manzumesidir. Bilinen istatistiksel yöntemlerden farklı olarak, kalitenin kontrolünden çok kalitenin geliştirilmesini vurgular. Oysa istatistiksel yöntemler, ürün kalitesini belli toleranslar içerisinde kontrol etmeyi öngörmektedir. Toleransların dışına taşma olmadıkça ürün kalitesinin iyileştirilmesi için her hangi bir faaliyet önerememektedir. Ayrıca yapılan çalışmalar tamamen son ürün bazında yapılmaktadır. Bu olay Taguchi'ye göre maliyet artışlarına neden olmaktan başka bir işe yaramamaktadır. Halbuki Taguchi Yöntemi'nde ürün kalitesinin ancak tasarım aşamasında sağlanabileceği ve yapılacak deneysel çalışma ile gelecekte ortaya çıkması olası hata ve aksaklıklar, önceden tespit edilerek, prosesin etkilere duyarsızlığının sağlanması vurgulanmaktadır.[71]

Taguchi yaklaşımındaki temel düşünce, düşük kaliteli ürünün yüklenip müşteriye gönderildiğinde her zaman toplum için bir kayıp demektir. Düşük kalitenin etkisi ise, kayıp fonksiyonu modeli boyunca bir değer atanmıştır. Bu modele dayanarak; uygulama içindeki ürünün varyasyonuna dayanan kayıp, uygulama karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. Kayıp

---

[68] A.e.

[69] Doğan, a.g.e., s.48

[70] Peşkircioğlu, a.g.e., s.78

[71] Aydın, a.g.e., s.102

fonksiyonu ile kalite karakteristiğinin sonuç grafiği bir paraboldür ve kalite karakteristiği hedef değere eşit olduğunda sıfır kayıp vardır. Taguchi yaklaşımının odağı, sıfır kayıp için mücadele etmektir.

Değişken örnekleme planı, üretim prosesi ölçüm verileri yarattığı zamanlarda kullanılır. Montgomery'e göre örnekleme kontrolünün aşağıdaki avantajları vardır:[72]

- Ölçüm verileri genellikle simgesel verilerden daha güçlüdür. Dolayısıyla aynı koruma seviyeleri için değişken planları genellikle özellik (atribute) planlarından daha küçük örnek büyüklüğüne sahiptir.
- Ölçüm verileri genellikle özellik verilere göre prosesin davranışı hakkında daha derin fikir verir.
- Bir çok üretici, defolu mallara izin vermeye başladığından örnek büyüklükleri çok büyük olur. Bu durumda da değişken örnekleme planları çok çekici hale gelir.

Geleneksel spesifikasyonlara uyum kavramı spesifikasyon limitlerine uyan mallarla ilgilidir. Taguchi, hedef değerden sapmaları azaltmak için kuadratik kalite kayıp fonksiyonunu kullanmıştır. Bu yeni kalite geliştirme yönteminin amacı üretici ve tüketiciden oluşan toplumun toplam kayıplarını enküçüklemektir.[73] Taguchi'nin kayıp fonksiyonu off-line ve on-line kalite kontrolünde de kullanılabilmektedir.

Örnekleme planlarının endüstri uygulamalarında bir ürünün kalite özellikleri sınırsız olabilir. Direnç, bir sistemin ömrü veya yakıtın verimliliği kalite karakteristikleri ile ilgili örnekler olarak verilebilir. Dolayısıyla normal kalite karakteristiklerinin yeterli olduğunu varsaymak mantıklı değildir.[74]

Taguchi yaklaşımı, ürünün tasarımına ve işlemlerine dayanarak kalite oluşturmaya önem vermektedir. Bunu yapabilmek için, ürün tasarımının ürünü belirleyen bu parametreleri akıllıca seçmesi ve bu parametreler içindeki değişkenliği azaltması gerekmektedir. Bu, kayıp fonksiyon kullanımı sırasında değeri kaliteye eş

---

[72] Reay-Chen Wang, Chung-Ho Chen, "Designing a Variable Sampling Plan Based on Taguchi's Loss Function", **Journal of Applied Statistics**, Vol.26, No.3, 1999:309-313, s.309

[73] A.e., s.310

[74] A.e.

tutarak kuvvetlendirilen bir kavram olan tam-hedef performansına bağlanmaktadır. Parametre tasarımı, ürün tasarımı içindeki kontrol edilebilen faktörlerin eniyi yapılanmasının bulunmasını içermektedir. Böylece, sonuç tasarımı, kontrol edilemeyen faktörlerin değişikliklerinin görünümünde sağlam bir yapı kazanmış olur. İşte bu eniyilenmesi gereken tasarım parametreleri, kontrol edilebilir faktörlerdir. Kontrol edilemeyen faktörler veya gürültü faktörleri, ürünün performansını etkileyebilir; fakat tasarımın kontrolü altında değildirler.

İyi kurulmuş DOE metodolojisinin saygınlığı karşısında, Taguchi yaklaşımının getirdiği yeniliklerle ilgili bazı tartışmalar ve eleştiriler yapılmaktadır. DOE, araştırmalarla ve bilgi birikimiyle oluşturulurken Taguchi yöntemi pratik olarak uygulanmaktadır. Bu, deneyleri gerçekleştirecek mühendislerin (istatistikçilerin değil) önermelerine dayanmaktadır. Böylece yararlı ve diğerlerine göre uygulanması kolay bir yaklaşım elde edilmektedir. Açıkça söylemek gerekirse, Taguchi yaklaşımı geleneksel DOE'ye dayanmakta, ama bir basamak ilerisine gitmektedir. Bu yaklaşım, hedef değer üzerinde enküçük değişkenliğe sahip olan ve gürültü faktörlerine karşı duyarsız ürün ve proses tasarımlarını geliştirmek için kullanılmaktadır.

Özellikle ürün tasarımında olmak üzere, mühendislik biliminde deneysel tasarım tekniklerinin uygulanması konusunda gittikçe artan bir ilgi vardır. Amerika ve Japonya'da, bu ilgi Genichi Taguchi'nin çalışmaları ile daha da artmıştır.[75] Taguchi, parametre seçimi konusunda yeni bir formül bulma çalışmaları ve bu konunun kalite üzerindeki etkisiyle ilgilenmesiyle de kayda değerdir. Taguchi'ye göre ürün veya prosesin performansı;

- Kullanılacağı çevre koşullarından,
- Üretiminde kullanılan bileşenlerden

etkilenir.[76] Öyle ise, ürün veya proses faktörlerinin eniyi değerleri, ürünün veya prosesin kullanılacağı çevresel koşulların ve üretimlerinde kullanılan bileşenlerin durumları dikkate alınarak belirlenmelidir. Ürün veya prosesi etkileyen faktörler ise;

---

[75] Myron Tribus, Geza Szonyi, "An Alternative View of the Taguchi Approach", **Quality Progress**, May 1989, s.46

[76] Çelik, (1996), a.g.e., s.18

- Kontrol edilebilen,
- Kontrol edilemeyen

olmak üzere iki grupta toplandığı yukarıda belirtilmişti. Taguchi deney stratejisinde kontrol edilebilen faktörlerin eniyi değerlerini belirleyebilmek için ortogonal dizileri içeren yüksek kesirli deneyler kullanılır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin analiziyle belirlenen eniyi koşullarda doğrulama deneyleri (confirmation experiments) yapılarak, beklenen sonucun elde edilip edilemeyeceği kontrol edilir. Phadke, Taguchi'nin 18 farklı standard ortogonal dizi geliştirdiğini belirtmektedir. Taguchi, ayrıca bu dizilere faktörler ile etkileşimlerin yerleşimini sağlamada esas alınacak doğrusal grafikleri (linear graphs) ve üçgensel tabloları (triangular tables) da geliştirmiştir. Birçok problemde standard ortogonal dizilerden biri doğrudan deney planı olarak kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda da doğrusal grafikler, üçgensel tablolar ve benzeri araçlardan yararlanılarak standard ortogonal diziler üzerinde bazı düzenlemelerle probleme uygun deney planı geliştirilebilmektedir. Başka bir ifadeyle, çok faktörlü ve/veya seviyeli deneylerin planlanmasında basitlik ve mükemmel esneklik sağlamaktadır.[77]

Taguchi Yönteminde, bütün deneyleri tek tek yapmak yerine, deney setinin tümünü temsil eden, daha az sayıda bir deney seti ile eniyiye yakın bir deneme kombinasyonunun bulunması sağlanır. Bu deney seti, deney tasarımı yardımıyla belirlenmektedir. Problemin yapısına uygun olarak seçilen deney tasarımı, yapılacak kesirli sayıda deneylerin hangi koşullarda yapılacağını gösterir.

Taguchi Deney Tasarımlarını uygulamak için;[78]

- Deney tasarımı katalogundan uygun bir dizi seçilir,
- Deneyde öngörülmek istenen faktör ve etkileşimleri deney tasarımının sütunlarına atamak için doğrusal grafikler yönteminden, etkileşim ya da üçgensel tablolardan yararlanılır.

Taguchi'ye göre en iyi tasarım, tasarımı etkileyen değişkenlik kaynaklarını kontrol ederek değil, tasarımı bu kaynaklara karşı duyarsız yaparak geliştirilebilir.

---

[77] A.e.

[78] Yeniay, a.g.e., s.48

Tasarımın robustluğunu (sağlamlığını) etkileyen değişkenlik kaynakları; üretim hataları, çevresel koşullar veya tasarım parametrelerinin değerlerindeki değişkenliklerden kaynaklanabilir. Taguchi bu değişkenlik kaynaklarına karşı daha duyarsız tasarımı ekonomik olarak geliştirebilmek için ortogonal diziler, kayıp fonksiyonu ve performans istatistiği (SN oranı) gibi yeni araçları kullanmayı önermektedir.[79] Bununla birlikte, Taguchi yöntemi ile belirlenen eniyi çalışma koşullarının bütünsel en iyi olmayabileceğini de belirtmekte yarar vardır. Çünkü tasarım uzayı, tasarım parametrelerinin kesikli değerleri ile temsil edilir. Başka bir deyişle, eniyi çalışma koşulları belirlenirken parametrelerin seçilen değerlerinin dışındaki değerler dikkate alınmaz. Ancak, deneysel çalışmaların iteratif olduğu, sürekli gelişme ilkesine göre elde edilen gelişmenin bir sonraki çalışmaya başlangıç olacağı unutulmamalıdır.

Bu yaklaşımda her ne kadar deney sayısında ve dolayısıyla maliyetlerde azalmalar görülüyorsa da, yaklaşımın dayandığı ve kullanımda bir takım çekinceler veren bazı varsayımlar vardır. Örneğin; ürün kalitesini etkileyen faktörlerin arasında etkileşimlerin varlığı konusunda kesin bilgi yoksa, etkileşim yok kabul edilir. Eğer etkileşim konusunda kesin bilgi varsa, o takdirde söz konusu etkileşim bir faktör gibi hesaba katılır. Halbuki normal koşullarda deney tasarımında faktörler arasında etkileşimler kaçınılmazdır. Genel olarak bu etkileşimin önceden bilinmesi çok zordur. Ayrıca tasarım parametreleri olan faktörler ile proses çıktıları arasında doğrusal ilişki olduğu kabul edilir. Çoğu zaman bu ilişkinin doğası itibarı ile doğrusal olmadığı açıktır. Bu varsayımdan dolayıdır ki, Taguchi Yöntemi her zaman eniyi çözümü garanti etmemektedir.[80]

2.3.2.1.1 Ortogonal Diziler

Deney tasarımı için Taguchi, ortogonal dizilerin kullanımını önermektedir. Bu tasarımlar faktörlerin farklı sayıda test seviyeleri olmasına izin vermektedir. Bir faktörün her seviyesi diğer faktörlerin her bir seviyesi ile aynı sayıda meydana gelmektedir. Kesirli ortogonal diziler bir yandan deneme işletimlerini enküçüklerken

---

[79] Cafer Çelik, Sadri Şen, "Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, Cild.10, sayı.2, 3-9, 1999, s.4

ikişerli dengeleme özelliğini korumaktadırlar. Gürültü performans ölçüsünün analizi, değişkenlik kontrol faktörleri ile onların eniyi kombine ayarlarını tanımlar. Bu da değişkenliği enküçüklemektedir. Ayrıca hedef performans ölçüsünün analizi, hangi kontrol edilebilir faktörlerin ortalama yanıtta büyük etkisi olduğunu ortaya çıkarmaktadır.[81]

Ortogonal dizilerde katkı yapan tüm faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bir deney tasarımında eniyi ortogonal diziler seçilmeli, faktörler ve etkileşimler uygun sütunlara atanmalı ve en sonunda deneme koşulları olarak bilinen bireysel deneylerin kombinasyonu tanımlanmalıdır. İki veya daha fazla sayıda üst seviyeli faktörün etkileşimi için sütunlar feda edilmelidir. Deneysel tasarımın analizi eniyi koşulları, bireysel faktörlerin ve etkileşimlerinin katkısını kontrol etmekte ve eniyi koşullardaki yanıtı öngörmektedir. Eniyi koşul, her bir faktörün ana etkileri incelenerek tanımlanır. Ana etkiler, faktörlerin genel trend olarak ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Örneğin karakteristikleri bilmek, istenen sonuçların daha yüksek değerlerle mi yoksa daha düşük değerlerle mi temin edildiğinin görülmesi halinde eniyi sonuçları alacak faktörlerin seviyeleri öngörülebilir. Bireysel faktörlerin katkısı hakkındaki bilgi, yapılacak kontrolün doğası hakkında anahtar bilgi vermektedir. [82]

Taguchi'nin deney düzenlemek için geliştirdiği yöntemin temelinde ortogonal diziler vardır. Ortogonal diziler $L_N(S^r)$ ile gösterilmektedir. **N**, ortogonal dizideki deneme sayısını, **r** faktör sayısını, **S** ise deneydeki faktörlerin seviyelerini göstermektedir. $L_N(S^r)$ ortogonal dizisi, Nxr boyutlu bir matristir. Ortogonal diziler, sütunların faktör ve etkileşimlere, sütunlardaki elemanların faktör seviyelerine ve

---

[80] Yeniay, a.g.e., s.48

[81] P.Georgilakis, N.Hatziargyriou, D.Paparigas, S.Elefsiniotis, "Effective Use of Magnetic Materials in Transformer Manufacturing", **Journal of Materials Processing Technology**, 2001,**108**:209-212, s.210

[82] Ashok Kumar, Jaideep Motwani, Luis Otero, "An application of Taguchi's Robust Experimental Design Technique to Improve Service Performance", **International Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.13, No.4, 1996;85-98, s.86

satırların denemelere karşılık geldiği, çok faktörlü ortogonal dizi olarak değerlendirilebilirler. $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizisi, Tablo 2.2'de verilmiştir.[83]

Tam faktöriyel deney, faktör seviyelerine ilişkin bütün kombinasyonların test edilmesini gerektirir. Örneğin, 3 seviyeli 13 faktör içeren bir çalışma, $3^{13} = 1,594,323$ deneyin yapılmasını gerektirir. Ortogonal dizilerden $L_{27}(3^{13})$ kullanır ve 27 deney gerektirir. Verimliliğin yanında ortogonal diziler karmaşık değildir ve kullanımı kolaydır.[84]

Tablo 2.2 $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal dizisi[85]

Deneme No	Kolon No												
	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
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

[83] Yeniay, a.g.e., s.48

[84] Kiha Lee, Jongwon Kim, "Controller gain turning of a simultaneous multi-axis PID control system using the Taguchi method", **Control Engineering Practice**, 8,2000;949-958, s.951

[85] Ming-Chih Huang, Ching-Chih Tai, "The Effective Factors in the Warpage Problem of an Infection-Molded Part with a Thin Shell Feature", **Juornal of Materials Processing Technology**, **110**,2001;1-9, s.3

Tüm ortogonal diziler diktir. Örneğin $L_{27}(3^{13})$'ün herhangi iki sütunu için; 1'ler, 2'ler ve 3'ler sırasıyla –1'ler, 0'lar ve 1'ler ile değiştirilir, iki sütunun karşılık gelen terimleri çarpılır ve elde edilen değerler toplanırsa, bu toplam her zaman 0'dır. Diğer bir ifadeyle, bir faktörün her seviyesi bir ortogonal dizide aynı sayıda ortaya çıkıyor ise ve bir faktörün her seviyesi diğer bir faktörün her seviyesi ile aynı sayıda ortaya çıkıyor ise, bu dizisinin dik olduğu ifade edilir. Dikliğin önemi, her ana etkinin öteki ana etkilere karışmadan elde edilebilmesini sağlamasıdır. Bununla birlikte, etkileşim etkileri ile eşdeş ilişkileri (bağıntıları) olabilir ve araştırmacıyı yanıltabilir. Eğer etkileşimlerin varlığından şüpheleniliyor ise, iki seviyeli tasarımlar ile çalışmaya başlamak ve daha sonra yanıt yüzeyi yöntemini kullanmak daha tatmin edicidir. Taguchi, standard ortogonal diziler olarak adlandırılan 18 temel ortogonal dizi kümesi oluşturmuş ve bunlara ilişkin bilgiler Tablo 2.3'de verilmiştir.[86] Bu tabloda, oluşturulabilecek her bir ortogonal dizide bulunabilecek satır sayısı, olabilecek enbüyük faktör sayısı ve faktörlerin kaç tanesinin hangi seviyede bulunabileceği verilmektedir. Örneğin Tablo 2.2'deki $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizisinden enbüyük 13 faktör içeren ve 27 denemede gerçekleştirilen bir deney düzeni oluşturulabilir. Bu 13 faktörün her biri, 3 seviyeli olarak düzenlenir.

Ortogonal dizilere olan ilgi, geleneksel olarak 2^{n-p} ve 3^{n-p} kesirli faktöriyel tasarımlarına odaklanır ve tanımlanan ilişkilerin altgurubu tarafından belirlenir. Örneğin, Kempthorne'nin önemli metinleri gösterilebilir. Burada bunlarla birlikte enaz iki problem vardır. Birincisi, bu dizilerin işletim boyutları arasındaki boşluklar; ikincisi ise karışık seviyeli bu diziler çok büyük olabilir. Taguchi neden $L_{18}(2.3^7)$, $L_{18}(6.3^6)$ ve $L_{36}(2^{11}.3^{12})$ dizilerini kullanır? Asıl nedeni ise işletim büyüklüğü ekonomisidir. Beşten yediye üç seviyeli faktörler için 3^{n-p} serisinden en iyisi 27 denemeye sahiptir. $L_{18}(3^7)$ kullanımı, denemelerde %50 tasarruf sağlar. Diğer dizilerin nedenleri çok bellidir. Dizilerin artan kullanımı tarafından kısmen canlanmasıyla, Wang ve Wu; ekonomik işletimli karışık seviyeli ortogonal dizilerin kurulmasına ilişkin genel bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Karışık seviyeli dizileri

---

[86] Yeniay, a.g.e., s.50

oluşturmak için kombine edici tasarım literatürü içinde birçok yöntem önerilmiştir; fakat deneme büyüklüğünün ekonomikliği vurgulanmamıştır. Endüstriyel uygulamalara etki yapmak için herhangi bir kombine edici çalışma, bu ve diğer pratik kısıtlamalar gözden kaçırılamaz.[87]

Tablo 2.3 Standard Ortogonal Dizilere İlişkin Temel Bildiler[88]

Ortogonal Diziler	Satır Sayısı	En çok Faktör Sayısı	Bu Seviyede En Çok Sütun Sayısı			
			Seviye Sayısı			
			2	3	4	5
L_4	4	3	3	-	-	-
L_8	8	7	7	-	-	-
L_9	9	4	-	4	-	-
L_{12}	12	11	11	-	-	-
L_{16}	16	15	15	-	-	-
L'_{16}	16	5	-	-	5	-
L_{18}	18	8	1	7	-	-
L_{25}	25	6	-	-	-	6
L_{27}	27	13	-	13	-	-
L_{32}	32	31	31	-	-	-
L'_{32}	32	10	1	-	9	-
L_{36}	36	23	11	12	-	-
L'_{36}	36	16	3	13	-	-
L_{50}	50	12	1	-	-	11
L_{54}	54	26	1	25	-	-
L_{64}	64	63	63	-	-	-
L'_{64}	64	21	-	-	21	-
L_{81}	81	40	-	40	-	-

Bu gibi dizilerden veri nasıl analiz edilmelidir? 2^{n-p} ve 3^{n-p} tasarımlarından farklı olarak ki bunların etkileri ya ortogonal ya da tamamiyle farklı adlandırılmıştır. Bu diziler daha karışık farklı adla adlandırılan örneklere (en kötü tanınmışı 12 denemeli Plackett-Burman tasarımıdır) sahiptir. Geleneksel yaklaşım ise bunları sadece sınama için kullanmaktadır. Hamada ve Wu'ya göre birçok pratik durumlarda birkaç ana etkiler ve daha az etkileşimler önemlidir, önemli etkileşimi göz önünde bulundurmak ve öngörmek kolaydır. Hamada ve Wu, bunun yapılması için bir analiz önermişlerdir ve bunun etkisini birçok gerçek deneyde göstermişlerdir. Taguchi'nin bu konudaki görüşü farklıdır. Taguchi ve Wu'ya göre "Etkileşimler var olsalar bile hesaplanamazlar. Bu etkileşimler hata olarak görülürler; bu yüzden bu

---

[87] Vijayan N. Nair, "Taguchi's Parametre Design: Experimental Strategy and Planning Techniques", **Technometrics**, Vol.34, No.2, May 1992, 142-146, s.144

[88] Yeniay, a.g.e., s.51

etkileşimlerin etkilerinin tüm sütunlarda (tasarım matrisi) tek biçimli olarak dağılması avantajdır". Öngörülen ana etkiler, etkileşimler tarafından etkilenmezler; çünkü bunlar karıştırılmışlardır veya tasarım matris sütunlarında bir yandan bir yana dağılmışlardır.[89]

İnsanlar yüksek kesirli tasarımlar kullanmanın riskini çok merak ederler. Problem, ana etkilerin ve yüksek derecede etkileşimlerin var olmasındadır. Yüksek kesirli deneyin gözlenen etkisinin ana etki veya bir etkileşime göre olup olmadığını söylemek olanaksızdır. Etkiler birbirleriyle karıştırılır. Yine de kesirli faktöriyeller çok iyi çalışır.[90] İki ve üç seviyeye sahip faktörler için tamamlanmış çok faktörlü deneylerin ve Taguchi'nin ortogonal dizilerinin önerdiği deneme sayıları Tablo 2.4'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.[91]

Tablo 2.4 Çok Faktörlü Deney ve Taguchi Deney Tasarımları İçin Önerilen Deneme Sayıları[92]

Faktörler	Seviye Sayısı	Tamamlanmış Çok Faktörlü Deney Tasarımında Deneme Sayısı		Taguchi'nin Önerdiği Tasarımda Deneme Sayısı
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

Tablo 2.4'ten de görüldüğü gibi, ortogonal dizilerin, tamamlanmış çok faktörlü deney tasarımına göre çok daha az sayıda deneme ile uygulanabilme avantajına sahip olduğu açıktır.

---

[89] Nair, a.g.e., s.144

[90] Box, Bisgaard, a.g.e., s.60

[91] Yeniay, a.g.e., s.51

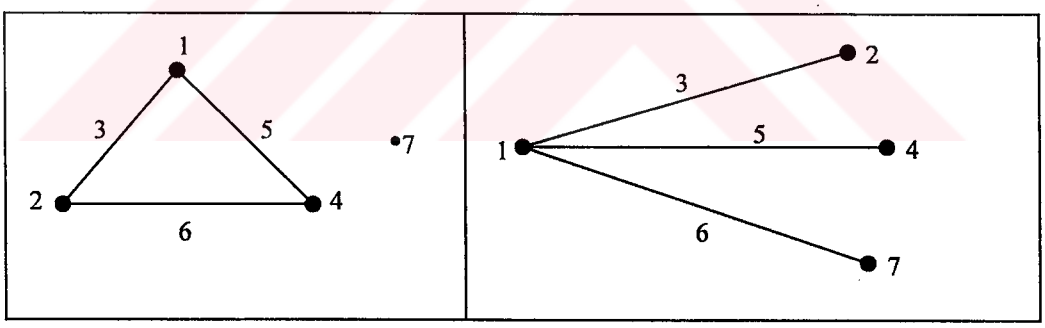
[92] A.e., s.51

Taguchi, faktör ve ekileşimlerinin dizilere atanmasında yardımcı olması için iki araç sağlamıştır:[93]

1. Doğrusal grafikler,
2. Üçgensel tablolar.

2.3.2.1.1.1 Doğrusal Grafikler

Bir deneyin planlanmasında; öncelikli bilgi, bazı etkileşimlerin potansiyel olarak önemli olduğunu önerebilir ve bu yüzden ana etkilerden arınmış olarak öngörülmesi gerekmektedir. Sıkça daha küçük bir tasarım ekonomik ve diğer nedenlerden dolayı seçilir. Bu tasarımlar için bazı etkileşimler ana etkilerle veya diğer etkileşimlerle başka bir adla isimlendirilir. Belirtilmiş etkileşimlerin hesaplanmasını kolaylaştırmada bir tasarım bulmak için, bir geleneksel yaklaşımla takma adların (alias) dizileri (veya etkileşim tablosu) yazılır ve sonucu bulmak için deneme ve yanılma yöntemi kullanılır. İyi eğitilenler dışındakilere bu proses çok zor olabilir. Taguchi bu problemi çözmek için doğrusal grafikler olarak adlandırılan bir yöntemi önermiştir.[94]



Şekil 2.7 L_8 Doğrusal Grafikleri[95]

2.3.2.1.1.2 Üçgensel Tablolar

Taguchi'nin yukarıda açıklanan ortogonal diziler yönteminin kullanımı, etkileşimlerin dahil edilmediği bir deneyi düzenlemek için oldukça basittir. Ancak etkileşimler için öngörü yapılacağı bir deney düzeninin hazırlanması daha fazla

---

[93] Phillip J.Ross, **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw-Hill Book Co., 1989, s.78

[94] Nair, a.g.e., s.145

[95] Ross, a.g.e., s.79

dikkat gerektirir. Bu nedenle Taguchi, ortogonal dizilerde birbiri ile etkileşimli sütunlar hakkında bilgi veren üçgensel tabloları geliştirmiştir. Üçgensel tablolar, faktörlerin ve etkileşimlerin ortogonal dizilere atanmasında yardımcı araçlardan bir tanesidir. Üçgensel tablolar, faktörler arasındaki tüm olası etkileşimleri içerir. Bu tablolar içerisinde yer alan sayılar, etkileşimlerin hangi sütunda yer alacağını gösterir. İlk ve ikinci faktörün hangi sütuna atanacağı bağımsızdır. Bu iki sütuna atanan faktörün etkisi ile daha sonra atanacak sütun numaraları bağımlıdır. Üçgensel tabloların özellikleri şunlardır.[96]

- Bütün üçgensel tablolarda bulunan sayılar, ortogonal dizilerin sütunlarını gösterir.
- Bir ortogonal dizisinin iki sütununa atanan A ve B faktörlerinin AB etkileşimi ile BA etkileşimi aynı anlama geldiğinden, üçgensel tablolar simetrik matristir ve daima üst yarıları verilir.
- Bir faktörün kendisi ile olan etkileşimi yine kendisi olduğu için, esas köşegen elemanları parantez içerisinde kesiştiği satır ve sütun numarasıdır.
- Daha büyük üçgensel tablo, daha küçük üçgensel tabloyu daima içerir.

Tablo2.5'te $L_{27}(3^{13})$ için üçgensel tablo verilmiştir.

Taguchi'nin ortogonal dizileri, çok faktörlü tasarım yöntemlerine göre aşağıdaki nedenlerden dolayı daha üstündür.[97]

- Çok faktörlü deney tasarımı, çok sayıda faktörü incelemek için pratik değildir.
- Taguchi'nin ortogonal dizi deneyleri, kesirli tekrar bileşenlerinden aynı bileşen seçildiği için, deney farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olsa bile, benzer ve tutarlı sonuçlar vermektedir.
- Ortogonal dizi tablosu, kaliteyi etkileyen her faktörün katkısının elde edilmesine olanak sağlar.
- Ortogonal diziler, çok sayıda faktöre sahip olan deneylerin ifade edilmesine olanak verir.

---

[96] Yeniay, a.g.e., s.52

[97] A.e., s. 54

Tablo2.5 $L_{27}(3^{13})$'ün Üçgensel Tablosu[98]

Kolon No	Kolon No												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	(1)	3*	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
		4*	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2		(2)	1*	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7
			4*	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10
3			(3)	1*	9	10	8	7	5	6	6	7	5
				2*	13	11	12	12	13	11	10	8	9
4				(4)	10*	8	9	6	7	5	7	5	6
					12*	13	11	13	11	12	9	10	8
5					(5)	1*	1	2	3	4	2	4	3
						7*	6	11	13	12	8	10	9
6						(6)	1*	4	2	3	3	2	4
							5*	13	12	11	10	9	8
7							(7)	3*	4	2	4	3	2
								12*	11	13	9	8	10
8								(8)	1*	1	2	3	4
									10*	9	5	7	6
9									(9)	1*	4	2	3
										8*	7	6	5
10										(10)	3*	4	2
											6*	5	7
11											(11)	1*	1
												13*	12
12												(12)	1*
													11*
13													(13)

* ile gösterilen sayı çiftleri, toplam etkileşimi içeren sütunları göstermektedir.

2.3.2.2 Shainin Yaklaşımı

Deney tasarımı (DOE), proses davranışını anlamak ve onunla herhangi bir sistem veya prosesin çıktı performansını etkileyen anahtar proses değişkenlerini tanımlamak için güçlü bir tekniktir.[99] Yöntem, proses veya sistemin çalışması hakkında kendiliğinden fikir edinmesini sağlar ve bundan dolayı sürekli kalite iyileştirme olanakları verir. Pazar payı ve müşteri tatmininin iyileştirilmesini sağlayan klasik yöntemlere ve ortogonal diziler tabanlı deney tasarımı, proses performansı ve proses sonucunda elde edilen ürünlerin iyileştirilmesi, kalite

---

[98] Huang, Tai, a.g.e., s.4

[99] Jiju Antony, "Spotting the Key Variables Using Shainin's Variables Search Design", **Logistic Information Management**, Vol. 12, NO. 4,1999, 325-331,s.325

maliyetleri ve ürün geliştirme zamanlarının azaltılması için bir çok üretim organizasyonunda artarak uygulandığı görülmüştür. Antony'nin çalışması, çok sayıdaki değişkenden anahtar değişkenleri ayırmak için Değişkenleri Araştırma Tasarımı olarak adlandırılan deneysel tasarıma alternatif bir yaklaşımı açıklanmaktadır. Değişkenleri Araştırma yöntemine dayanan deneysel tasarım, tanınmış Amerikalı kalite yönetim danışmanı Dorian Shainin tarafından geliştirilmiştir. Shainin, çoklu değişken diyagramı (Multi–Vari Chart), Bileşenleri Araştırma, İkili Karşılaştırma, Değişkenleri Araştırma, Tam Faktöriyeller, C'ye karşı B ve Yayılma Grafiği (Scatter Plots) içeren ürün ve proses kalite iyileştirme için DOE'nin yedi aracını geliştirmiş ve teşvik etmiştir.[100]

Shainin, Taguchi'nin ortogonal dizi tasarımlarında gerekli olan kesirli faktöriyel tasarımların deneme için uygulamalarına şiddetle karşı çıkmaktadır. Karışık etkileşim etkilerinden ana etkileri ayırmadaki zorluğa göre bu her şeyden öncedir. Shainin değişkenlik kaynaklarının yönetilebilir bir sayıya (genellikle iki ve dört arasında) kadar azaltılmasını savunur ki tam faktöriyel deney yapar. Tam faktöriyel deney kullanmanın amacı, deney için düşünülen faktörler arasında her bir ana ve etkileşim etkisini belirlemektir.

2.3.2.2.1 Shainin'in Değişkenleri Araştırma Tasarımı

Shainin'in Değişkenleri Araştırma Tasarımı, deney yapan kişi beş veya daha çok değişkeni (genellikle Değişken sayısı 5-15 arasında değişebilir) incelemek istediği zaman işe yarar. Motorola'da kalite ve verimlilik iyileştirmek için kıdemli uzman olarak çalışan Keki Bhote, değişkenleri araştırma tasarımını "DOE Tekniklerinin Rolls-Royce"u olarak tanımlanmaktadır. Değişkenleri araştırmanın prensipleri ürün veya sistemde ayrık bileşen veya parçalara uygulanabilen bileşenleri araştırmaya benzerdir. Diğer yandan değişkenler araştırma, ürün veya proseslerin ikisine de uygulanabilir. Shainin, deneysel tasarımın bu yaklaşımını otomotiv endüstrisi, dökümhane operasyonları, kağıt endüstrisi ve yarı iletken üreten işletmelerde başarılı bir şekilde uygulamıştır.[101]

---

[100] Antony, (1999), a.g.e., s.325

[101] A.e.

2.3.2.2.2 Değişkenler Araştırma Tasarımının Amaçları

Tipik bir üretim çevresinde değişkenler araştırma yöntemini uygulamanın amaçları aşağıda verilmektedir.

- Kritik değişkenleri önemsiz olanlardan enküçük deneysel işletim sayısıyla ayırmak, böylece denemeye ilişkin maliyetleri ve zaman kullanımını önemli ölçüde azaltmak olanaklıdır.
- Kırmızı X (En önemli faktör), Pembe X (İkinci önemli faktör) ve Açık Pembe X (Üçüncü önemli faktör) tam olarak belirlemek.
- Maliyetlerde anlamlı azalmaya götürecek önemsiz değişkenlerde toleransları açıp genişletmek.
- Kırmızı X, Pembe X ve Açık Pembe X değişkenleri için eniyi ayarları belirlemek.

2.3.2.2.3 Değişkenler Araştırma Tasarımı'nın Uygulanması

Değişkenler Araştırma Tasarım yöntemi, aşağıdaki beş aşamayı içermektedir:[102]

Aşama 1: Girdi değişkenleri veya faktörlerinin bir listesini geliştir ve test et.

1. Geçmiş deneyime ve proses veya ürünün mühendislik bilgisine dayanarak, bütün değişkenleri veya faktörleri, fark edilen önemine göre azalan bir sırada listelenir ve onlar "iyi" (+1) ve "kötü" (-1) seviyelerine atanır. DOE bağlamında "+1"ve "-1" yüksek ve düşük seviyeler olarak da gösterilirler. Ayrıca, deney için düşünülen potansiyel değişkenlerin önemine göre sıralanması için Beyin Fırtınası ve Pareto Analizi kullanması önerilmektedir. Tipik Beyin Fırtınası oturumu, üretim, tasarım, kalite departmanlarından kişileri ve operatörleri içerebilir.
2. Biri bütün değişkenler veya faktörlerin "+1" (yüksek) seviyelerde; diğeri de bütün değişkenlerin veya faktörlerin "-1" (düşük) seviyelerinde olmak üzere iki deney yapılır. Bu iki deney, iki kez daha tekrarlanır. Böylece hepsi beraber, bütün faktörler yüksek ve düşük seviye değerinde altı deneme elde edilir. Kontrol edilemeyen değişkenlerin çıktı yanıt değerinin lehinde veya

[102] A.e., s.326

aleyhinde etkilenmemesini sağlamak için bu altı deneyin rassal yapılması önerilir. Yanıt (response), deneyde ölçülen çıktıdır.

3. Bütün faktörlerin "+1" ve "-1" ayarlarına göre çıktı yanıtının ortancaları (D_M) arasındaki fark hesaplanır. "+1" ve "-1" ayarlarındaki çıktı yanıt değerlerinin aralığı ve ortalama aralığı da hesaplanır. Eğer "+1" ve "-1" ayarlarına göre R_H ve R_L aralıklarsa, ortalama aralık (R-bar) aşağıdaki denklem ile bulunur:

$$\bar{R}=(R_H + R_L)/2 \qquad (2.4)$$

4. $D_M/R=1.25:1$ kuralını uygulanır. Bu, yukarıdaki iki deneyin yapılan üç tekrarın ortancaları arasındaki fark, bir faktörün iki aralığının ortalamasını enaz 1.25 aşması gerektiği anlamına gelir. Eğer kural çalışmazsa o zaman en başa geri dönüp diğer faktör ve seviyelerin seçilmesi önerilir.

Aşama 2: Ortanca için Kontrol Limitlerinin (CL) Hesaplanması

Bu aşamada, yukarıdaki iki deney için ortancanın kontrol limitleri (öngörü aralıkları da denen) hesaplanır. Kontrol limitleri, değişken önemli mi yoksa önemsiz mi olduğunu belirlemek için kullanılır; dolayısıyla faktörün elimine edilmesi için karar vermeye olanak verir. Eğer "M_H", bütün faktörler yüksek seviyede iken yapılan deneyin ortancasını gösterirse kontrol limitleri (CL),

$$CL_H=M_H\pm 2.776Rd_2 \qquad (2.5)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.[103] 2.776 sabiti, %95 güven ve 4 serbestlik (3+3-2'ye göre elde edilen serbestlik derecesi) dereceli ve iki taraflı t-dağılımına göre bir değer ve d_2 ise 1.693'e eşit (örnek büyüklüğü 3 için) bir istatistiksel sabittir.

Benzer şekilde, bütün faktörler düşük seviyede iken yapılan deney için kontrol limitleri (CL_L),

$$CL_L=M_L\pm 2.776Rd_2 \qquad (2.6)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. M_L, bütün değişkenler düşük seviyede iken ortancayı gösterir.

Aşama 3: Kritik Değişkenlerin (Faktörlerin) Önemsiz Olanlardan Ayrılması

Bu aşamada, deneyin amacı, kritik değişkenleri (veya faktörleri) diğerlerinden ayırmaktır. Aşağıdaki ana noktalar, deneyin bu aşamasında yardımcı olmaktadır.

1. Aşama 1'de belirlenen önemli değişkenleri kullanarak, diğer bütün faktörlerin seviyeleri "+1"de iken en önemli faktörün seviyesini "+1" seviyesinden (yani iyi seviye) "-1" seviyesine (yani kötü veya düşük seviye) değiştirerek bir deney gerçekleştirilir. Benzer şekilde, diğer bütün faktörlerin seviyeleri "-1"de iken, en önemli faktörün seviyesi "-1"den "+1" seviyesine değiştirerek başka bir deney gerçekleştirilir.
2. Eğer yukarıdaki iki deneyden elde edilen çıktı yanıt değerleri ortanca limitleri içinde kalıyorsa, o zaman değiştirilen (swap) faktörün (yani Faktör 1) etkisi önemsenmeyebilir. Diğer yandan, eğer çıktı yanıt değerleri ortanca limitleri dışında kalıyorsa, o zaman bu değiştirilen faktör ya kendisi ile ya da henüz belirlenmemiş olan diğer faktörlerin kombinasyonu ile, ilgili yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahiptir.
3. Diğer bütün faktörlerin seviyeleri "+1"de iken, ikinci önemli faktörün seviyesini "-1"e değiştirerek bir deney yapılır. Benzer şekilde, diğer bütün faktörlerin seviyeleri "-1"de iken, ikinci önemli faktörün seviyesini "+1"e değiştirerek başka bir deney gerçekleştirilir. Çıktı değerlerinin, Aşama 2'den hesaplanan ortanca limitleri içinde olup olmadığı kanıtlanır. Algılanan önem sırasıyla, deneydeki bütün faktörler için aynı prosedür tekrarlanır. Deneyden iki veya üç faktör değişken belirlendiğinde Shainin bütün halinde çalıştırma (capping run) olarak adlandırılan yürütmenin yapılmasını savunur.

Aşama 4: Bütün Halinde Çalıştırma (Capping Run)

Bütün halinde çalıştırma, sağlama amaçları için yapılır. Varyasyonun kök nedenleri için tek sorumlu oldukları düşünülen faktörler/değişkenler belirlenmiş olur. Shainin bu faktörleri/değişkenleri "Kırmızı X", "Pembe X" ve "Açık Pembe X" olarak adlandırılmaktadır. Çıktı değerleri, ortanca limitleri içinde kaldığında, bütün halinde çalıştırmaların başarılı olduğu söylenir. İki tane bütün halinde yürütme gerçekleştirilmelidir. Biri, "Kırmızı X", "Pembe X" ve "Açık Pembe X" değişkenleri "+1" seviyelerinde iken, diğeri de "-1" seviyelerinde iken yapılır. Eğer bu yürütmeler başarılı olmazsa, o zaman, ya birinci aşamada kritik değişken hesaba katılması unutulmuştur, ya da ikinci aşamada değişkenler listesinden daha fazla yeni kritik

---

[103] A.e., s.327

değişkenler tanımlamak zorunluluğu var demektir. Genellikle, "Kırmızı X", "Pembe X" ve "Açık Pembe X" değişkenleri, her hangi bir kaliteyle ilişkili problemin kök nedenlerinin (root causes) sorumlusudurlar.

Aşama 5: Faktöriyel Analiz

Yukarıdaki aşamalardan toplanan veri kullanılarak, "Kırmızı X", "Pembe X" ve "Açık Pembe X" değişkenlerinin ana ve etkileşim etkilerini belirlemek için bir faktöriyel analiz yapılır. Shainin, değişkenlerin etkili olup olmadığını görmek için, etkileşim çizimleri (interaction plots) olarak adlandırdığı bir grafiksel analiz önermektedir. Etkileşim çiziminde paralel olmayan doğrular, iki değişken arasında bir etkileşimin varlığını göstermektedir.

2.3.2.3 Yanıt Yüzeyi Yöntemi

Deney tasarımı, özellikle 1990'lı yılların kalite, verimlilik, performans, güvenilirlik, ve karlılıkta artış sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan stratejik kalite silahları olarak tanımlanmaktadır. Ürün tasarımında deney tasarımını esas alan farklı yöntemlerden yararlanılabilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan Yanıt Yüzeyi Yöntemi (YYY:Response Surface Methodolgy-RSM) ilgili yanıtın bir kısım kontrol edilebilir değişkenlerden etkilendiği ve amacın bu yanıtı eniyilemek olduğu problemlerin modellenmesi ve analizini sağlayan bir yöntemdir. Yöntemin amacı en çok istenen yanıtın değerini verecek girdi değişkenlerinin kümesini belirlemektir.

YYY 1950'lili yıllarda kimya endüstrisindeki uygulamalar da eniyi işleme (operating) koşullarının belirlenmesi amacı için geliştirilmiştir.[104] YYY, bir veya daha fazla yanıtta tasarım değişkenleri bölgesinin incelenmesini sağlayan tasarım ve veri analizindeki tekniklerin toplamıdır. Amaç en çok istenen yanıt değerini üreten girdi değişkenlerinin ayarlarını (settings) bulmaktır.

YYY bilinmeyen proses parametrelerini eniyilemek için kullanılır. Prosedür eniyi parametreler elde etmek için verilen verilere fonksiyon uydurulmasını ve eniyileme tekniklerinin kullanılmasını içerir. Bu durumda yöntem, değişkenlerden etkilenen yanıtı eniyilenmesini amaçlayan problemlerin modellenmesi ve analizi

için yararlı olan matematiksel ve istatistiksel tekniklerin toplamı olarak tanımlanabilir. Bir dizi deneysel stratejiler küçük faktör değişikliği denilen bir gruba uygulanarak bu stratejilerden hangilerinin seçilmiş ölçülerde en iyi performans gösterdiği saptanır. Deneyin amacı yanıtta belli ölçüde bir ilerleme sağlarken faktör seviyelerini olduğunca az değiştirmektir.[105]

Bir eniyi değer için araştırma yaparken tamamen ardışık deneysel tasarımların kullanılması avantajlıdır. Burada her tasarım noktası önceki tasarım noktalarından elde edilen enformasyonlara dayanılarak seçilir. Ardışık tasarımın bazı avantajlarından yararlanmak fakat karmaşıklığı azaltmak için, deneysel tasarımların tipik olarak çalıştırıldığı aşamalarda tasarım noktaları kümesi seçilir ve sonra bu verinin analizine dayanarak başka bir tasarım noktası kümesi seçilir. Bu kısmen ardışık olan tasarımlara *Deneysel Tasarım Stratejileri* denir. Deneysel tasarım stratejilerine bir örnek geleneksel yanıt yüzeyi metodolojisidir. Küçük faktör değişikliği probleminde çok sayıda faktörü değiştirmek arzu edilmediği için, her denemede bir faktör stratejisi uygun olabilir. Genellikle istatistikçiler bu stratejiden kaçınmışlardır; çünkü faktörler arasındaki etkileşimi dikkate almamakta ve diğer yöntemlerden daha az verimli olmaktadır.[106]

Deneysel tasarım stratejisinde tasarımın izleyen aşamasını ilgilendiren kararlar, yanıt yüzey fonksiyonuna bağlıdır. Stratejilerin etkinliği spesifik yanıt yüzey fonksiyonu bilinmeden hesaplanamaz. Yanıt yüzeyi fonksiyonu pek bilinmediğinden dolayı tasarım stratejiler arası karşılaştırmalara ve analitik çalışmalara pek uygun düşmezler. McDaniel ve Ankenman çalışmalarında bir yanıt yüzeyi test tabanı önermişlerdir. Bu yatak bir yandan tesadüfi yanıt yüzey fonksiyonları üretirken yüzeylerin karakteristikleri üzerinde bazı kontrollere olanak tanıyordu. Bu temel

---

[104] Raymond H. Myers , Arthur Jutan, "Response Surface Methodology: 1966-1988", **Computers Chem. Engn.** Vo.l21, No.4 1997, s.441-453.

[105] William R.McDaniel, Bruce E.Ankenman, "Comparing Experimental Design Strategies for Quality Improvement With Minimal Changes to Factor Levels", **Qual.Reliab.Engng.Int.**, 2000;16:355-362, s.355

[106] A.e., s.356

kullanarak farklı tasarım stratejilerinden hangisinin daha iyi performans gösterdiğini saptamak için değişik karakterli çok sayıda yüzeyler üretmişlerdir.[107]

Ürün tasarımında avantajlarının çokluğundan dolayı en yaygın olarak kullanılan yöntem Taguchi yöntemidir. Ancak, YYY'nin, Taguchi Yöntemine göre bazı avantajları söz konusudur. YYY daha az bir çaba ile tasarım eniyileme problemlerinin çözümünü sağlayan esnek ve etkin bir yöntemdir. Kontrol edilebilir değişkenler için Taguchi tekniği ile belirlenen faktör seviyeleri, değişkenlerde yapılabilecek herhangi bir değişiklik durumunda bütün deney prosesinin tekrarlanmasını gerektirir. Halbuki YYY'nde bu olumsuzluk yöntemin sıralı prosedür yapısı nedeniyle sabit kalır.

Eniyi ürün tasarımını elde etmek için deney tasarımların uygulandığı pek çok yöntem literatürde yer almakta ve işletmeler tarafından uygulanmaktadır. Taguchi tekniği anlaşılma kolaylığı ve daha az deney gerektirmesinden dolayı zaman ve ekonomik kazançları nedeniyle en çok uygulanan yönetimi oluşturmaktadır. YYY ise deney tasarımı yanında matematiksel programlama ve eniyileme tekniklerinin kullanımıyla eniyi değerleri elde etmeyi sağlamaktadır.[108]

Yanıt, değerleri faktör seviyelerinin değişmesiyle değiştiği kabul edilen ve değerleri eniyilenmek istenen ölçülebilir niceliktir. Performans ölçüsü veya kalite karakteristiği yanıt olarak tanımlanabilir.[109] *Yanıt değeri*, üretim hattının enbüyük çıktısı veya en yüksek kalite seviyesi olabilir. Ürün maliyetini enküçükleyen değişken kümesi araştırılabilir.

Proseslerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve eniyilenmesini amaçlayan yöntem sırasıyla şu uygulamaları içerir:[110]

- Proses veya bağımsız değişkenler uzayının açıklanması için deney planı,

---

[107] A.e.

[108] Raymond H. Myers, A.I Khm'i, G.Vinning, "Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach", **The American Statistician**, May 1992, Vol.46, No.2, s.131-139

[109] Myers, Jutan, a.g.e., s.441-453

[110] M. Farooq Anjum, "Response Surface Methodology :A Neural Network Approach Theory and Methodology", **European Journal of Operation Resarch,** 1997: **101**, s. 65-73

- Çıktı ve proses değişkenleri arasındaki uygun yaklaşım ilişkisini geliştirmek için deneysel (empirical) istatistiksel modelleme,
- Yanıtların istenen değerlerinin üreten proses değişkenlerinin seviye ve değerlerinin bulunması için eniyileme yöntemleri.

YYY sistemin eniyilemesinin hedeflendiği ve sistemin bilinmediği durumlarda yararlı bir tekniktir. y bağımlı değişkenini, x, $x \in R_n$, bağımsız değişkenler (girdiler) vektörünün doğrusal olmayan fonksiyonu ve beklenen yanıt E(y) ise, E(y)=f(x) yüzeyi *yanıt yüzeyi* olarak adlandırılır. Yanıt yüzeyi olarak adlandırılan sistemin gerçek modeli genellikle bilinmeyendir. Değişkenler gibi yanıtlar da birden fazla olabilir.

YYY uygulanmasında ilk adım olan deneysel tasarımın yapılması ile yanıt değişkeninin belirlenmesinde önemli olduğu düşünülen her bir faktör için kullanılmakta olan çeşitli seviyeler tanımlanır. Elde edilen veriler çoklu regresyon analizi ile analiz edilir. Çıktılar yani yanıt fonksiyonu, bilinmeyen model parametrelerinin bir öngörüsüdür. Modelin uygunluğunu kontrol etmek ve belirli terimlerin modelden elimine edilip edilemeyeceğini belirlemek için testler yapılır. Genellikle, deneye birinci dereceden modelle başlanır. Birinci dereceden model uygun değilse tasarım ikinci dereceden modele uydurmak için arttırılır. Bir kez tasarım veriye uydurulursa öngörülen modelin uygunluğu için kontrol edilir. Modelin uygunluğu sağlanırsa, yüzey çizilir ve eniyi faktör ayarları (settings) tanımlanır.

YYY'nin pek çok uygulamada etkin (effective) olduğu hesaplanmış, bununla beraber Mahajen et al. önerdiği gibi aşağıdaki sınırlamalara sahiptir.[111]

- Oluşturulan lokal model, eniyiyi araştırmak için eğim(gradient) hesaplamak için lokal bölgedeki veriyi kullanır. Bir kez ilgi diğer bölgeye kaydığında eski bilgi atılır (geçersiz olur).

---

[111] H. Xie, Y.C. Lee, R.L. Mahajan, R. Su, "Process Optimization Using a Fuzzy Logic Response Surface Method", **IEEE Transaction on Compenents Packing and Manufacturing Technology**, Part A, Vol.17, No.2, June 1994, s.202-211

- Doğrusal bölgede her bir çalışma noktasındaki eğimi değerlendirmek için genellikle tam faktöriyel tasarım 2^k istenir; k eniyilenmekte olan değişkenlerin sayısıdır. Değişken sayısı arttığında yapılması istenen deney sayısı hızla artar.
- Doğrusal olmayan bölgede genellikle çok sayıda deney isteyen ayrıntılı DOE yapılmalıdır. Örneğin merkezi karma (central composite) tasarım 2^k+2k+n_c deney ister. n_c merkezi noktadaki tekrar sayısıdır.

Çoklu kalite karakteristiğinin eniyilemesi için YYY kullanan bütün kalite karakteristiklerinin aynı zamanda eniyilenmesini amaçlayan kompleks fonksiyon türeten yaklaşımlarla her bir kalite karakteristiği için ayrı eniyilemesinden farklı olur.

Verilerin analizi için Taguchi yaklaşımına alternatif olarak geliştirilmiş yöntemler vardır. Bunlardan biri olan yanıt yüzeyi yaklaşımı ortalama ve varyansı tek bir istatistiksel değer yerine ayrı, ayrı değerlendirme avantajına sahiptir.Yanıtın ortalama ve varyansına modeller uydurulması için uygulanan yöntemler daha az veri değerlendirme çabası ile prosesin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Ortalama yanıtın modellenmesi ile ilgili yöntemler klasiktir. Son yıllarda gürültü değişkenlerinde ölçülerin ve yanıt tekrarlarının olmadığı durumlar için bile yanıt değişkenlerinde varyans modelleme konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Robust parametre tasarım problemlerinde proses varyansı için model, ortalama için modelden bile daha önemlidir.

BÖLÜM 3
TAGUCHİ YÖNTEMİ YAKLAŞIMI

Kalite geliştirmede Taguchi Yaklaşımı, varyans indirgemesi üzerinde odaklanmaktadır. Taguchi'nin varyans indirgemesi yaklaşımı istatistik ve mühendisliğe çok önemli bir katkı olarak görülmektedir. Bazı yazarlar Taguchi'den önce gürültü faktörlerinin kullanılmasını önermekle birlikte, Taguchi'nin bu önerileri varyans indirgemesinde kullanımı ile ilgili fikirleri orijinaldir ve çok büyük etkiye sahiptir.[1] Taguchi Yöntemleri (TY:Taguchi Methods), üretim kontrol ve yapısal (structural) eniyileme ile ilgili çok farklı problemlere değişen başarı derecelerinde uygulanmaktadır. Batı dünyasındaki istatistikçiler tarafından eleştiriler almasına rağmen, Taguchi'nin yöntemleri ABD'deki bir çok uygulayıcı tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Yöntemlerin zayıf yönleri bulunmasına rağmen, iyi sonuçların alındığı gerçek yaşam uygulamalarının sayısı az değildir. Taguchi'nin katkıları üzerine mükemmel bir çalışma olarak Pignatiello ve Ramberg'in makalesi verilebilir.[2]

Taguchi kavramları bir kalite geliştirilmesine ilişkin mühendislik yöntemlerine dönüştürülmüştür. Buna Japonya'da kalite mühendisliği, Batı da ise robust tasarımı denmektedir.[3]

Dr.Genichi Taguchi'nin deneysel tasarıma yaklaşımının önemi, istatistikçiler tarafından geniş bir şekilde tartışılmıştır. Yorumcuların çoğu, Taguchi'nin kayıp fonksiyonu kavramının gerçek bir desteği ifade ettiği görüşünde birleşmektedirler. Ayrıca, ürün tasarım aşaması esnasındaki yeni deneyimlerin, büyük bir değere sahip olduğu şeklinde genel bir fikir birliği vardır. Taguchi, bu konuya göstermiş olduğu özen nedeniyle geniş bir şekilde takdir edilmiştir. Bununla beraber, Taguchi'nin ortogonal dizilerinin, ürün tasarımında etkili ve yeterli yöntemler olup olmadığı hakkında önemli tartışmalar ortaya çıkmaktadır.

---

[1] Cenk Özler, "Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1997, s. 169

[2] A.M.Connor, "Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods", **Journal of Engineering Design**, Vol.10, No.4, 1999, 377-390, s.378

[3] How Sing Sii, Tom Ruxton, Jin Wang, "Taguchi Concepts and Their Applications in Marine and Offshore Safety Studies", **Journal of Engineering Design**, 2001, Vol.12, No.4, 331-358, s.331

3.1 TAGUCHİ YAKLAŞIMININ ANAHTAR ELEMANLARI

Taguchi yaklaşımının anahtar elemanları olarak aşağıdakiler verilebilir. Bunlardan bazıları aynı zamanda Deming'e aittir:[4]

1. Ürünün tasarlanması, üretilmesi ve kullanılması anında kalite, bütün toplumdaki etkisi olarak incelenir. İyi kaliteli ürün, topluma çok küçük kayıp yükleyendir. Burada kayıp; bozulma, gürültü, emniyet, yaşamı azaltma, çevredeki etkisi vb içerir.
2. Sürekli kalite geliştirme ve maliyet düşürme, rekabet etmek ve pazarda varlığını sürdürmek için gereklidir. Kalite, fiyatı hesaba katmadığında anlamsızdır.
3. Sürekli kalite geliştirme programı, ürün performans karakteristiğinin varyasyonu hedef değere sürekli azaltmayı içerir. Ürün performans karakteristiği ile kullanıcının gereksinimini karşılayacak ürünün performansını belirleyen son ürün karakteristikleri ifade edilir. Örneğin, televizyondaki resimlerin netliği. Tatmin derecesini belirlemek için, müşterinin bakış açısından performans karakteristiğinin ideal durumu bilinmelidir; bu ideal durum hedef değer olarak bilinir.
4. Müşterinin kaybı, hedef değerden sapmaların karelerinin performans karakteristiğine oranıdır.
5. Son kalite ve maliyet, ürünün mühendislik tasarımları ve üretim prosesleriyle belirlenir.
6. Ürünün performans varyasyonu performans karakteristiklerinde ürün parametrelerinin (tasarım ve gürültünün her ikisi) doğrusal olmayan etkilerinin kullanılmasıyla azaltılabilir. Ürün parametreleriyle, kullanılan malzemenin gerilme kuvveti, kimyasal yapısı vb ürünün tasarımını karakterize eden ve tasarımcı tarafından kontrol edilen değişkenler ifade edilir. Gürültü faktörleri, işleme (operating) çevresinin varyasyonları, insan hataları vb kontrol edilemeyen faktörlerdir.

---

[4] Nozer D. Singpurwalla, "A Bayesian Perspective on Taguchi's Approach to Quality Engineering and Tolerance Design", **IIE Transactions**, Vol.24, Number 5, November 1992, s.19-27

7. Performans varyasyonunu azaltan ürün parametrelerinin ayarlarını (settings) tanımlamak için istatistiksel olarak tasarlanmış deneylerin kullanımı.

3.2 TAGUCHİ'NİN KALİTE FELSEFESİ

Küresel pazarda ciddi rekabet bir çok Amerikan endüstriyel işletmelerinin kaliteyi geliştirmek ve maliyeti azalmak için Taguchi Yöntemleri'ni kullanmaya zorlamıştır. Taguchi Yöntemleri –Japonya'da on-line kalite kontrol, off-line kalite kontrol ve deney tasarımı sistemi olarak bilinen- Japon Endüstrilerinin başarılı olmasında en önemli noktalardır.[5] Japonya'da pek çok tasarım mühendisi ve atölye teknisyeni ürün ve proses kalitesini oluşturmak için bu yöntemleri rutin olarak uygulamışlardır. Bununla beraber, bu yöntemler Amerikan Tedarikçiler Enstitüsü, kalite mühendisliği eğitim programlarına başladığı 1980'li yıllara kadar Amerikalı mühendisler tarafından bilinmiyordu.

Bugün pek çok Amerikalı mühendis Taguchi yöntemlerini, ürün veya proses karakteristiklerinin pahalı olmayan bileşenler ve malzemeler kullanılmasına rağmen sabit parametre seviyelerinin araştırılmasında güçlü ve maliyet etkin araçlar olarak tanımaktadır. Kaybolan pazar paylarını tekrar kazanmak için Ford Motor ve ITT gibi Amerikan otomotiv ve ilgili organizasyonlar, mühendislerini Taguchi Yöntemleri konusunda eğitmişlerdir.

Taguchi Yöntemleri, ortogonal dizi (orthogonal array) ve varyans analizi gibi istatistiksel tekniklerin kullanımını içermesine rağmen, Taguchi Yöntemleri istatistiksel yöntemler değildir. İngiliz Uzay Bilimlerinden L.N. Harris, bunu şu şekilde açıklamaktadır[6]: "Taguchi'nin farklı olduğuna şüphe yoktur. Taguchi, mühendislerin kolaylıkla kabul edebileceği yeni bir felsefeyi savunur". İstatistik topluluğundan çok duyulan bir yakınma, Taguchi'nin şimdiye kadar dikkate değer bir istatistikçi olmadığıyla ilgilidir. Diğer taraftan mühendislik topluluğunun çok duyulan bir yakınması istatistiğin dikkate alınaçak bir mühendislik olmadığıdır. Her iki tarafın uzlaştığı noktalar Taguchi'nin fikirlerinde yer almaktadır. Böylece,

---

[5] Paul K.H. Lin, Lawrence P.Sullivan, Genichi Taguchi, "Using Taguchi Methods in Quality Engineering", **Quality Progress**, September 1990,pp.55-59

[6] A.e., s.55-59

Taguchi Yöntemlerini kalite mühendisliği ile ilgili eğitim programlarında yer vermek iyi bir fikir olarak görülmektedir.

3.2.1 Taguchi Yöntemlerini İstatistiksel Yöntemlerden Ayıran Özellikler

Deney Tasarımı (DOE) güçlü bir teknik olup birden fazla proses veya sistemin eş zamanlı olarak ve etkin bir şekilde incelenmesini sağlar; bu da sistem hakkında daha iyi bir anlayışa götürür. Bu haliyle her denemede bir değişken şeklinde ifade edilen geleneksel yaklaşımı ikame eder. Geleneksel yaklaşımda her denemede bir değişken değiştirilir ve deneydeki diğer tüm değişkenler sabit tutulur. Klasik ve geleneksel yaklaşım arasındaki temel fark, ikincisinde anahtar değişkenler arasındaki etkileşimleri incelemek mümkün değildir.[7]

Amerikan endüstrisinde üst yönetici kalitenin geliştirilmesi ve maliyetin azaltılmasından sorumludur. Kalite mühendisliğinde bu iki yaklaşım arasında seçim yapma yönetimi yanıltır ve bazı durumlarda sistemi felce uğratır. Taguchi Yöntemleri ve klasik istatistiksel yöntemler arasındaki farkların incelemesinin, yönetici ve mühendislerin yanılmalarını azaltacağı umulmaktadır.[8]

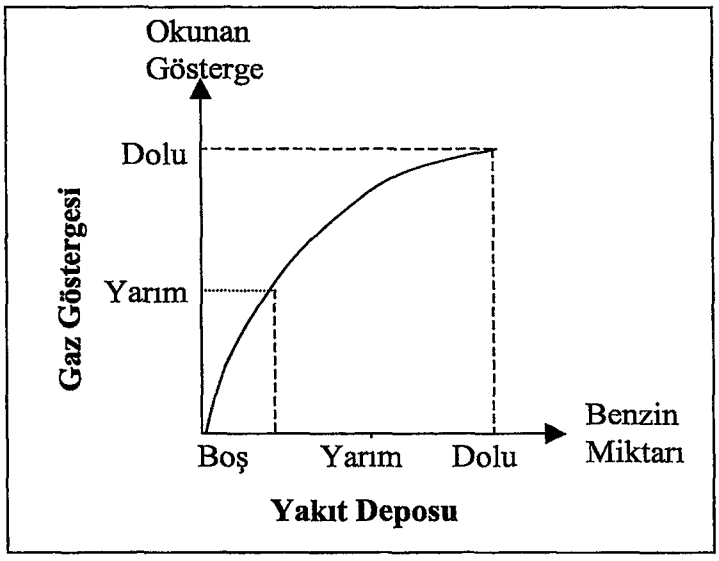
- **Temel Farklar**

İstatistiksel yöntemler ve Taguchi Yöntemleri arasındaki fark, istatistiksel yöntemlerin *ne olduğunu*, Taguchi Yönteminin bir şey olduğunda *ne yapacağımızı* söylemesidir. Örneğin, benzin göstergesinde benzin miktarını okuma ile yakıt deposundaki benzin miktarı arasındaki ilişki kuadratik ve konkav aşağı doğru azalandır. Benzin deposu genellikle benzin göstergesinin gösterdiğinden daha az yakıta sahip olacaktır ve sürücü benzin istasyonuna ulaşmadan yakıt bitecektir (Şekil 3.1) . Üretim Mühendisleri bu tür problemlerin nedenlerini bulmak için istatistiksel yöntemler uygularlar. Fakat mühendisler, benzin deposundaki benzin miktarı hakkında sürücüye daha iyi fikir vermek için, gösterge okuma ve benzin depósundaki benzin arasında, eğimi 1'e eşit olan düzgün doğrusal ilişki olarak yorumlamalıdırlar (Şekil 3.2).

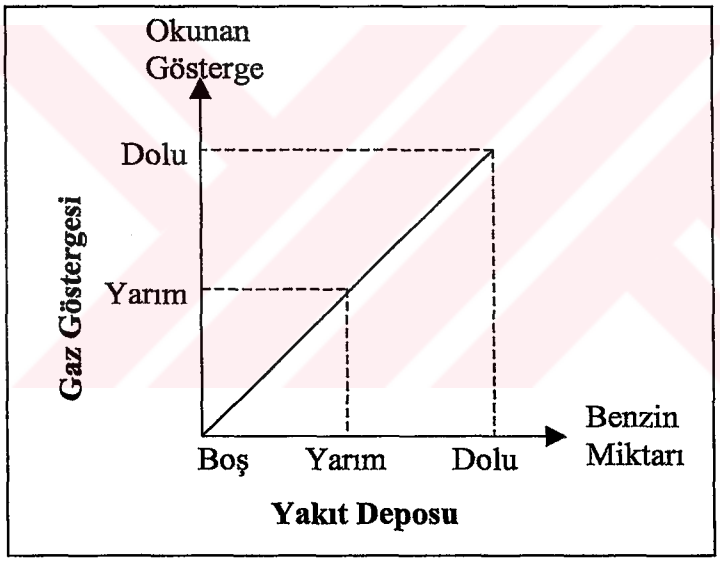
---

[7] Marcus Blosch, Jiju Antony, "Experimental design and Compure-Based Simulation:A Case Study With he Royal Navy", **Managing Service Quality**, Vol.9,No.5, 1999:311-319,s.311

[8] Lin, Sullivan, Taguchi, a.g.e., s..55-59



Şekil 3.1 Kuadratik ve Aşağı Doğru Konkav İlişki[9]



Şekil 3.2 Eğimin 1'e Eşit Olduğu Doğrusal İlişki[10]

İstatistiksel yöntemler (regresyon analizi) mühendislere iki alt sistem arasında nasıl bir ilişki oluşturduğunu söylemesine rağmen, mühendislere bu ilişkiyi nasıl yorumlayacaklarını göstermezler. Taguchi yöntemleri (dinamik karakteristikler) mühendislerin ürün veya prosesin iki alt sistemleri arasındaki böyle bir doğrusal ilişkiyi nasıl yorumlayacaklarını gösterir. İstatistiksel yöntemler ve Taguchi

[9] A.e., s.55
[10] A.e.

yöntemlerinin her ikisi kalite ve verimliliğin geliştirilmesinde zorunlu araçlardır. Ne yazık ki, onları etkin bir şekilde kullanacak kişiler, onların arasındaki farkları bilmelidirler.

- **Yeni Felsefe**

Taguchi yöntemleri, yeni felsefeyi gösterir. Kalite, hedef değerinden fonksiyonel karakteristiklerin sapmasıyla ölçülür. Gürültüler (sıcaklık, kirlilik, bozulma vb) kaliteyi azaltan böyle sapmalara neden olur. Gürültüleri ortadan kaldırmak olanaksız veya son derece pahalı olduğundan, onları ortadan kaldırmaktan çok, Taguchi yöntemleri gürültünün etkilerini ortadan kaldırmayı araştırır. Taguchi yöntemleri, mühendislik esaslıdır ve istatistiksel uygulamanın ana görünüşünden aşağıdaki gerekli yenilikler yapılmıştır:[11]

- Enerji-ilişkili kalite karakteristikleri istenen bilgiyi sağlamak için toplanan ölçümlerden seçilirler.
- Maliyet ve gelişme zamanı kısıtlarını karşılamak ve atölyede veya çalışma alanında (kullanıcı çevresinde) laboratuvar sonuçlarının uygulanabilirliğini arttırmak için iç (inner) ve dış (outer) ortogonal dizileri kullanan deneyler tasarlanır.
- Faktörler (bileşenler, karışım maddelerinden her biri, zaman, sıcaklık vb.) arasındaki ilişkiler gürültüler olarak işlem görürler.
- Varyans analizi, bir faktörün etkisinin yüzdesini hesaplamak için kullanılır; yani toplam varyanstaki önemli faktörlerin etkileri sayısallaştırılır.
- Bir doğrulama deneyi, sonuçları doğrulamak için yapılır.

Taguchi yöntemleri, stokastik modeller yerine fonksiyonel ilişkileri vurgular; istatistiksel kabullerin kullanımından, mühendislik gerçeklerine doğru hareket eder ve onaylayıcı olmaktan çok tetkik edici olan deney tasarımı aracını kullanır.

Taguchi yöntemleri, araştırma ve geliştirme aşamasının başlangıcından, ürün hattının sonuna kadar değişkenliği azaltmayı yorumlayan araçlar sağlar. Bu hızlı ve etkili yöntemler kolaylıkla öğrenilir ve aşağıdaki faaliyetler için kullanılır:[12]

---

[11] A.e., s.55-59

[12] A.e.

- *Parametre tasarımı:* Pahalı olmayan bileşen ve malzemeler kullanan, bütün olası gürültülere karşı robust (duyarsız olan) ürün veya proses oluşturmak,
- *Tolerans tasarımı:* Gerekirse, değişkenliği daha çok azaltarak, bileşenleri ekonomik olarak kalitesini yükseltmek.
- *On-line geri besleme (feedback) kalite kontrol:* Üretim hattında kalite karakteristiklerini ölçmek ve analiz sonuçlarını, sonraki ürünlerin karakteristiklerinin hedeflenen değerlerinden sapmaları azaltmak için ilerleyen prosese göndermek.

On-line proses parametre kontrolü için diğer ana yöntemler, ölçüm teçhizatının geliştirilmesi kadar değerlendirilmesi ve değişkenliği azaltmak için önleyici bakımın kullanılmasını içerir.

- **Kopya edilebilirlilik**

Endüstriyel araştırmacılar, kalite ve verimlilik iyileştirme için bütçe ve gelişme zamanı teklifine gereksinirler. Onlar kaç deneyin yapılacağını önceden bilmek isterler. Fabrika veya alandaki aşağıya doğru (downstream) akışlarla laboratuvar sonuçlarının kopya edilebilirliğinin (reproducibility) başarıları için çok önemlidir; bu yüzden faktör etkilerini gösteren bileşenlere ayrılabilen karakteristikleri seçmelidirler. Deneylerindeki bütün faktörlerle tamamen etkileşmesi için gürültüleri akım yoluna getirmelidir.

Taguchi Yöntemleri, bu tür faktörlerin faktör etkilerin katkısı olduğundan büyük parçalarda, enerji ilişkili karakteristiklerin seçiminde araştırmacılara yol göstericidir. Taguchi Yöntemleri akım yönündeki gürültüleri dış ortogonal dizi ve proses veya ürün faktörlerini iç ortogonal diziye atar. İç dizilerin her bir kombinasyonu için ölçümler, dış dizilerin her bir kombinasyonuna göre oluşturulan farklı çevrelerde elde edilirler (Şekil 3.3). Aşağı doğru gürültüler, böylece tamamen bütün faktörler etkileşmek için laboratuvara getirilir. Böyle bir deneyle belirlenen faktör seviyelerinin optimal kombinasyonu, laboratuvarda istenen sonuçları üretebilir. Ondan sonra atölye veya üretim alanında benzer sonuçları üretmek mümkün olur.

												DIŞ DİZİ			
											N	1	2	2	1
											M	1	2	1	2
	İÇ DİZİ										L	1	1	2	2
No.\	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$	$y_{1,3}$	$y_{1,4}$
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$	$y_{2,3}$	$y_{2,4}$
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	.	.	.	.
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	.	.	.	.
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	.	.	.	.
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	.	.	.	.
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	.	.	.	.
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	.	.	.	.
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	.	.	.	.
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	.	.	.	.
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	.	.	.	.
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	$y_{12,1}$	$y_{12,2}$	$y_{12,3}$	$y_{12,4}$

Şekil 3.3 Ortogonal Dizi Örneği[13]

- **Kalite ve Verimlilik**

Verimlilik problemi, üretim prosesinin kalite problemidir. Taguchi'nin parametre tasarımı kullanıldığında, nominal-en iyi analizi, daha büyük-daha iyi analizi ve akümülasyon (accumulation) analizi vb kalite geliştirme teknikleriyle ele alınır. Bu teknikler, sıradan bir teknisyen tarafından kullanılabilecek şekilde tasarlanırlar. Teknikler göreceli olarak basit, etkin ve verimlidir.

Taguchi Yöntemleri, prosesin kalite ve verimliliğinin her ikisini geliştirmeyi araştırır. Böylece geliştirilen proses en büyük çıktılardan birine sahip olacaktır, değişmeyen olacaktır; üreticinin, tüketicinin ve bir bütün olarak toplumun kaybını azaltacaktır.[14]

3.2.2 Taguchi Yöntemleri ve Robust Tasarım

Bugünün global ekonomisinde ayakta kalabilmek için işletmelerin güvenilir, yüksek kaliteli ürün ve işlemleri düşük bir maliyetle ve kısa bir geliştirme süresi ile üretmeleri zorunludur. Kalite, ekonomik olarak tam bir muayene ile elde edilemez. Kalite için tasarım yapmak, ürünü ürettikten sonra onu muayene etmek ve yeniden işlemekten daha ucuzdur. Böylece yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle

[13] A.e., s.56

tasarlamak için yeni bir felsefe, teknoloji ve ileri istatistiksel araçlar devreye sokulmalıdır.[15]

Maliyet, ağırlık veya dayanılırlık gibi özellikler müşteriyi ilgilendirir. Bir ürün/prosesin kalitesi bu özellikler bazında ölçülür. Tipik olarak kalite ömür döngüsü boyunca ölçülür. Bir ürünün kalitesi toplumda neden olduğu toplam kaybı bakımından ölçülür. Bu kayıpta fonksiyonel değişkenlikten veya zararlı yan etkilerden oluşur. İdeal kalite kaybı sıfırdır. Klasik Taguchi yöntemi off-line kalite kontrolüydü. 1950'lerden bu yana Taguchi büyük ölçüde deneylerin tasarımı için istatistiksel teoriye dayanan kalite geliştirme istatistiksel araçları ve kavramları ortaya koymuştur. Bu yöntemlere robust tasarımı denmiştir. Robust tasarım yöntemleri sistematik ve verimli yaklaşım sağlayarak tasarım parametrelerinin eniyiye yakın kombinasyonunu bulur. Böylece ürün fonksiyonel olur, yüksek seviye performans gösterir ve gürültü faktörlerine karşı robusttur (dayanıklıdır). Gürültü faktörleri kontrol edilemeyen veya kontrol edilmesi çok pahalı faktörlerdir. Bir ürünün maliyetinde faaliyet maliyeti, üretim maliyeti ve yeni ürün geliştirme maliyeti bulunur. Yüksek kaliteli bir ürün her üç kategoride de düşük maliyetler gösterir. Robust tasarım öyle bir sistematik yöntemdir ki bununla üretici düşük maliyetleri korurken yüksek kaliteli ürün çıkarır. Bu arada faaliyet masrafları da düşük olmaktadır.[16]

Taguchi'nin felsefesi üç basit ve temel kavrama dayanır.[17]

1. Kalite ürünün içine sokulmalı ve fakat içinde incelenmemelidir.
2. Kaliteyi sağlamanın en iyi yolu hedeften sapmayı enküçüklemektir. Ürün öyle bir şekilde tasarlanmalıdır ki kontrol edilemeyen çevre faktörlerine (gürültü faktörleri) karşı bağışıklığı olsun.
3. Kalitenin maliyeti standardtan sapmanın bir fonksiyonu olarak ölçülmeli ve kayıplar tüm sistem boyunca ölçülmelidir.

---

[14] A.e., s.55-59

[15] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.335

[16] A.e.

[17] A.e., s.336

SN oranı sistem performansının duyarlılığını gürültü faktörlerinden izole eder ve bir gözlem kümesini basit bir sayıya dönüştürür.

İncelenen bir ürün hedef değerinden farklılık gösteren bir ortalama değeri olan dağılım sergileyebilir. Kaliteyi iyileştirmede ilk adım hedefe mümkün olduğu kadar yakın bir dağılım gerçekleştirmektir. Verimlilik deneyleri güvenilir bilgiyi en az zaman ve tasarım parametreleriyle ilgili en az kaynaklarla bulmak için gereklidir.[18]

Robust tasarım Japonya'da otomobil ve elektronik alanında güvenilir, yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle üretme konusunda çok başarılı olmuştur. 1980'lerde Batılı ülkeler Taguchi'nin robust tasarım yöntemlerini kaliteyi yükseltme ve maliyetleri düşürme konusunda basit ama etkili yaklaşım olarak ciddiye almaya başlamışlardır. Halen bu yöntemlerin kullanımı bir çok Avrupa ülkesi ve ABD'nde yaygınlaşmaktadır.

3.3 KALİTE MÜHENDİSLİĞİ

Genichi Taguchi bir ürünün kalitesini o ürünün tüm toplum üzerindeki etkisi açısından değerlendirir. Niceliksel ölçü olarak bir ürünün kalitesini ürünün müşteriye gönderildiği andan itibaren o ürünün topluma verdiği zarar olarak tanımlar. Daha kaliteli ürün topluma daha az zarar veren üründür. Ürünün topluma zarar vermesinin birçok yolu vardır. Üretimde, ürünün *fonksiyonel karakteristiğinin* arzulanan *hedef değerden* sapmasından kaynaklanan zararlar dikkate alınmaktadır. Bu tür zararlara fonksiyonel varyasyondan kaynaklanan zarar denir. Örneğin, bir güç kaynağı devresinin çıkış voltajı ilgili fonksiyonel karakteristik olabilir. Öyleyse arzulanan çıkış voltajı değeri hedef değerdir. Çıkış voltajının arzulanan değerden sapmasından kaynaklanan kayıplar, fonksiyonel varyasyondan kaynaklanan kayıplardır.[19]

Ürünün fonksiyonel karakteristiğinin hedef değerinden sapmasına yol açan kontrol edilemeyen faktörlere "gürültü faktörleri" denir. Gürültü faktörleri üç kategoriye ayrılabilir:[20]

---

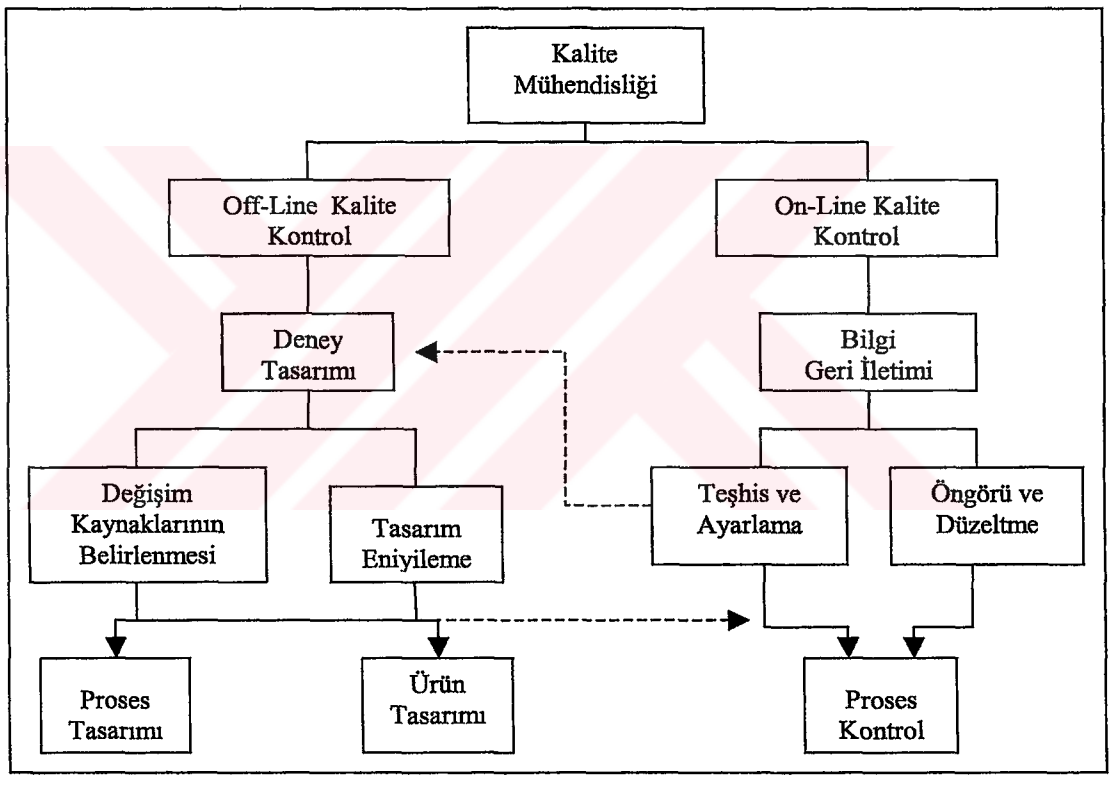
[18] A.e.

[19] M.S.Phadke, "Quality Engineering Using Design of Experiment", **Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method**, Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, 31-50, s.33

[20] A.e.

1. Dış faktörler,
2. Üretim eksiklikleri,
3. Ürün bozulması.

Örneğin, yakında çalışan makinalar, voltaj vb'den kaynaklanan sıcaklık, nem, titreşim gibi çalışma ortamındaki varyasyonlar ve ürünün çalıştırılması sırasındaki insan hataları dış gürültü faktörleridir. Üretim eksikliklerivle üretim prosesinde kaçınılmaz olan üründen ürüne değişen ürün parametrelerindeki varyasyon kastedilmektedir.

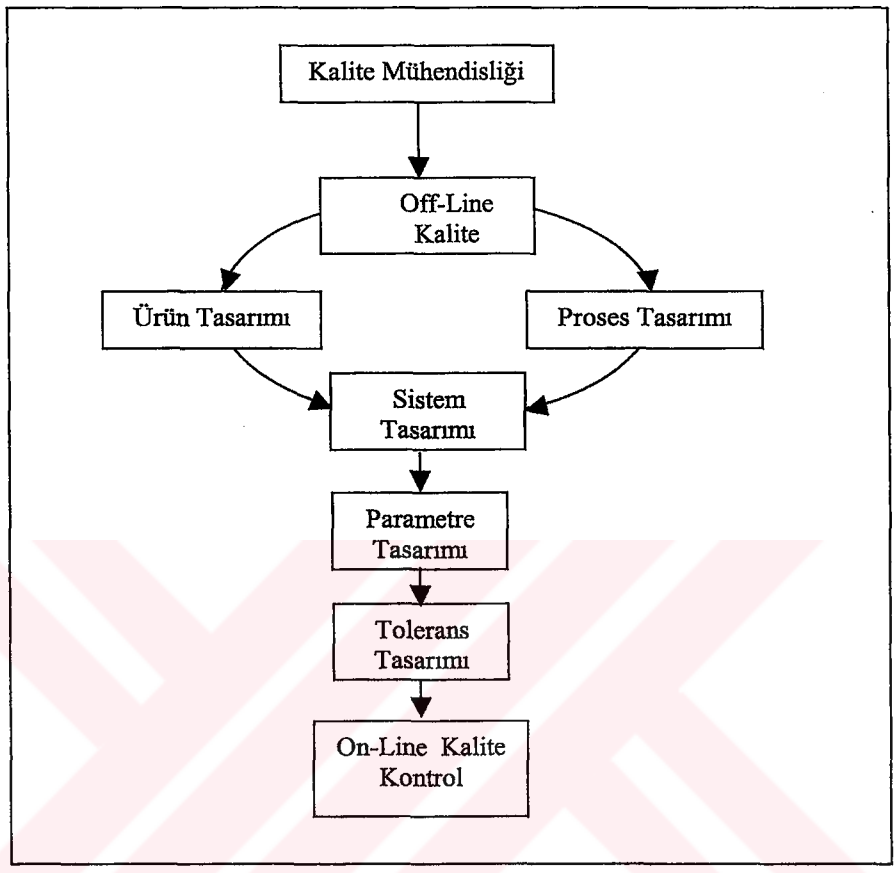


Şekil 3.4 Kalite Mühendisliği[21]

Üretim eksikliğinin bir örneği bir amplifikatördeki belli bir reziztörün direnci 100 kilo-ohm olarak belirlenebilir, ama belli bir birimde bu 101.5 kilo-ohm olabilir. Bu üretim varyasyonları üretim kabiliyetinin ölçüsüdür. Reziztörün rezistansında zaman içinde meydana gelen artış, yayların esnekliğini yitirmesi ya da bir motorun

[21] Glen Stuart Peace, **Taguchi Methods:A Hands-on Approach to Quality Engineering**, Addison-Wesley Publishing Company, 1991, s.6

parçalarının sürtünmeden dolayı aşınması ürün bozulmasından kaynaklanan gürültü kaynağı örneğidir.



Şekil 3.5 Taguchi'nin Kaliteyi Sağlama Aşamaları[22]

Kalite mühendisliğinin amacı, bütün gürültü faktörleri açısından robust ürünler üretmektir. Robustluk, ürünün fonksiyonel karakteristiğinin gürültü faktörlerindeki varyasyonlara duyarlı olmadığını gösterir. Robustluğu başarmak için kalite kontrol çalışmalarına ürün tasarımında başlanmalı ve üretim proses tasarımı ve üretim prosesinde de devam edilmelidir (Şekil 3.5). Üretim proses tasarımı ve üretim sırasında sadece üretim eksikliklerine dikkat edilirken, üretim tasarımında bu üç gürültü faktörüne dikkat edilmelidir. Ürün tasarımı ve üretim proses tasarımındaki çalışmalara *Off-Line Kalite Kontrol* denirken, üretim esnasındaki çalışmalara *On-Line Kalite Kontrol* denir (Şekil 3.4).[23] İkisi başarılırsa, ürün kaliteli oloarak üretilir.

[22] J.Disney, A.Bendell, "Taguchi Methods", **Managing Quality**, Sec. Ed. Edited By Barrie G. Dale, New York:Printice-Hall, 1994, s.441

[23] Phadke, a.g.e., s.33

Off-line kalite kontrolde, Taguchi'nin genel yaklaşımı, gürültü faktörlerini bulup kontrol etmekten ibaret yaklaşımlardan çok iki-aşamalı bir prosedür izlemektir[24].

1. Gürültü faktörlerinin fonksiyonel karakteristik üzerindeki etkisinin enküçük olduğu işletilebilir etken düzeylerinin belirlenmesi. Buna *parametre tasarımı* denir.
2. Fonksiyonel karakteristik varyasyonunda parametre tasarımıyla başarılan azalma yetersiz ise, son çare olarak, gürültü faktörlerine ilişkin daha dar toleranslar belirlenir. Buna da *tolerans tasarımı* denir.

Kalite ve kar geliştirme tekniği olarak on-line yöntemini, Box, genelde "EVOP" (Evolutionary Operations) olarak bilinen "evrimsel işlemler"le deneysel tasarımın kullanılmasını önermektedir. EVOP, eldeki koşullara göre ürün üretimine izin verirken, prosesi geliştirmek için de yararlı bilgi toplanmasını olanaklı kılmaktadır.[25]

3.3.1 Taguchi'nin Kalite Mühendisliğine Katkıları

Japonlar ürün ve proseslerinde kesirli faktöriyel tasarımları ve diğer ortogonal dizileri kalite oluşturmada başarıyla kullanmışlardır. Taguchi böyle deney tasarımı kullanımının önemini aşağıdaki gibi açıklamaktadır:[26]

- Ortalama veya hedef değerdeki varyasyonu enküçüklemek,
- Ürünleri, çevresel koşullara karşı robust yapmak,
- Ürünleri, bileşen varyasyonlarına karşı duyarsız yapmak,
- Ömür testi.

Bunların ilk üçü Taguchi'nin parametre tasarımının örnekleridir. Aynı zamanda SN oranları, akümülasyon analizi, dakika analizi ve varyans analizinin genel olmayan uygulamalarını kullanan bu gibi deneylerden elde edilen veriyi analiz etmek için yeni çıkmış istatistiksel yöntemleri kullanmayı teşvik etmektedir. Bununla beraber, bu analiz yöntemlerinin bazıları gereksiz yere karmaşık ve verimsizdir.

---

[24] A.e., s.34

[25] A.e.

[26] George E.P.Box, Soren Bisgaard, "The Scientific Context of Quality Improvement", **Quality Progress**, June 1987, 54-61, s.60

Amerikan endüstrisi, Batı'da geliştirilmiş olan yöntemlere Taguchi'nin kalite fikrini ekleyerek ve onları daha etkili istatistiksel yöntemlerle birleştirerek önemli yararlar elde edilebilir.[27]

Taguchi'nin asıl katkısı, grafiklerin yenilikçi bir şekilde kullanışı ile isimlendiren ilişkilerden elde edilebilir sonuçları yakalamaktır. Küçükten ortaya doğru tüm problemler için, doğrusal grafik yöntemi, Wu ve Chen'e göre yapılan değişiklikler deneycileri, olabilir bir çözüm bulmak için gerekli ağır çalışmalardan korumaktadır. İstatistikçi olmayanlar bu yöntemi uygulamakta daha istekliler, nedeni de basitlik ve grafiklerin çekiciliğidir. Geçmiş deneyimin gösterdiğine göre kullanıcı dostu araçlar müşterilerin çoğu için daha kolay kabul edilebilirler.[28]

3.4 OFF-LİNE VE ON-LİNE KALİTE KONTROL

Taguchi yaklaşımına göre kalite kontrol yöntemleri, genel olarak, On-Line Kalite Kontrol ve Off-Line Kalite Kontrol olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bu kavramlar aşağıda birer alt başlık altında detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.4.1 Off-Line Kalite Kontrol

Off-line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır. Off-Line Kalite Kontrol yöntemleri, ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Burada kalite kontrol, kalite planlama ve kalite iyileştirmeyi kapsayacak şekilde geniş anlamda kullanılmıştır. Off-Line Kalite Kontrol yöntemleri, ürün ve proses üzerinde, kalite ve maliyetin kontrolü için teknik destek çalışmalarıdır ve üretim prosesinin dışında kullanılan istatistiksel deney tasarımı ve güvenirlik testleri gibi yöntemleri kapsar. Off-line kalite kontrol disiplini, ürün geliştirme veya proses mühendisinin işini hep aynı kalitede yapma ve aynı

---

[27] A.e.

[28] Vijayan N. Nair, "Taguchi's Parametre Design: Experimental Strategy and Planning Techniques", **Technometrics**, Vol.34, No.2, May 1992, 142-146, s.145

zamanda en düşük maliyetle kaliteli ürün veya proses üretilmesini esas alır.[29] Taguchi yaklaşımı, bütün mühendislik ve üretim prosesini içerir ve Şekil 3.6, 3.7 off-line ve on-line kalite kontrol prosesini göstermektedir.

		KONULAR	KALİTE SAĞLAMA AŞAMALARI
OFF-LİNE KALİTE KONTROL	1. Aşama ÜRÜN TASARIMI	1. Müşteri gereksinim ve beklentilerinin belirlenmesi. 2. Müşteri gereksinim ve beklentilerini karşılayacak ve aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak üretilebilecek bir ürünün tasarımı.	1- Sistem Tasarımı 2- Parametre Tasarımı 3- Tolerans Tasarımı
	2. Aşama PROSES TASARIMI	♦ Üretim için açık ve yeterli standard, spesifikasyon, yöntem ve üretim araçlarının tasarımı	1- Sistem Tasarımı 2- Parametre Tasarımı 3- Tolerans Tasarımı
ON-LİNE KALİTE KONTROL	1. Aşama ÜRETİM	♦ Ürünün daha önce ürün tasarım ve proses tasarım aşamalarında belirlenen spesifikasyon ve standardlara göre üretilmesi	1. Proses teşhisi ayarlama ve düzeltme. 2. Muayene ve ıskartaya çıkarma.
	2. Aşama MÜŞTERİ İLİŞKİLERİ	♦ Müşteriye servis hizmetinin verilmesi ve ürünün kullanımı sırasında çıkan problemlerle ilgili bilginin, ürün ve proses tasarımının geliştirilmesi için kullanılması.	Geri besleme yoluyla ürün ve prosesin, spesifikasyon ve tasarımının değiştirilmesi.

Şekil 3.6 Taguchi Kalite Sistemi[30]

Taguchi'nin off-line kalite kontrol yönteminin ayırıcı özellikleri, ortogonal diziler kullanmak suretiyle deneysel tasarım ve sinyal gürültü (SN) oranının analizidir. Ortogonal diziler sayesinde proses ortalaması ve varyansı üzerinde etki yapan birçok faktörü eşzamanlı olarak ve ekonomik şekilde incelemek olanaklıdır. Taguchi'ye göre SN oranına nispeten prosesi eniyilemek, sonuçta en uygun proses koşullarının robust veya düzenli olmasını temin etmektir. Bunun anlamı da enaz

[29] Thomas B. Barker, "Quality Engineering by design: Taguchi's Philosophy", **Quality Progress**, December 1986,32-42, s.32

[30] Robert H.Loncher, Joseph E. Matar, **Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design**, 1st ed. Chapman and Hall, USA, 1990, s.17

proses varyasyonudur.[31] Üretimde önceleri ağırlık on-line yöntemlerde olmasına rağmen, son yıllarda, Japon endüstrisinin başarısının nedenlerinin anlaşılmasından sonra, uygulama Off-Line Kalite Kontrol yöntemlerine, özellikle, kaliteye büyük katkısı olan istatistiksel deney tasarımına kaymıştır

Bu anlamda kalite kontrolünün etkili olabilmesi için ürün kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesinden çok, off-line kalite kontrol yöntemleri olarak adlandırılan ürün ve proses tasarımı çalışmalarına ağırlık verilmesi gerekmektedir. Off-Line Kalite Kontrol yöntemlerine örnek olarak duyarlılık, prototip, hızlandırılmış ömür ve güvenilirlik testleri verilebilir.[32] Bu testler bir doktorun termometresine benzetilebilir. Bir termometre hastanın ateşini ölçmek için kullanılır; ancak tedavi edici bir fonksiyonu yoktur. Güvenilirlik testleri de benzer şekilde birincil olarak güvenilirlik ile ilgilidir.

Off-line kalite kontrol;

1. Müşteri gereksinimleri ve beklentilerini doğru olarak tanımlamak
2. Müşteri beklentilerini karşılayacak bir ürün tasarlamak
3. Sürekli ve ekonomik olarak üretilebilir bir ürün tasarlamak.
4. Üretim için açık ve yeterli spesifikasyonlar, standardlar, prosedürler ve donatımlar geliştirmek ile ilgidir.

Off-line kalite kontrolde iki aşama vardır:

1. Ürün tasarım aşaması
2. Proses tasarım aşaması.

Ürün tasarım aşamasında yeni bir ürün geliştirilir veya olan bir ürün modifiye edilir. Amaç müşteri gereksinimleri karşılayacak ve üretilebilir olan bir ürün tasarlamaktır.

---

[31]P.B.S.Reddy, K.Nishina, A.Subash Babu, "Taguchi's Methodology for Multi-Response Optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry", **Int.Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.15,No.6, 646-668 1998, s.650

[32] Nurettin Peşkircioğlu, Toplam Kalite Güvebnirliği için Programların Entegre Bir Parçası Olarak Taguchi Yöntemi", **Verimlilik**, Ankara: MPM Yayını,1990/4, s.64-91

Proses tasarım aşaması esnasında, üretim ve proses mühendisleri proses tasarım aşamasında üretimi geliştirirler. Taguchi, off-line kalite kontrolün iki aşamasının her biri içinde kaliteyi sağlamak için üç adım yaklaşımını geliştirmiştir. Taguchi bu adımları *system tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı* olarak adlandırır.[33] Bu adımlar aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

3.4.1.1 Ürün Tasarımı (Off-line KK, aşama 1)

1. ***Sistem tasarımı***: Müşteri gereksinimlerini karşılayan bir prototip tasarımı geliştirmek için mühendislik ve bilimsel bilgiyi uygulamak. Hedef performans değerlerinden enaz sapma ile ürünün istenen ve gerekli fonksiyonlarını yerine getiren temel prototip tasarımını geliştirmeyi gösterir. Sistem tasarımı, parçaların, malzemelerin ve üretim teknolojisinin seçimini içerir. Burada amaç, müşteri gereksinimlerini daha düşük maliyetle karşılayan en uygun teknolojiyi kullanmaktır.
2. ***Parametre tasarımı***: Ürün parametrelerinin optimal ayarını belirlenmesidir. Burada amaç, performans varyasyonunu enküçükleyerek, üretim ve ürün yaşam maliyetlerini de enküçüklemektir. Bu, ürün tasarımını robust -gürültü faktörlerine karşı duyarsız- yapmayı içerir. Parametre tasarım adımı, kontrol ve gürültü faktörlerinin ürün karakteristikleri üzerindeki etkisini belirlemek için deneysel tasarımların kullanımını içerir. Amaç, gürültü faktörlerine göre ürünü robust yapacak kontrol faktörleri seviyelerini ayarlamaktır.
3. ***Tolerans tasarımı:*** Proses parametre esnasında toleransları, kritik olarak kurulmuş hedef (nominal) değerlerin etrafında kurmaktır. Eğer ürün veya proses parametre tasarım adımları zayıf olarak yapılırsa, burada dar toleranslar veya belirli daha yüksek maliyetli malzemeler veya daha iyi donatım gerekli olabilir; böylece üretim maliyetleri yükselecektir.[34]

---

[33] G.Taguchi, Elsated A.Elsayrd, Thomas C.Hsiang, **Quality Engineeringin in Production Systems**, New York, McGraw-Hill, 1988, s.4

[34] A.e., s.8

3.4.1.2 Üretim Proses Tasarım (Off-line KK, aşama 2)

Prototipin tasarımı ve yapımı optimal olarak belirlenmiş tolerans ve spesifikasyonlarla tamamlandığında ürün üretimi üç tasarım adımı ile ilerler. Bunlar ürün tasarım aşamasının *sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı* olarak adlandırılan üç adımına benzerdirler.[35]

1. ***Sistem Tasarımı***: Sistem tasarımı iş parçası, kısmi tamamlamadan tamamlamanın daha ileri bir aşamasına hareket ettirmek için gerekli üretim prosesini belirler. Sistem tasarımının ana amacı ürünü belirlenmiş limitler ve toleranslar arasında en düşük maliyette üretebilen bir üretim prosesini belirlemektir.
2. ***Parametre Tasarımı:*** Üretim proses tasarımında parametre tasarımı üretim proseslerinin işleme seviyelerini belirler; böylece ürün parametrelerindeki varyasyon minimize edilir. Üretim prosesinin işleme seviyelerindeki varyasyonlar sıcaklık varyasyonu, hammadde varyasyonu, giriş voltajı varyasyonu ve alet durumu varyasyonunu içerir.
3. ***Tolerans Tasarımı:*** Üretim prosesinin her bir elemanı için optimal işleme koşulları belirlendikten sonra işleme koşullarında ve diğer değişkenlerdeki varyasyonlar için izin verilebilir aralıklar (toleranslar) belirlenir. İşleme koşullarının daha dar aralığı, ürünün daha küçük varyasyonu ürün proses maliyetinde bir artışı gerektirir. Amaç toplam ürün ve varyasyon maliyetini minimize eden işleme koşullarının optimal aralıklarını bulmaktır.

3.4.2 On-Line Kalite Kontrol

On-Line kalite kontrol, ürünün üretimi sırasındaki ve üretim sonrası faaliyetleri kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, On-Line kalite kontrol faaliyetlerindendir. On-Line Kalite Kontrol yöntemleri, üretim sırasında kullanılan istatistiksel proses kontrolü ve kontrol diyagramları gibi yöntemler içerir.

---

[35] A.e., s.5

On-line kalite kontrol, proses tasarımı esnasında geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımı esnasında belirlenen spesifikasyonlar içinde ürünler üretmekle ilgilidir.

Taguchi on-line kalite kontrolün iki aşamasını tanımlar.

Aşama 1, Üretim kalite kontrol yöntemleri, üç şekli vardır:

1. Proses teşhisi ve ayarlama
2. Öngörü ve düzeltme
3. Ölçme ve eylem

Aşama 2 Müşteri ilişkileridir.

3.4.2.1 Üretim Kalite Kontrol Yöntemleri (On-line KK, aşama 1)

Taguchi on-line KK'ün üç şeklini tanımlar:

1. ***Proses teşhisi ve ayarlama***: Proses düzenli aralıklarla gözlenir: Gerektiğinde ayarlamalar ve düzeltmeler yapılır.
2. ***Öngörü (Prediction) ve düzeltme***: Düzenli aralıklarla bir sayısal proses parametresi ölçülür. Proseste trendleri hedeflemek için veriler kullanılır. Proses hedef değerden çok uzakta bulunduğunda zaman, doğru duruma ayarlanır. Bu yöntem geri beslemeli (feedback) veya ileri beslemeli (feedforward) kontrol olarak da adlandırılmaktadır.
3. ***Ölçüm ve eylem***: Muayene ile kalitenin sağlanmasıdır. Üretilen her parça muayene edilir. Hatalı parçalar yeniden işlenir veya ıskarta olarak ayrılır. Bütün hatalı ürünlerin üretilmesini önleyemediği ve hatta tanımlayamadığı için bu, en pahalı ve en az istenen üretim kalite kontrol şeklidir.

3.4.2.2 Müşteri İlişkileri (On-line KK, aşama 2)

Müşteri hizmeti hatalı ürünlerin değiştirilmesini veya tamir edilmesini ya da kayıpların karşılanmasını içerebilir. Proses şikayeti müşteri ilişkileri işleminden daha fazla olabilir. Ürünlerle ilgili müşteri algıları ve başarısızlıklar ve şikayetlerin türleri ile ilgili bilgi, düzeltici eylem için organizasyon içinde ilgili fonksiyonların geri bildirimi sağlanmalıdır.

3.5 ÜRÜN VE PROSES TASARIMINA TAGUCHİ YAKLAŞIMI

Taguchi deney tasarımının geliştirilmesinde üç temel kavram vardır.[36]

1. ***Düşük kalite, toplumun kaybı olarak görülür.*** Taguchi'ye göre kalite karakteristiklerindeki herhangi bir sapma toplum kaybıdır ve minimize edilmelidir. Genel olarak tasarımcı tarafından belirlenen toleranslar içindeki sapmalar kabul edilebilir ve herhangi bir ekonomik veya toplumsal kayıp gibi bir yan etkisi yoktur. Halbuki Taguchi'nin sapma tanımı ideal kalite için çalışmayı gerektirir. Bu fikir parabolik bir kayıp fonksiyonu tarafından operasyonel hale şöyle getirilir: m_0, bir kalite karakteristiğinin ideal değeri, m ise sağlanan fiili değer olsun. Bu durumda bu sapma yüzünden toplumun uğradığı kayıp $Y(m) = A_0\Delta^2$'dir. Burada $\Delta=(m-m_0)$ sapma, A_0 da sabittir. Sapma Δ arttıkça, kayıp artan bir hızla yükselir. Bu da kaliteyi arttırma konusunda üretici üzerinde artan bir baskı oluşturur.
2. ***Sinyal gürültü oranı, proses eniyilemesi için proses ortalamasından daha iyi bir kalite göstergesidir.*** Taguchi SN kullanımını önerir. Buradaki mantık şudur; ortalamayı (sinyali) nominal değere yakınlığı bakımından maksimize etmek gereksinimi var ise de, aynı zamanda proses varyasyonlarını (gürültü) enküçüklemek de arzulanır. SN'nin kullanımı her iki amacı eşzamanlı olarak temin eder.
3. ***Proses kalitesi üzerinde faktörlerin/etkileşimlerin etkileri eşit değildir.*** Taguchi'ye göre faktörlerden ancak azının varyasyonların çoğundan sorumludur. Benzer şekilde Pareto 80-20 kuralını koyarak %20'lik bir defonun %80 oranında bir kalite kaybına yol açtığını ileri sürer. Taguchi yöntemleri çok daha az sayıda denemeyi gerektirir. Buna rağmen istenen enformasyonu temin eder. Örneğin üç seviyeli yedi faktör ve iki seviyeli bir faktörün incelendiği bir çalışma için tüm ilişkiler önemli sayılırsa, gereken deneme sayısı; $3^7 \times 2^1 = 4374$'tür. Halbuki Taguchi'nin robust tasarımında

[36] Ashok Kumar, Jaideep Motwani, Luis Otero, "An application of Taguchi's Robust Experimental Design Technique to Improve Service Performance", **International Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.13, No.4, 1996;85-98, s.86-87

sadece 18 deneme gerekir. Böylece eniyileme için gerekli enformasyon geleneksel deney tasarımının yol açacağı maliyet ve çabanın 0.5'den daha az bir oranı ile elde edilmektedir. Bu kavram ortogonal diziler geliştirmek sureti ile Taguchi tarafından operasyonel hale getirilmiştir.

Ürün tasarımı ve proses tasarımının, kalite sağlama açısından en önemli aşamaları, her ikisi için de, parametre tasarım aşamasıdır. Parametre tasarım aşamasında, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürünün performansına olan etkilerini belirlemek için en etkin yöntem ***İstatistiksel Deney Tasarımı*** yöntemidir. Burada amaç, kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini minimize edecek şekilde ayarlamaktır. Bu çeşit ürün ya da proses tasarımına, ***Robust Tasarım*** denir. İleride geniş olarak anlatılmaktadır.

3.5.1 Sistem Tasarımı

Bu aşama prototip tasarımına ilişkin bilimsel ve mühendislik bilgilerinin uygulanmasıdır. Ürün ya da prosesin prototip modelinde parametrelerin tanımı yapılır ve bu tanım yapılırken tüketici gereksinimleri ile üretim prosesinin çevresel faktörleri de dikkate alınır.[37]

Sistem tasarımı, müşterinin gereksinimlerinin ve üretim koşullarının anlaşılmasını gerektirir. Bir ürün, fonksiyonunu yerine getirecek şekilde tasarlanmadıkça, müşterinin gereksinimlerini tatmin edemez. Aynı şekilde üretilebilirlik için tasarım, üretim koşullarının iyi anlaşılmasını gerektirir.[38]

3.5.1.1 Taguchi Strateji ve Taktikleri

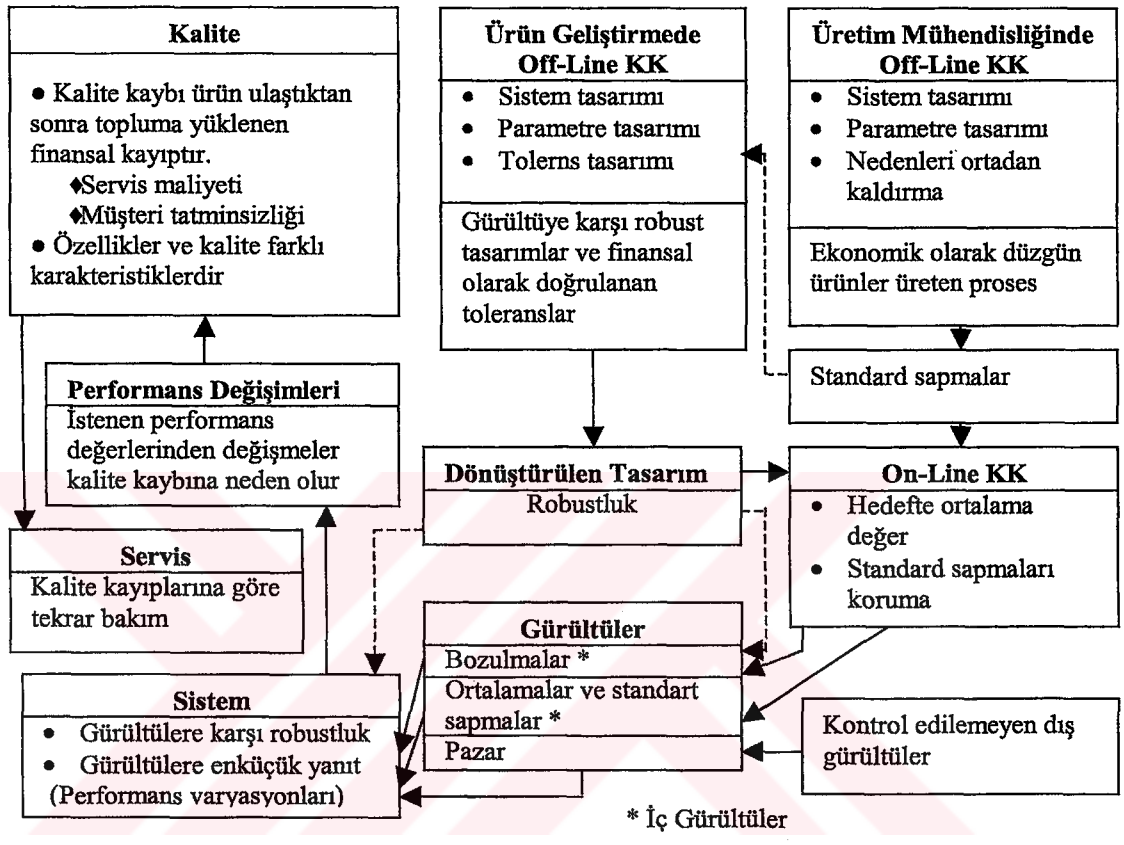
Taguchi yönteminin tartışmasında yer alan iki farklı görüş vardır. Bir görüş Taguchi taktiklerini yani Dr.Taguchi tarafından kullanılan özel yöntem ve tekniklerin toplamını göz önüne alır. Diğer görüş Taguchi stratejisi yani ürün veya proses tasarım deneyinin planlanması için kavramsal yapıdır. İlki Taguchi tasarımları ve SN

---

[37] Peşkircioğlu, a.g.e., s.64-91

[38] Raghu N.Kackar, "Taguchi's Quality Philosphy: Analysis and Commentary", **Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method**, Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, 3-21, s.12

oranları olarak adlandırılan bu taktikleri içerir. İkincisi Taguchi tasarımını gerektirmeyen tasarımların ve SN oranları olmayan performans istatistiklerini kullanan genel stratejiyi içerir.[39]



Şekil 3.7 Taguchi Kalite/Üretim Yaklaşımı[40]

Taguchi'nin deneysel stratejisi iki kısımdan oluşur:[41]

1. Ortogonal dizileri kullanarak üst derecede kesirli deneyler yürütmek ve uygun kontrol parametre ayarları tanımlamak için verileri analiz etmek,
2. Bir doğrulama deneyi yürüterek tanımlanan parametre seviyelerinde robust performansın sağlandığını doğrulamak.

[39] Joseph J.Pignatiello, Jr., "A Overwiew of the Strategy and Tactics of Taguchi", **IIE Transactions**, Vol.20, No.3, Sep 1988;247-254, s.247

[40] Thomas B. Barker, "Quality Engineering by design: Taguchi's Philosophy", **Quality Progress**, December 1986,32-42, s.33

[41] Nair, a.g.e., s.142

Taguchi stratejisi, ürün ve proses kalitesinin planlanması ve geliştirilmesi amacı için deneylerin tasarımı ve analizinin sistematik uygulamasıdır. Strateji eniyi ürün tasarımını (veya eniyi proses tasarımını) belirlemek için bir beklenen kayıp fonksiyonunun deneysel minimizasyonunu içerir. Böylece, strateji belirsizlik altında karar vermenin deneysel yorumu olarak düşünülebilir.[42] Strateji, kayıp fonksiyonu, gürültü uzayı ve tasarım uzayının spesifikasyonunu gerektirir. Veri, gürültü uzayı üzerinde beklenen kaybı minimize eden proses ve/veya ürün tasarımını bulmak için toplanmalıdır.

Taguchi taktikleri, bu stratejiyi yorumlamak için Taguchi tarafından önerilen özel tekniklerdir. SN oranları ve Taguchi tasarımları gibi şeyler Taguchi taktiklerinin parçalarıdır. Diğer performans istatistikleri ve tasarımlar kullanılabilir. Kişiler en iyi proses ve/veya ürün tasarımını bulmak isterlerse diğer tasarım ve performans ölçülerinin kullanılabileceği açıkça görülmektedir.[43]

3.5.2 Parametre Tasarımı

Bu aşamada ürün ve prosese ilişkin parametreler, çevresel değişkenler, üretim prosesindeki sapmalar ve ürünün kullanımı sırasında bozulmaları karşısında teknik duyarlılığı minimize edecek şekilde tasarlanır. Parametre tasarımı kavramı, tarımcılar tarafından iyi bilinmektedir. Özellikle tarımsal araştırmalarla farklı toprak türleri, nem ve hava koşullarını tolere edebilecek bitki türlerinin geliştirilmeye çalışılması en uygun parametre kombinasyonunun tasarımı olarak değerlendirilebilir.[44]

Varyasyon kaynakları ortadan kaldıracak ve avantaj elde etmek için onları işe hazırlayacak sistematik bir yol olmaksızın kayıp fonksiyonu, SN oranı ve Taguchi'nin diğer yaklaşımları sözde kalacaktır.

Parametre tasarımı, varyasyon kaynaklarına karşı mühendislik tasarımlarının duyarlılığını azaltan ürün (veya proses) parametrelerinin koşullarını tanımlama sürecidir.[45] Bir performans özelliğinin ortalama değerinin, hedef değerine

---

[42] Pignatiello, a.g.e., s.248

[43] A.e., s.253

[44] Peşkircioğlu, a.g.e., s.64-91

[45] Kackar (1989), a.g.e., s.12

ayarlanması, genellikle performans varyasyonunu azaltmaktan daha kolay bir mühendislik problemidir.

Mühendislik tasarımlarının, varyasyon kaynaklarına olan duyarlılığını azaltmak için, ürün (veya proses) parametrelerinin doğrusal olmayan etkilerinin performans özellikleri üzerindeki kullanımı parametre tasarımının özüdür. Çünkü parametre tasarımı, varyasyon kaynaklarını kontrol ederek etkisini azaltmak yerine, onların performans varyasyonunu daha çok azaltarak mühendislik tasarımlarını geliştirmek için maliyeti çok etkileyen bir tekniktir.[46]

Parametre tasarımı ile performansın bozulmasına neden olan faktörlerin kontrol altına alınması yerine bu faktörlerdeki varyasyonlardan enaz etkilenecek olan ürün ve proses tasarımları elde edilmeye çalışılmaktadır. Böylece tasarım, sapmalara neden olan faktörlerdeki değişkenliklerden enaz etkilenecek ve performans bozulmasının önüne geçilecektir.[47]

3.5.2.1 Parametre Tasarım Deneyi

Bir parametre tasarım deneyi iki kısımdan oluşur:[48] Tasarım matrisi ve gürültü matrisi. Tasarım matrisinin sütunları, tasarım parametrelerini; sütunlardaki girişler (entries) 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 3.8'de gösterildiği gibi tasarım ve gürültü matrislerinin bir kombinasyonundan meydana gelir. Eğer tasarım matrisi m satır ve gürültü matrisi de n satıra sahipse birleştirilmiş parametre tasarım deneyinde toplam satır sayısı mxn olur. Tasarım matrisinin m satırının her biri için gürültü matrisinin n satırı, performans karakteristiklerinde n veya daha fazla tekrarlı gözlem sağlar. Gürültü faktörlerinin seviyeleri ve gürültü matrisi seçilirler ve böylece bu tekrarlı gözlemler, gürültü faktörlerinin olası bütün seviyelerinin etkilerini

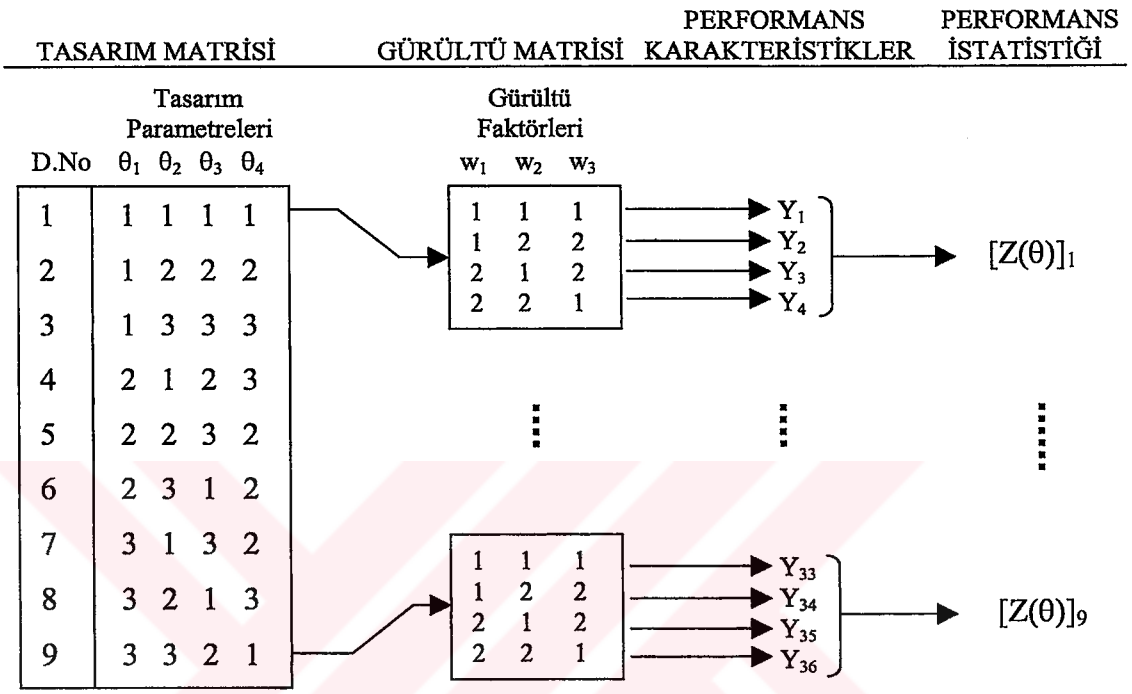
---

[46] A.e., s.13

[47] Peşkircioğlu, a.g.e., s.64-91

[48] Raghu N.Kackar, "Off_Line Quality Control, Parametre Design and the Taguchi Method", **Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method** , Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, 51-77, s.63

gösterirler. Tasarım matrisinde her bir deneme (test run) performans. karakteristiğinde tekrarlı gözlemler, performans istatistiği denen kriteri hesaplamak için kullanılır.



Şekil 3.8 Parametre Tasarım Deneyi Planının Bir Örneği[49]

Taguchi yöntemi, ürün gelişmesi için gerekli kalite iyileştirmesini hedef alır. Ortogonal dizileri kullanarak mümkün olan güvenilirlik koşulu altındaki deneylerin sayısını azaltır. Başlıca bileşeni parametre tasarımıdır. Ürün parametreleri, gürültüye enaz duyarlı olacak şekilde eniyilenir. Gürültü, kontrol edilemeyen tüm tasarım faktörlerini içerir. Parametre tasarımının amacı, gürültüden ileri gelen ürün kalite kaybını enküçüklemektir.[50]

McMillan et al, reçine transfer kalıplanmış bileşenlerinin çevresel olarak azaltılması için yapılan deneysel çalışmalarında, faktöriyel deney tasarımını ve

[49] A.e.

[50] Ming-Chih Huang, Ching-Chih Tai, "The Effective Factors in the Warpage Problem of an Infection-Molded Part with a Thin Shell Feature", **Juornal of Materials Processing Technology, 110**,2001;1-9, s.3

sonuçların analizi için de Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Önemli etkileri olan faktörleri saptamak için iki seviyeli bir sınama (screening) deneyi yapılmıştır.[51]

Geleneksel mühendislik, değişkenler arasındaki etkileşimleri değerlendiremez. Taguchi yöntemleri ile değişkenler kombine olarak birbirleriyle değiştirilir ve bunu önceden belirlenmiş bir deneysel plan takip eder. McMillan et al. yaptıkları çalışmada sekiz değişken veya faktör azaltma (degradation) üzerindeki etkileri bakımından incelenmiştir. Bunların her biri iki seviyeli olarak ayarlanmış, seviyeler de -1 ve +1 terimleri ile ifade edilmiştir. 16 değişik deneyin her birinde her bir faktörün iki seviyesinin kombinasyonu farklı olmuştur. Bağımsız deney değişkenleriyle doğrudan ilişkili faktörlere *ana etkiler* denir, bunların kombinasyonu olası etkileşimleri göstermektedir.[52]

Parametre tasarım prosedürü şöyle özetlenebilir:[53]

1. **Kalite karakteristiğini belirlemek**: Uygun bir kalite karakteristiği hedef değeri olarak belirlenmelidir.
2. **Etkili faktörler ve seviyelerini saptamak**: Kaç tane faktörün dahil edilmesi gerektiği ve her bir faktörün seviyesini deneyimden, geçici çalışmalardan veya beyin fırtınası teknikleriyle saptama.
3. **Uygun ortogonal dizinin seçimi**: Ortogonal dizi belli sayıda satır ve sütunlardan oluşur. Her bir sütun etkili faktörlerden birini temsil eder ve her bir satır etkili faktörlerin toplamını temsil eder.

Ortogonal dizi kurulduğunda, interaktif etki ek olarak tahsis edilmelidir. Şayet etkili faktörlerin herhangi ikisinde bir etkileşim varsa interaktif ortogonal dizi kullanılarak yürütülebilir.

1. Tüm Faktörler ve Etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin hesaplanması. Bu, tüm faktörler için serbestlik derecelerinin toplamına eşittir.

---

[51] A.R. McMillan, I.A.Jones, C.D.Rudd, V.Middleton, "Statistical Study of Environmental Degradation in Resin Transfer Moulded Structural Composites", **Composites**, Part A, 29A,(1998), 855-865, s.855

[52] A.e., s.856

[53] Huang, Tai, a.g.e., s.3

2. Serbestlik Derecelerinin Toplamından daha büyük bir serbestlik derecesi seçilmesi ve aynı seviyede en küçük deney sayısı seçilir.
3. Bir etkileşimi seçtikten sonra iki göreceli faktörü ortogonal dizi üzerinde ortaya koymak, sonra interaktif ortogonal diziye göre rastlantısal olarak ilerlemek.
4. 3. adımı tüm interaktif faktörler ortaya çıkarıldıktan sonra tekrarlamak.
5. Artık faktörleri rastlantısal olarak düzenlemek.
6. Deneysel seviyelerin tüm faktörlere ait sütunların sayısına göre kombinasyonunu karşılaştırmak.
7. Prosesteki tüm testleri rastlantısal sırada yürütmek.

4. **Kalite karakteristiğine ait uygun formülasyonu seçmek**: Bunun için SN oranı uygun ölçüm indekslerinden birisidir. Tekrarlanan denemelere ait ortalamanın sinyali olarak ve varyans için gürültü olarak dikkate alınır. SN aşağıdaki gibi tanımlanır :[54]

Daha küçük daha iyidir için

$$SN = -10 \log(MSD) \qquad (3.1)$$

Burada $MSD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2$ eşitliği ile idade edilir ve ortalama kareli sapmadır.

Eniyi parametre seviyeleri kombinasyonu en yüksek SN oranını üretendir. Enküçük bir varyans vardır ve bir parçaya ait hedef karakteristiklerine en yakın olanı bu parametre seviyeleri altında üretilmelidir.

5. **SN oranı deneysel veriden sağlanabilir.**
6. **Yardımcı tablolar ve yanıt diyagramı**: Bunları Taguchi önermektedir. Bu yöntemle etki derecesine ait kontrol ve ayırım sağlarlar. Yardımcı tablonun amacı faktör seviyelerinin toplamına ait ortalamayı

[54] A.e.

araştırmaktır. Yanıt diyagramı daha sonra faktörün etkilerine göre çizilebilir.

$$M_{ij} = \frac{\sum_{i=A}^{F} \sum_{j=1}^{3} y_{ij}}{ij} \qquad (3.2)$$

Burada M_{ij}, SN oranının i'ninci etkili faktöründe ve j'ninci seviyesindeki toplamlarının ortalamasıdır. i'ninci etkili faktör ve j'ninci seviyedeki SN oranı ve i ve j; i'ninci etkili faktör ve j'ninci seviyedir.

3.5.2.2 Kontrol ve Gürültü Faktörleri

Taguchi tekniğinin iki ana yönü vardır:[55]

1) Bir ürün veya prosesin davranışı faktörler (parametreler) bakımından karakterize edilir. Bunlar da iki gruba ayrılırlar: *Kontrol edilebilir veya tasarım faktörleri ve kontrol edilemez veya gürültü faktörleri.* Tasarım faktörlerinin değerleri mühendis tarafından kolayca kurulabilir veya ayarlanabilir. Gürültü faktörleri ise varyasyon kaynağıdırlar; üretim veya operasyonel çevre ile bağlantılıdırlar.
2) Kontrol edilebilir faktörler, yanıtın ortalama seviyelerini etkileyen faktörler -bunlara hedef kontrol faktörleri veya sinyal faktörleri denir- ve yanıttaki değişkenliği etkileyenler -bunlara değişkenlik kontrol faktörleri denir- olarak ikiye ayrılır.

Taguchi yönteminin amacı, kontrol edilebilir faktörlerin optimal ayarlarını tanımlamaktır. Bu amaç, sadece ürün veya prosesi iyileştirmek değil aynı zamanda gürültü faktörlerinin etkilerini de azaltmaktır.[56]

3.5.2.2.1 Kontrol Faktörleri

Kontrol faktörleri, nominal değerleri sorumlu mühendis tarafından seçilen ürün ya da proses parametreleridir. Kontrol faktörleri, teknik çalışmalar ile nominal

---

[55] P.Georgilakis, N.Hatziargyriou, D.Paparigas, S.Elefsiniotis, "Effective Use of Magnetic Materials in Transformer Manufacturing", **Journal of Materials Processing Technology**", 2001,**108:**209-212, s.210

[56] A.e.

kombinasyonların oluşturulduğu ürün ya da prosesin tasarım spesifikasyonlarını tanımlayan faktörlerdir.

Değerleri kolaylıkla değiştirilebilen kontrol faktörleri iç ve dış gürültü faktörlerinin etkisini değiştirebilmekte ve bu nedenle *kontrol edilebilen faktörler* adını da almaktadır. Kontrol faktörleri birden fazla değer alabilmekte ve bunlara da *seviye* adı verilmektedir. Parametre tasarımında, kontrol faktörlerinin değerleri tanımlanarak, gürültü faktörlerinin neden olduğu performans değişkenliği azaltılmaya çalışılırken, aynı zamanda performans değeri hedefte tutulmaya çalışılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, gürültü faktörlerine karşı duyarsız kontrol faktörlerinin düzeyleri belirlenmeye çalışılır.[57]

Bazı kontrol faktörleri performans değerinin değişkenliğini etkilerken, bazıları da performans değerinin sadece ortalamasını etkiler ve bu faktörlere *düzeltme* (ayarlama) *faktörleri* adı verilir. Ayrıca, ne performans değerinin değişkenliğini ne de ortalamasını etkileyen faktörlere de *etkisiz faktör* denir. Bunlar kontrol faktörleri içinde fazla dikkate alınmamasına rağmen, en ekonomik seviyelerinde tutulması, maliyetlerin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu faktörler hakkında bilgi edinilmesi önemlidir.[58]

3.5.2.2.2 Gürültü Faktörleri

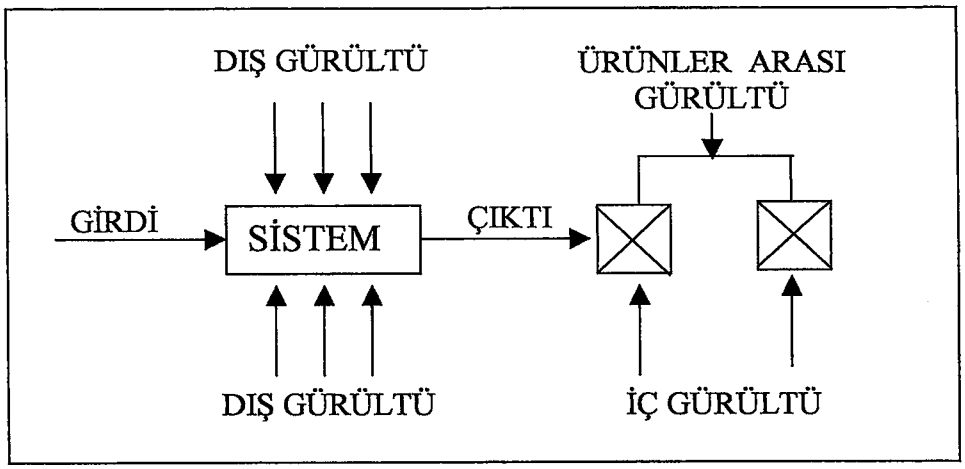
Gürültü faktörleri, üreticinin doğrudan kontrol edemediği, müşterinin çevresi ve kullanımına göre çeşitlilik gösteren faktörlerdir. Taguchi'ye göre, ürünün fonksiyonel karakteristiklerinde varyasyon yaratan, kontrol edilemeyen ve kontrol edilmesi yüksek maliyetli olan faktörlerdir. Bu yüzden üreticiler de bu faktörleri kontrol etmek zorunda kalmak istemezler. Taguchi yaklaşımına göre, gürültü faktörleri üç kategoride incelenmektedir:[59]

1. Dış Gürültü (Outer Noise)
2. İç Gürültü (Inner Noise)
3. Ürünlerarası Gürültü (Between Product Noise)

---

[57] C.Hakan Kağnıcıoğlu, "Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması", Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1998, s. 95-96

[58] A.e., s. 96



Şekil 3.9 Gürültü Faktörlerinin Etkisi[60]

Dış Gürültü Faktörleri: Isı, nem oranı, voltaj, basınç, toz veya insanlar gibi çevresel faktörlerdir. Hatta değişik malzeme yığınları üretim prosesi için dış gürültü faktörü olarak görülebilir.

İç Gürültü Faktörleri: Yıpranma, bozulma, rengin solması, küçülme, kuruma vb. gibi fonksiyon ve zamana bağlı faktörlerdir. Örneğin, zamanla ve kullanma sonucu oluşan ürün aşınması, materyal yorgunluğu gibi yıpranma.

Ürünlerarası (Parçalararası) Gürültü Faktörleri: Bu gürültü, bölümden bölüme değişmelerde kendilerini gösterirler. Birimlerarası gürültü (unit-to-unit noise) olarak da bilinirler. Aynı spesifikasyonlara göre üretilen ürünlerde malzeme, üretim ekipmanları ve montaj prosesinde değişkenlikler nedeniyle oluşan farklılıklardır. Bu tür farklılığın nedeni, hammadde farklılıkları ve üretim prosesindeki farklılıklar olabilir

Ürünler aynı anda bu üç tür gürültüye de duyarlı olabilir. Ürün ya da prosesin tasarım kalitesi, iç ve dış gürültü faktörlerinden dolayı oluşan fonksiyonel varyasyonların daha az olmasını sağlar. Üretim kalitesi ise, birimler arasında daha az fonksiyonel varyasyon oluşmasını sağlar ve hedef değere yaklaşır.

---

[59] Ross, a.g.e., s.169

[60] Glen S.Peace, **Taguchi methods: A Hands-on Approach to Quality Engineering**, Addison-Ewsley Pub.Co.,1991, s.76

3.5.2.2.3 Gürültü Faktörlerine Karşı Kalite Önlemleri

Tasarım ve geliştirmenin ilk aşamaları, ürün veya proses için en büyük maliyet azaltma alanlarıdır. Tasarım aşamaları, yukarıda ifade edildiği gibi üç aşamadan oluşur: sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı. Bir ürün ya da proseste kalite, onu, sadece ürün ömür döngüsünün belirli aşamalarında, tüm gürültülere karşı Robust (sağlam, güçlü) kılarak yaratılır.[61]

Ürün ömrünün ilk aşamalarında, araştırma ve geliştirme aşamasında, tüm gürültülere rağmen, kaliteyi geliştirmede Tablo 3.1'de belirtildiği gibi, sistem tasarımı kullanılabilir. Bir sistem, diğerine göre gürültülere karşı daha güçlü olabilir. Sistem seçildikten sonra, gürültü faktörlerini de içeren parametre tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı ise, iç ve ürün gürültülerine karşı daha etkin bir şekilde uygulanır; fakat parametre tasarımı dış gürültülere de uygulanabilir.

Tablo 3.1 Varyasyon Yaratan Gürültü Faktörlerine Karşı Önlemler ve Bunların Üretim Sisteminde Kullanılması[62]

Kalite Kontrol Alanı	Departman	Önlemler	Gürültü Faktörü		
			İç	Dış	Ürün
Off-Line Kalite Kontrol	AR-GE (R&D)	• Sistem Tasarımı	♣	♣	♣
		• Parametre Tasarımı	♣	♣	♣
		• Tolerans Tasarımı	Δ	♣	♣
	Üretim Mühendisliği	• Sistem Tasarımı	♦	♦	♣
		• Parametre Tasarımı	♦	♦	♣
		• Tolerans Tasarımı	♦	♦	♣
On-Line Kalite Kontrol	Üretim	• Sistem Tasarımı	♦	♦	♣
		• Parametre Tasarımı	♦	♦	♣
		• Tolerans Tasarımı	♦	♦	♣
	Satışlar	• Satış Sonrası Hizmet	♦	♦	♣

NOT: ♣ : Önlem almak olanaklı,
Δ : Önlem almak olanaklı ancak önerilmez,
♦: Önlem almak olanaklı değil.

Üretim mühendisliği başladığında, temel sistem seçilmiş, tasarım parametreleri için nominal değerler belirlenmiştir. Bu noktada, parametre ve tolerans tasarımları iç ve dış gürültülere karşı pek etkili değildir. Buradan gerçek üretimin sonuna kadar

[61] Ross, a.g.e., s. 202
[62] A.e., s.203

tüm çabalar ürün gürültülerine karşı harcanmaktadır.[63] Ürün bir kere satıldıktan sonra artık hiçbir önlem etkili olmaz.

3.5.2.3 Sinyal/Gürültü Oranı

Kalite kaybı nasıl engellenebilir? Taguchi, ürünün robustluğunun ölçülmesini sağlamak için sinyal gürültü oranını geliştirmiştir. Bu kontrol edilemez faktörlerle çalışma yeteneğidir. Diğer bir deyimle sinyal gürültü oranını, sistem fonksiyonuna bazı basit ayarlamalar yaptıktan sonra kalite kaybını öngörmek için kullanmıştır. Oran robust tasarımda maksimize edilecek objektif fonksiyon olarak kullanılmıştır. Oran test sonuçlarının ortalama ve varyanslarını ele alır ve tanımı gereği maksimize edilmelidir. Bu karşılaştırılan değişkenlerin doğasına bağlı olarak bazı uzmanlaşmış SN oranlarına götürür. Üç temel SN oranı vardır. Ancak SN oranının değişkenliği sınırsızdır.[64]

Performans istatistiği (SN oranı) gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini hesaplar. Etkili bir performans istatistiği ürün, kayıp fonksiyonu ve performans karakteristiğinin dağılımına ilişkin önceki mühendislik bilgisinden yaralanılır. $\theta=(\theta_1, \theta_2,..., \theta_k)$ kontrol faktörlerini, $\omega=(\omega_1, \omega_2, ..., \omega_l)$ de parametre tasarım deneyinde yer alan gürültü faktörlerini göstersin. 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[65].

$\eta(\theta) = E[Y]$ ve $\sigma^2(\theta)= E[\{Y-\eta(\theta)\}^2]$, Y'nin ortalamasını ve varyansını göstersin. Bu modelle, beklenen kayıplar θ'nın fonksiyonlarıdır.

Performans ölçüsü seçilen θ'nın bir fonksiyonudur; öyle ki, performans ölçüsünün olası mühendislik ayarlamalarıyla maksimizasyonu beklenen kaybı en aza indirir. Performans ölçüsü farklı kontrol faktörü ayarlarını karşılaştırmada kriter olarak kullanılır. Etkili bir performans ölçüsünün hesaplanmasında kayıp fonksiyonuna ilişkin mühendislik bilgisinden yaralanılır. Beklenen kayıp da bir

---

[63] A.e., s. 203

[64] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.339

[65] Kackar, a.g.e., s.63

performans ölçüsüdür; ancak, bazen gerektiğinden daha karmaşıktır. Çünkü, mühendislik bilgisinden yararlanmaz. Farklı mühendislik tasarımları farklı performans ölçüleri çıkarabilir. Taguchi'nin, kontrol faktörlerinin mühendislik uygulamaları için 60'tan fazla (Thomas B.Barker bu sayının 70 olduğunu yazmaktadır[66]) farklı SN oranı tanımladığı söylenmektedir. Performans ölçüsü, θ'nın bir fonksiyonu iken, genelde bu fonksiyon bilinmez. Öyleyse hesaplanması gerekmektedir; eniyilenecek kriter olarak bu değer kullanılmaktadır.[67]

Performans istatistiği terimini 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[68].

Taguchi Yöntemleri, üreticinin tolerans limitlerinin belirlenmesi kadar ürün veya proses kalitesinin ölçülmesi için kayıp fonksiyonunu kullanır. Esas olarak amaç, ortalama kareli sapmanın (MSD) azaltılmasıyla ürün veya proses kalitesini geliştirmektir. MSD, toplam varyansın yansız tahmin edicisidir. Toplam varyans, gürültü ve faktörler arasındaki kesin karşılıklı ilişkiler genellikle bilinmez. Toplam varyansı azaltmak üzere daha güvenilir bilgi elde etmek için, bir deney iç dizi için faktörlerin ve dış dizi için gürültülerin atanmasıyla tasarlanır. SN oranı, ölçüm sonuçlarını analiz etmek için uygulanır.

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.

SN oranlarının bir kaç farklı şekli, optimizasyon prosesinin amaçları esasına göre kullanılır. Bununla beraber bütün SN oranları aşağıdaki özelliklere sahiptir[69]:

---

[66] Thomas B. Barker, "Quality Engineering by design: Taguchi's Philosophy", **Quality Progress**, December 1986,32-42, s.35

[67] Kackar, a.g.e., s.64

[68] Lin, Sullivan, Taguchi, a.g.e., s.55-59

- SN oranı, gürültü faktörleriyle neden olunan sistem yanıtındaki değişkenliği gösterir.
- SN oranı ortalamanın düzeltilmesinden bağımsızdır. Bu ölçüm (metrik) hedef değer değişse bile kalite için öngörü yapılmasında faydalı olacaktır.
- SN oranı nispi kaliteyi ölçer; çünkü karşılaştırma amaçları için kullanılmaktadır.
- SN oranı, ürün kalitesinde pek çok faktörün etkileri analiz edildiği zaman kontrol faktörleri etkileşimi gibi gereksiz karmaşıklıklara neden olmaz.

3.5.3 Tolerans Tasarımı

Bu aşamada, parametre tasarımı ile oluşturulmuş olan nominal parametre bileşimlerine uygun toleranslar belirlenir. Dar toleransların üretim maliyetini yükseltmesi, geniş toleransların da performans sapmalarını arttırması dolayısıyla tolerans tasarımında bu ikisi arasında eniyi buluşma noktasının belirlenmesi sorunu vardır. Bu noktanın belirlenmesi tüketicilerin kaliteyi ucuza satın alma istekleri ile üreticilerin kaliteyi ucuza üretme istekleri arasındaki eniyileme probleminin çözümüne benzemektedir[70].

Genellikle kabul edilir ki, değişkenlik azalırken kalite de gelişir. Ancak mühendisler sıfır değişkenliği (yani sıfır hatayı sağlamak) elde etmenin olanaksız olduğunu da bilirler. Bu nedenle tasarımcılar bir şeyin yalnızca hedef değerini tanımlayan toleransları değil aynı zamanda hedeflenen bu değer hakkında kabul edilebilir sınırları da yerleştirirler. Örneğin, bir boyuta ait ortalama değer 10 ise o zaman tasarım toleransları 10±2 sınırları arasında olabilecektir. Bu durumda üretim departmanı bu boyutu tam olarak 10 değeri için hedeflerken 9.98 ve 10.02 limitleri arasında çıkan her hangi bir parça kabul edilecektir.[71]

Böyle bir toleransı yorumlamanın geleneksel yaklaşımı şudur; izin verilmiş sınırlar içinde üretilen herhangi bir parçanın iyi bir kalite düzeyinde olduğunu, söz

---

[69] A.M.Connor, "Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods", **Journal of Engineering Design**, Vol.10, No.4, 1999, 377-390, s.378

[70] Peşkircioğlu, a.g.e., s.64-91

[71] Joseph Tunner, "Is an Out-of-Spec Product Really Out of Spec?", **Quality Progress**, December 1990;57-59, s.57

konusu toleranslar dışında üretilen bir parçanın da kötü olduğunu belirtmektedir. Ancak Taguchi bu yaklaşımın eksik ve yetersiz olduğunu vurgulamaktadır. Taguchi'ye göre parçanın boyutları hedef değere ne kadar yakın olursa müşterideki tatmin derecesini arttırmaktadır. Bu boyut değerleri tolerans sınırlarına yaklaştıkça müşteri tatmini azalmaktadır. Bu yüzden maliyet de gözetilerek olabildiğince kalite karakteristik değerleri, hedef değerde gerçekleştirilmesine büyük çaba gösterilmelidir.[72]

Ürün veya prosesteki varyasyon tolerans sınırları içinde ise tolerans tasarımı kullanılır. Bu istatistiksel deney tasarımı uygulamasında, son üründe varyasyona neden olan faktörlerin etkisini belirlemek için tolerans büyüklüğünde sistematik değişiklikler yapılır. Sistemdeki bütün toleransları daraltma yerine, analiz, hangi toleransların daraltılacağını ve hangi toleransların serbest bırakılacağını ortaya koyar.[73]

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmakta yeterli olmadığının kanıtlandığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetler, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilirler. Varyasyonu istenen değerlere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı gündeme gelir. Tolerans tasarımında, kayıp fonksiyonu, yüksek kaliteli bileşenlerin maliyetlerinin arttırılması toplumsal kaybı azalttığını doğrulamada kullanılır.[74]

Taguchi Yöntemi, toleransların yerleştirilmesinde parametre etkileşiminin etkisini dikkate alınması gerektiğini söylemektedir. Yapılan tasarım, nominal performansı etkilemeyen parametrelerdeki varyasyonu ortaya çıkarmadır. Bu konuda, Taguchi Yöntemi ileri istatistiksel tekniklerin kullanımını savunur. Temel düşünce, basit olarak her seferinde bir parametreyi değiştirerek, ürünün performansı üzerindeki etkisini bulmaktır; birkaç parametrenin hedeften ayrıldığında etkileşimlerin etkisini öngörmek değildir. Karmaşık sistem etkileşimleri önemlidir ve

[72] A.e., s.58
[73] Barker, a.g.e., s.37
[74] Ross, a.g.e., s. 201

deneysel tasarım ile araştırılmalıdır.[75] Alternatif olarak, parametre varyasyonlarını ve tasarımın etkisini belirlemek için sistemler simüle edilebilirler.

Bir bileşenin (faktörün) varyansı belirli bir maliyetle indirgenir (kalite geliştirilerek), böylece performans karakteristiklerinde bir artış elde edilir; bu da kayıp fonksiyonu için kaybın azalmasıyla sonuçlanır. Faktör varyansları ve toplam varyans arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde gösterilmiştir:[76]

$$S_T^2 = S_A^2 + S_B^2 + S_C^2 + ... + S_F^2 + S_e^2 \qquad (3.3)$$

Burada belirtilen varyans, performans karakteristiğinin varyansıdır. Performans karakteristiğinin varyansı bir faktörün varyansından kaynaklanır. Bir faktörün varyansının nasıl performans karakteristiğinin varyansına iletildiği göz önüne alındığında şu görülmektedir: Denklemdeki geniş varyanslara daha etkili faktörler neden olurken, küçük varyanslara ise az etkili faktörler neden olur. Dolayısıyla daha etkili faktörlerin kontrol edilmesi en önemli konu olmaktadır.

Kayıp fonksiyonu ile kayıp hesaplanırken toplam varyans değeri kullanılır. Eğer tolerans tasarımı az etkili faktörlere uygulanırsa, toplam varyans o kadar değişmeyecektir ve kayıp fonksiyonu, o faktör için tolerans tasarımı yaklaşımını gerçekleyemeyebilir. Toplam varyasyona daha fazla katkıda bulunan faktörlerin tolerans tasarımında kullanılması daha etkili olmaktadır.[77]

Üretim prosesinden önce, kritik etkileşimleri belirleyerek, parametre varyasyonlarına göre performans duyarlılığını azaltmak için daha çok parametre tasarımı kullanılabilir. Bu nedenden dolayı Taguchi Yöntemi'nde parametre ve tolerans tasarımlarına beraberce, bir fonksiyon içinde harmanlanarak bakılır. Sonuç, ürün tasarımı ve üretim prosesinin eşzamanlı mühendisliğidir. Bu Taguchi Yöntemlerinin üretilebilirlik için tasarıma odaklanmasıdır.[78] Bu durum Şekil 3.10' daki geleneksel ürün geliştirme prosesi tekniği ile Taguchi Yöntemi arasındaki en belirgin farktır.

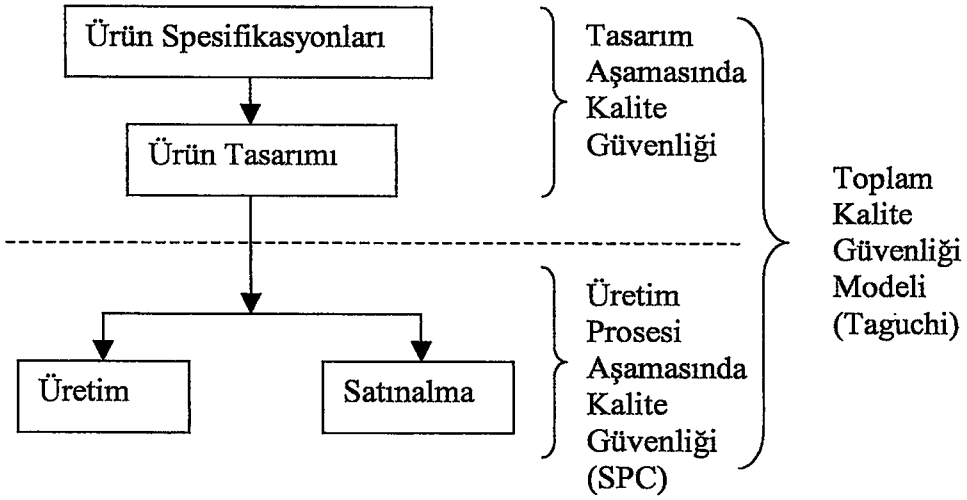
---

[75] W.C.Benton, "Statistical Process Control and the Taguchi Method: A Comparative Evaluation", **Int.J.Prod.Res.**, Vol.29,No.9,1761-1770, 1991, s.1768

[76] Ross, a.g.e., s. 202

[77] A.e.

[78] Benton, a.g.e., s.1768



Şekil 3.10 İki Kalite Güvenliği Yaklaşımı[79]

3.6 TAGUCHI KAYIP FONKSİYONU

Hedefler, ölçülebilir amaçları içerdiğinden dolayı ölçülebilir olurlar. Genelde, hedefler ve amaçlar ciddi bir anlam kaybına yol açmaksızın birbirinin yerine konabilirler. Amaçlarla ilgili iki güçlük vardır. Taguchi'nin kalite kayıp fonksiyonu, bu problemlerin üstesinden gelmek için bir ölçüm aracı olarak uygulanabilir.[80]

İlk olarak, alt kademedekilerin hata yapmaktan korktukları için düşük hedef seçmeye eğilim duydukları doğaldır. Deming, bunun organizasyonların aleladeliğe yönelttiğini söyler; çünkü, sonuç olarak pek çok kişi düşük seviyeli hedefe ulaşacaktır. İkincisi, işgücü hedefleri aşmaya cesaretlendiremez. Örneğin, yönetici %10'luk yakıt tüketimini azaltma yollarını arayabilir. Yönetici bu yıl %5'lik kısmını uygulamaya ve gelecek yıl diğer %5'ini tasarruf etmeye karar verebilir. Her iki durumun sonucu, müşterilerin aldatılmasına yol açar. Ne yazık ki, işletmenin en değerli kaynağı olan çalışanlar, tamamen kullanılmamıştır.

İkinci problem, işletmenin pozisyonunun hedeflere göre nasıl ölçüleceği ve değerlendirileceğini ele alır. Hedefler, sadece uzaydaki noktalar ve bunlardan

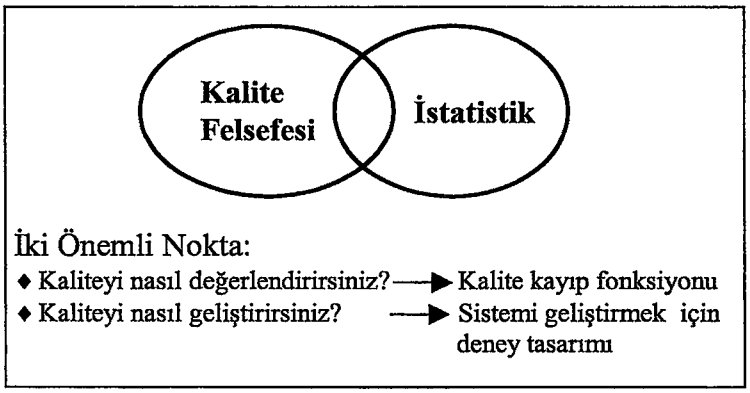
---

[79] Benton, a.e., s.1768

[80] Jerry L. Roslund, "Evaluating Management Objectives With the Quality Loss Function", **Quality Progress**, August 1989, s.45-49

uzaklıkların sorun olmadığı düşünülürse, işletme Taguchi'nin spesifikasyonlara uygunluk olarak gördüğü bazı tuzaklara düşecektir[81].

Bu Taguchi Yöntemleri'nin kurtarıcı olduğu yerdir. Yöntemler esasen kalite felsefesi ve istatistik arasındaki evliliktir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Taguchi Yöntemleri[82]

Taguchi, iki sorunu aşağıdaki gibi belirtmektedir:[83]

1. Kalite nasıl değerlendirilir?
2. Kalite nasıl geliştirilir?

İkinci soru, sistemi geliştirmek veya eniyilemek için deney tasarımı ile ilgilidir. Taguchi, kaliteyi ölçen geliştirilmiş bir sisteme gereksinim duyulduğunu vurgular; çünkü, hala onlarla müşteri tatmininin değiştiği pek çok dağılım vardır.

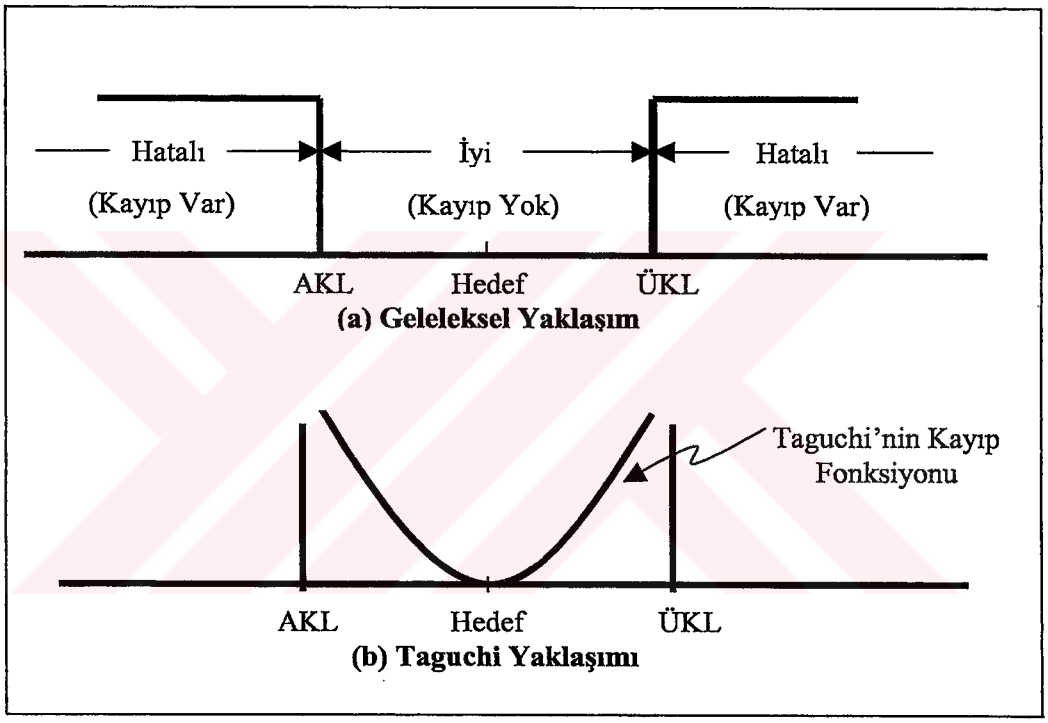
Modern üretim endüstrisinde kalite kontrole etkin bir rol verilmiştir. Bitmiş ürünlerin defo için muayene ve test edilmesi, yüksek kaliteli ürünlerin düşük maliyetlerle korumak ve pazardaki rekabette galip gelmek, hepsi birden geleneksel kalite kontrollerini tekrar tanımlamaktadır. Taguchi tarafından önerilen kayıp fonksiyonu ürün kalitesinin kantitatif ölçümlenmesini 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 parametreleriyle saptanır. Bir ürünün karakteristik parametreleri hedef değerlerine eşit olması halinde, o ürün en iyi performansı veya

[81] A.e.

[82] Roslund, a.g.e., s.46

sıfır kayıp gösterir. Aksi takdirde parametreler tasarım hedeflerinden saptıkça ürünün performansı bozulacaktır.[84]

Mühendisler daima şunu bilirler ki, parçaların değişkenliğini kontrol altında tutmak, iyi kaliteyi elde etmek açısından önemlidir. Bu nedenle hedeflenen ölçüleri ve sınırları tanımlayan toleranslar genellikle ölçülebilen bütün ürün özellikleri için yazılırlar. Geleneksel olarak üreticiler şu şekilde düşünürler; bir parça toleranslar içinde olduğu sürece (Şekil 3.12-a), kalite de olması gerektiği kadar iyidir.[85]



Şekil 3.12 Geleneksel ve Taguchi Kalite Yaklaşımı[86]

Japon mühendis Genichi Taguchi, ürünün toleransları karşılayabilmesine rağmen, tam olarak istenen hedef değerinde olmadığında topluma belli bir maliyetinin olduğunu belirtmektedir; yani hedeften daha uzakta çıkan değere karşılık

[83] Roslund, a.g.e., s.45-49

[84] C.L. Lee., G.R.Tang, "Tolerance Design for Products with Correlated Characteristics", **Mechanism and Machine Theory**, 35,2000; 1675-1687, s.1677

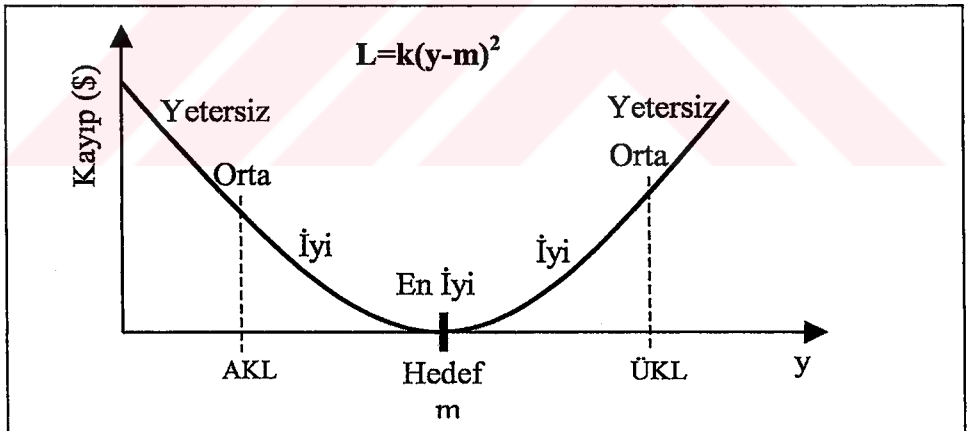
[85] Joseph Tunner, "Is an Out-of-Spec Product Really Out of Spec?", **Quality Progress**, December 1990;57-59, s.57

[86] Ross, a.g.e., s. 4-5

olarak daha büyük maliyet ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.12-b). Taguchi bu durumu "Taguchi kayıp fonksiyonu" olarak tanımlamıştır.[87]

Taguchi, Şekil 3.13'de gösterildiği gibi, kalite kayıp fonksiyonuyla finansal kayıp olarak müşteri tatminsizliğini ifade eder. Taguchi'nin kalite felsefesi hedef-odaklı kalite düşüncesi olabilir; çünkü kalite, ürünler hedef değerde üretildiği zaman ürün istenen kalitede olur. Ürünler istenen değerden (hedeften) saptığı zaman kalite seviyesi düşük olur. Müşteri tatminsizliği sapma ile büyür. Bu tatminsizlik genelde işletme (örneğin garanti maliyeti) veya toplum için kayıp finansal olarak ifade edilebilir. Böylece, Taguchi kayıp fonksiyonu, üretim dağılımının finansal (parasal) yorumudur; kuyruklardaki ürünler daha büyük parasal soruna neden olabilir.

Bu matematik fonksiyonunun kesin şekli, sadece bir model olduğundan çok önemli değildir. Wisconson Üniversitesi'nden Box, modelin mükemmel olmadığını fakat bazı modellerin hala yararlı olduğunu söylemektedir. Taguchi'nin kalite kayıp modeli, müşterideki tatminsizliğin adım fonksiyonu (step function) değil, sürekli fonksiyon olarak tanınmasına yardım ederse çok yaarlı olur.[88]



Taguchi Hedef-Odaklı Kalite Yaklaşımı

- Kalite hedefte olduğu zaman en iyidir.
- Kalite, üründeki sapma ile azalır.
- Müşteri tatminsizliği sapma ile büyür.
- Tatminsizlik işletme veya toplumun kaybı ($) olarak ifade edilebilir.
- Tatminsizlik/kalite sürekli ölçekte değerlendirilir.

Şekil 3.13 Kalite Kayıp Fonksiyonu[89]

[87] A.e., s.57

[88] Roslund, a.g.e., s.45-49

[89] A.e., s.47

Matematiksel olarak kalite kayıp fonksiyonu, hedeften değişime orantısal olan kaybı gösteren basit kuadratik fonksiyondur. Taguchi aşağıdaki fonksiyonu kullanır:

$$L(y) = k\,(y-m)^2 \qquad (3.4)$$

$L_{ort} = k\,(MSD)$; ortalama kayıp/parça

Burada,

m : Spesifik hedef değer

y : Ölçülmekte olan karakteristik

L : Kayıp

k : Orantısal sabit

MSD : Ortalama kareli sapma ($=\sum(y-m)^2 / n$)

dır. Kayıp fonksiyonu L(y), müşterinin hedef değerden sapmalara duyarlılığını tanımlar. Ortalama kayıp (L_{ort}), hedefi karşılamak için özel proses yeteneğini tanımlar.

Taguchi hedef-esaslı kalite felsefesinin *nominal en iyi* durumunda geliştiğine dikkat edilecektir. Taguchi, hedefleri üç şekilde sınıflandırır:[90]

1. Nominal en iyidir (m= hedef değer). Belli bir hedef değere ulaşılmaya çalışılmaktadır.
2. Daha küçük daha iyidir (m=0). Yanıtın minimize edilmesine çalışılmaktadır.
3. Daha büyük daha iyidir (m). Yanıtın maksimize edilmesine çalışılmaktadır.

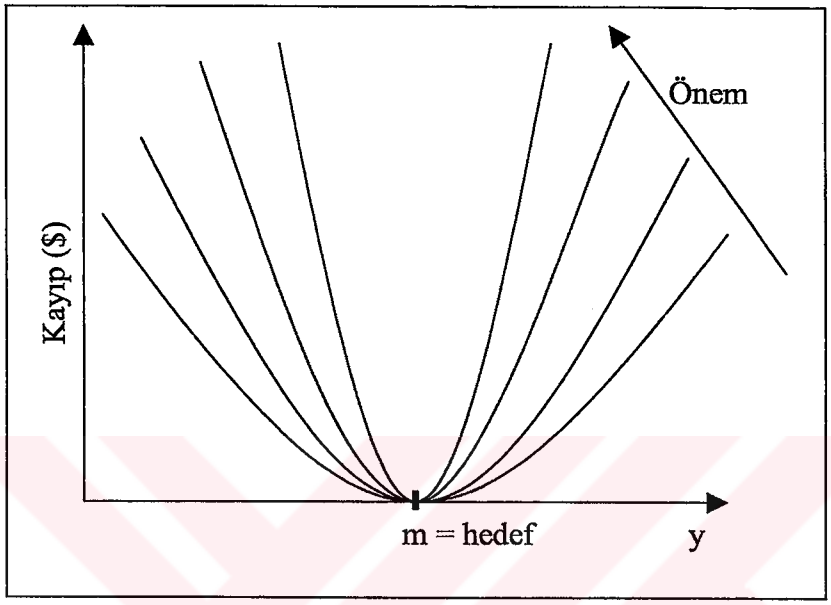
Bu durumlar, aşağıda ayrı başlıklar altında detaylı olarak anlatılmaktadır.

"Ne kadar yakın olursa, yakın sayılır?" sorusu sorulabilir. Bu doğal olarak yargı konusudur. Bunlar sadece kararlara yol gösteren yararlı grafikler sağlayan modellerdir. Hedef dışı olma durumlarının önemi değişir ve Şekil 3.14'teki gibi kayıp fonksiyonunun dikliği ile gösterilir. Paraşüt için müşteri tatmini, kül tablası için müşteri tatmininden tamamen farklı olacaktır. Bununla beraber, çoklu hedeflerle yapılan ilerlemeyi mantıksal olarak bütünleştiren ve değerlendiren bazı yöntemlere doğal olarak sahip olunacaktır. Böylece, iyi yöneticiler, bunu yol gösterici ve çalışanlarla haberleşmeyi sağlayan bir araç olarak kullanacaklardır.

---

[90] A.e., s.45-49

Herhangi bir avantaj noktasından, Taguchi'nin kalite felsefesine adapte olmak, sadece hata endişesini ortadan kaldırmaz; aynı zamanda amaçları aşma için bir dürtü oluşturur. Uygunluk esaslı (oriented) kalite tamamen yetersizdir. Taguchi'nin hedef esaslı yaklaşımı, kalite ölçümü için tek duyarlı yöntemdir.[91]



Şekil 3.14 Bazı Karakteristiklerin Karşılaştırılması[92]

Robust tasarıma yaklaşmak için, tolerans tasarımı toplam giderleri enküçüklemek suretiyle gerçekleştirilir. Toplam gider ise üretim maliyetiyle kalite kaybının toplamıdır. Bir ürün mükemmel olmayan karakteristiklerinden dolayı başarısız olabileceğinden toplam kalite kaybı bireysel kayıplardan gelen tüm katkıları kapsar.[93] Tasarım mühendisleri ürünlerin fonksiyonel tatmininin garanti edilmesi için dar toleranslar belirlemek isterler. Fakat üretim mühendisleri daha geniş toleranslarla çalışmayı tercih ederler. Geniş toleranslar parçaları üretmenin zorluğunu azaltır. Böylece ürünlerin üretim maliyetleri azaltılabilir.

[91] A.e.

[92] A.e., s.49

[93] C.L. Lee., G.R.Tang, "Tolerance Design for Products with Correlated Characteristics", **Mechanism and Machine Theory**, 35,2000; 1675-1687, s.1675

3.6.1 Yaşam Döngüsü Kalite Kaybı

Bir ürün sahibi için yaşam döngüsü endişelerinin Taguchi teorisine nasıl uyduğunu görmek ilginç olabilir. Diyelim ki $y_1, y_2, ..., y_n$ kalite karakteristiklerini gösteren n sayıda ölçümler olsun. Kalite karakteristikleri y, bir ürünün yaşam döngüsünden alınıp çıkarılmış olsun. Örneğin bir gemi ve varsayalım ki y belirtilmiş hedef değerine (m) olanaklı olduğu kadar yakın olsun. O takdirde ortalama kalite kaybı L aşağıdaki gibi ifade edilebilir: [94]

$$L = \frac{1}{n}\left[L(y_1) + L(y_2) + ... + L(y_n)\right] = \frac{k}{n}\left[(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + ... + (y_n - m)^2\right]$$

$$L = k\left[(\mu - m)^2 + \frac{n-1}{n}\sigma^2\right] \qquad (3.5)$$

Burada

$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$, ortalama ve $\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \mu)^2$ varyans olduğuna göre yukarıdaki ifade basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$L = k\left[(\mu - m)^2 + \sigma^2\right] \qquad (3.6)$$

3.6.2 Nominal En İyi

Burada yanıt için hedef değeri $y=T$ sağlamak amacıyla uygun x değerlerinin bulunması istenmektedir. Hedef değerin her iki yönündeki sapmalar da arzu edilmemektedir. Buradaki durumda iki ayrı SN oranı ele alınmaktadır. Uygun SN oranı ise sistemin yapısına bağlı olarak seçilmektedir. Yanıtın ortalaması ve varyansı birbirinden bağımsız olarak değişebiliyorsa, Taguchi bir ya da daha fazla sayıda ayar (tuning) veya düzeltme (adjustment) faktörünün sapmayı elimine etmek için kullanılmasını önermektedir.[95] Buradaki sapmayı elimine etmek, $E_z(y)=T$'yi sağlayacak bir düzeltmeyi sağlamak demektir. Ayar faktörleri ise yalnızca ortalamayı değiştiren, ancak bu esnada varyans üzerinde değişikliğe yol açmayan faktörlerdir. Sonuç olarak buradaki analiz iki aşamalı bir prosestir: y=T'yi sağlayan ayar faktörlerinin seçimi ve SN oranını maksimize eden diğer kontrol faktörlerinin seviye

[94] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.340

[95] Özler, a.g.e., s.166

sayısının seçimi. Bunun başarılabileceğini varsayarsak, kuadratik hata kayıp fonksiyonu $E_z(y-T)^2$, Var(y)'ye indirgenmiş olur. Taguchi'nin kullandığı SN oranı aşağıdaki gibidir:[96]

$$SN_{T1}=-10\log s^2 \tag{3.7}$$

Burada $s^2=\sum_{i=1}^{n}(y-\bar{y})^2/(n-1)$'dir. Diğer bir değişle dış dizi tasarım noktaları üzerinden hesaplanan örnek varyansıdır.

Yanıt, standard sapmasının ortalama ile ilişkili olduğu durumlar için bir SN oranı Taguchi tarafından önerilmiştir. Bu oran ilişkinin doğrusal olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Söz konusu durumda sapmayı elimine eden, ancak göreceli olarak değişkenlik katsayısı σ_y/μ_y'yi etkilemeyen düzeltme veya ayar faktörleri aranır. Sonuç olarak, SN oranı örnek değişkenlik katsayısı $s/\bar{y}$'yi içermektedir. Bu durum için Taguchi'nin SN oranı

$$SN_{T2}=10\log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \tag{3.8}$$

şeklinde verilmiştir. Burada yine iki-adım prosedürü uygulanır. y=T'yi sağlayan ayarlama faktörleri seçilir. Bu ayarlama faktörleri ortalama yanıt üzerinde etkili ancak SN oranını üzerinde az etkili olan veya etkisiz olan faktörlerdir.

Taguchi'nin Robust parametre tasarımı yaklaşımında SN oranlarının kullanılmasındaki amaç, proses ortalaması ve varyansını dikkate alan kullanımı kolay bir performans kriteri sağlamasıdır. Amaç, bu oranları, yanıt ortalamasını ve varyansını hesaba katan performans karakteristikleri olarak kullanmak olduğunda, bir çok yazar prosesin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak bir yol olarak, proses ortalaması ve varyansı için ayrı modellerin kullanılmasını önermişlerdir.[97]

SN oranlarının kullanılması uygulamacı bilim adamlarına, proses ortalaması ve proses varyansının rolleri hakkında değerli bilgi bulma garantisi vermemektedir. Kontrol faktörlerini, ortalamayı etkileyenler (yer etkileri) ve varyansı etkileyenler (yayılma etkileri) olarak ayırmak, prosesi anlamada oldukça önemlidir. Örneğin, denklem (3.8)'deki SN oranı

---

[96] A.e.

[97] A.e.

$$SN_{T2} = 10\log \bar{y}^2 + 10\log s^2 \quad (3.9)$$

şeklinde de yazılabilir. Bu SN oranının maksimizasyonu, hangi kontrol faktörünün yer etkisi, hangisinin yayılma etkisi olduğunun ayırt edilmesine olanak vermemektedir.

3.6.3 Daha Küçük Daha İyi

Taguchi, yanıt için hedef değerin sıfır olduğu durumları *Daha Küçük Daha İyi* durumu olarak tanımlamaktadır. Böylece kuadratik kayıp fonksiyonu $E_z(y-0)^2$'den aşağıdaki performans kriteri elde edilir.

$$SN_s = -10 \log \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{y_i^2}{n} \right] \quad (3.10)$$

Bu oran, beklenen kuadratik kayıp fonksiyonu $E_z(y^2)$'yi minimize edecek kontrol faktörleri seviyesi **x**'i bulma gereksiniminden gelmektedir. Burada E_z gürültü faktörlerinin dağılımı boyunca beklenen değere karşılık gelmektedir. SN oranı ise her bir iç dizi tasarım noktası için hesaplanmış olacaktır. -10log transformasyonu kullanıldığı için, SN oranının maksimizasyonuna çalışılmaktadır.

3.6.4 Daha Büyük Daha İyi

Burada denklem (3.10)'da y_i yerine $1/y_i$ kullanılarak, *Daha Küçük Daha İyi* durumunda olduğu gibi bir yol izlenir. Böylece karesel hata kriteri $E_z(1/y)^2$'den hareketle bir SN oranı kullanılabilir:

$$SN_s = -10 \log \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{1}{y_i^2} \right] / n \quad (3.11)$$

Burada, *Daha Küçük Daha İyi* durumunda olduğu gibi, SN oranını maksimize edecek kontrol faktörleri değerleri aranmaktadır.

3.6.5 Diğer Kayıp Fonksiyonları

Kayıp fonksiyonu, nominal değerin en iyi değer olduğu diğer durumlarda –örneğin daha küçük daha iyidir veya daha büyük daha iyidir- ürün karakteristiklerine uygulamak dahi olanaklıdır. Daha küçük daha iyidir

karakteristiğine iyi bir örnek, bir lokantada siparişinizin teslim edilmesi için beklenen zamandır. Eğer garson siparişinizin gelmesinin biraz zaman alacağını söylese o zaman biraz kayıp hissedersiniz; daha uzun bir süre beklemek zorundaysanız, o zaman kayıp daha fazladır. İşlenmiş bir yüzeyin cilası, sürtünme kaybı veya eskitme de "daha küçük daha iyidir"in örnekleridir. Etkinlik, en büyük direnç veya yakıt tasarrufu da " daha büyük daha iyidir"in örnekleridir.

"Daha küçük daha iyidir" karakteristiği için kayıp fonksiyonu Şekil 3.15-a'da gösterilmiştir. Maliyet sabiti k, "nominal en iyidir" durumundakine benzer şekilde hesaplanabilir.[98] *y*'nin özel değeri ile ilişkili olarak biraz kayıp vardır. *k* değeri esas alınarak y'nin her bir değeri için kayıp hesaplanabilir. Bu kayıp fonksiyonu, "nominal en iyidir" durumuna (*m=0*) özdeştir. Bu değer, daha düşük-daha iyidir karakteristiği için en iyi değerdir. Bu eşitlik

$$L=k\,[\,s^2+(\bar{y})^2\,] \qquad (3.12)$$

şeklini alır.[99]

"Daha büyük daha iyidir" karakteristiği için kayıp fonksiyonu Şekil 3.15-b'de gösterilmiştir. Yine, maliyet sabiti *k*, *y*'nin bazı özel değerlerine ilişkin olarak hesaplanabilir. Sonradan, *y*'nin her bir değeri bir kaybı belirleyecektir. Birim başına ortalama kayıp, $1/y^2$ için ortalama değer bulunarak belirlenebilir. Bu matematiksel olarak

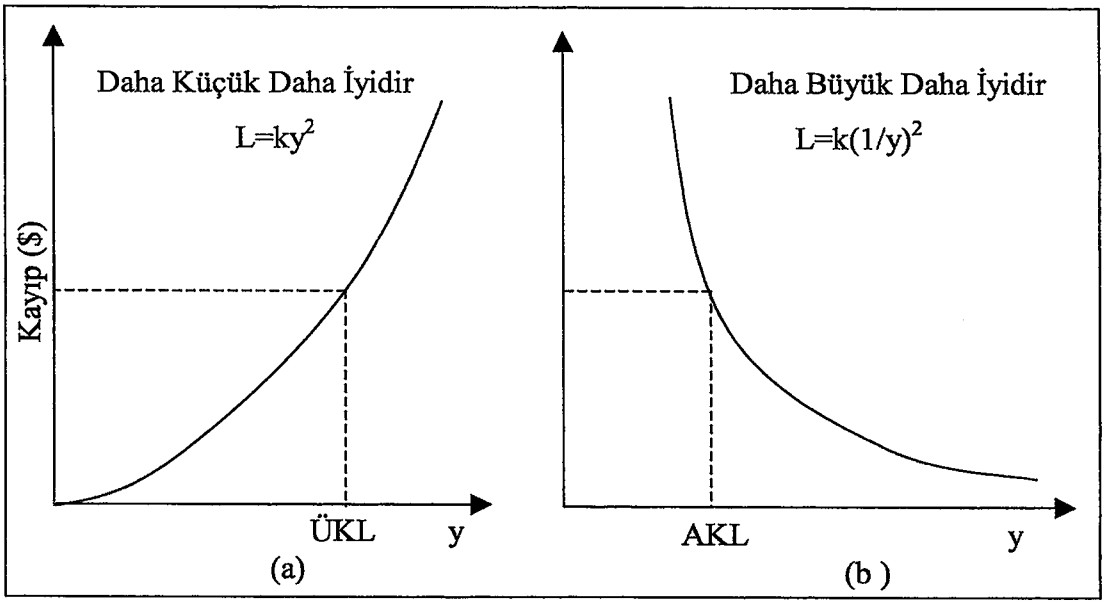
$$L=k(1/\bar{y}^2)[1+(3s^2/\bar{y}^2)] \qquad (3.13)$$

ye eşittir. Üç karakteristik için farklı kayıp fonksiyonları Tablo 3.2'de özetlenmiştir.

$L=k\,[\,S^2+(\bar{y}-m)^2\,]$ eşitliğinin iki parçadan oluştuğu herhangi biri tarafından görülebilir: Biri varyanstır; diğeri de bir grup ürünün performans karakteristiğinin ortalamadan göreli yerleşimidir. Bu yüzden, toplum kaybını enküçüklemek için ürün karakteristiği, nominal değerde merkezde toplatılmasını ve bu karakteristiğin varyansının azaltılmasını gerektirir.

---

[98] Phillip J.Ross, **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw-Hill Book Co., 1989, s. 18



Şekil 3.15 Diğer Kayıp Fonksiyonları[100]

Tablo 3.2 Kayıp Fonksiyonları Tipleri[101]

Karakteristik Tipi	Bir tek parça için kayıp	Bir dağılımdaki parça başına ort. kayıp
Daha büyük daha iyi	$k(1/y^2)$	$k\,(1 / \bar{y}^2)[1+(3\,S^2 / \bar{y}^2)]$
Nominal en iyi	$k(y-m)^2$	$k[\,S^2+(y-m)^2\,]$
Daha küçük daha iyi	$k(y^2)$	$k[\,S^2+\bar{y}^2\,]$

Kayıp fonksiyonu, bir fabrika içerisinde kalite yönetimine iki görev yükler. Birincisi, ürün ve proses mühendisinin üretime başlamadan önce varyansı belirleme ve geçen zamanla kaybı azaltacak şekilde çalışmalarını iyileştirme görevini yerine getirmesidir. İkincisi ise, üretimi yapan kişinin dağılımın merkezileştirilmesi sorumluluğudur. Bunlar On-line kalite kontrol ve Off-line kalite kontrol kavramlarının çıkış noktalarıdır.[102]

[99] A.e.
[100] A.e., s. 19
[101] A.e.
[102] A.e., s. 20

3.7 ROBUST TASARIM

Robust tasarımının temel prensibi, bir ürünün kalitesini değişkenlik sebeplerini yok etmeden enküçüklemek suretiyle geliştirmektir. Güvenilir tasarım parametrelerini bulabilmek için verimli deneyler yapmak zorunludur. Parametrelerin öngörülen etkileri, diğer parametreler değiştirildiğinde dahi geçerli olmalıdır. Yüksek kalite ve robust tasarımın anahtarı sinyal gürültü oranını kullanarak bir sürü parametreyi incelemek amacıyla kalite ve ortogonal dizileri ölçümlemektir.[103]

İşletmeler, proseslerin sadece etkili ve elverişli olmasının yeterli olmadığını itiraf etmektedirler. Prosesler aynı zamanda esnek, işlenmesi kolay ve hatasız (hataya karşı dayanıklı) olmalıdır. Bu karakteristiklere sahip olan proses robusttur; prosesin performansı, prosesteki iç ve dış faktörlerin kontrol edilemeyen varyasyonlarına (variation:değişmelerine) karşı duyarlı değildir. Bir *prosesin yüksek kaliteli sayılabilmesi için etkili, yeterli ve robust (sağlam,güçlü) olmalıdır.*[104]

Üretim proseslerini ve proseslerin son ürünlerini geliştirmek için Genichi Taguchi'nin robustluk kavramının kullanımı hakkında çok yazılar yazılmıştır.[105] Taguchi'nin robustluk kavramı, çalışma prosesleri, onların ürün ve hizmetlerini iyileştirmek için de kullanılabilir.

Taguchi robust tasarım yönteminin amacı; performansı imalat kusurları, çevresel varyasyonlar ve bozulmalar gibi gürültülere karşı duyarsız yaparak hedeflenen değerden çıktı varyasyonunu azaltmaktır. Bu amaç, ürünü geliştirmede ve üretim proses tasarımında etkili olmasıyla tanınır. Ancak uygulamada ortalama kaybı modelleme yaklaşımı optimal olmayan çözümlere, verimlilik kaybına ve enformasyon kaybına yol açabilir. Ayrıca Taguchi'nin kayıp yaklaşım modellemesi özel bir deneysel formatı gerektirdiğinden, bu daha az esnek ve pahalı deneylere meydan verebilir. Yanıt model yaklaşımı bu problemlere sahip değildir ancak onun da kendine ait problemleri vardır.[106]

---

[103] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.338

[104] Ronald D. Snee, "Creating Robust Work Processes", **Quality Progress**, February 1993, s.37-41

[105] A.e.

[106] Kwok-Leung Tsui, "A Critical Look at Taguchi's Modelling Approach for Robust Design", **Journal of Applied Statistics**, Vol.23, No.1, Feb 1996, s.81

Robust tasarım metodolojisi enjeksiyon kalıplama prosesine yıkama makinalarına ait üretim tahrikçileri için uygulanmış ve sonuçta ürün boyutlarına ait varyasyonlarda azalma sağlanmış ve hedef değerler temin edilmiştir. Daha önemlisi red oranı önemli ölçüde düşerek %20'den 0'a düşürülmüştür. Değiştirilen bu durum işletmeye maliyet, teslimat, kalite ve verimlilik konularında birçok bakımdan yardımcı olmuştur. Bunlar kuruluşların mükemmeliyet boyutlarıdır. Kısaca sonuçlar şirkete toplam kalite yönetimi yolculuğunda güven kazandırmıştır. Bu başarı sayesinde birçok ekip, ürün ve proses kalitesini arttırmak için çeşitli istatistiksel tanı araçları kullanmaya başlamıştır. Toplam kalite yönetimi tüm işletme çalışanları için bir hayat tarzı olmaktadır.[107]

Robust tasarım Japonya'da otomobil ve elektronik alanında güvenilir, yüksek kalite ürünleri düşük maliyetle üretme konusunda çok başarılı olmuştur.1980'lerde Batılı ülkeler Taguchi'nin robust tasarım yöntemlerini kaliteyi yükseltme ve maliyetleri düşürme konusunda basit ama etkili yaklaşım olarak ciddiye almaya başlamışlardır. Halen bu yöntemlerin kullanımı bir çok Avrupa ülkelerinde ve ABD endüstrilerinde yaygınlaşmaktadır.[108]

Robust tasarım yaklaşımının bir anahtar görüşü, tasarım parametre kombinasyonu için SN oranının nasıl hesaplanacağı konusudur. Bu genellikle ortogonal dizilerin kullanımıyla gerçekleştirilir.

3.7.1 Robustluk ve Kalite

Kalite kavramı, tasarımın gürültü faktörlerine duyarlılığı ile yakından ilgilidir. Gürültü faktörleri, sistemin kontrol edilemeyen olası girdileri olarak tanımlanabilir.[109] Yüksek kaliteli tasarımı başarmak için, performanstaki herhangi bir değişkenliği elimine etmek gereklidir. Bunun için izlenecek iki yol vardır. Birincisi, gürültünün gerçek kaynağını elimine etmek; fakat, bu faktörlerin kontrol edilmesi çok güç olduğundan, yüksek maliyetli, zaman alıcı ve etkisiz olabilir. İkinci seçenek,

---

[107] Reddy, Nishina, Babu, a.g.e., s.667

[108] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.335

[109] A.M.Connor, "Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods", **Journal of Engineering Design**, Vol.10, No.4, 1999, 377-390 s.378

yapının duyarlılığını elimine etmektir. Yapı (artefact), gürültü kaynakları elimine edilmemiş olmasına rağmen, robust olduğu söylenebilir.[110]

Bu robustluk yapı kalitesini değerlendirmek için kullanılabilen iki temel faktör boyunca kaliteyle ilgili olabilir. Bunlar yapı özellikleri ve bu özelliklere "uygunluk (conformance)" tur. Gereksinimleri karşılamak için tasarım çözümünün performansı, özellik olarak görülebilir. Geniş koşullarla gereksinimleri karşılayacak tasarım çözümü yeterliliği, robustluk ve kalite arasında doğrudan bağ sağlama "uygunluk" olarak görülebilir.

Taguchi'nin robust tasarımının amacı ürün performansını, kontrol edilmesi çok zor olan faktörlere karşı duyarsız yapmaktır; ve bu da çok önemlidir. Kayıp model yaklaşımı ve ürün gamı deneysel formatı optimal olmayan çözümlere, verimlilik ve enformasyon kaybına ve daha az esneklik kaybına ve gereksiz pahalı deneylere yol açabilir. Buna rağmen Taguchi yaklaşımının mühendisler arasında çok popüler olmasının nedeni, anlaşılması ve izlenmesinin kolay olmasıdır. Ayrıca istatistik ve matematikte kuvvetli bir geçmişe sahip olmayı gerektirmemektedir.[111]

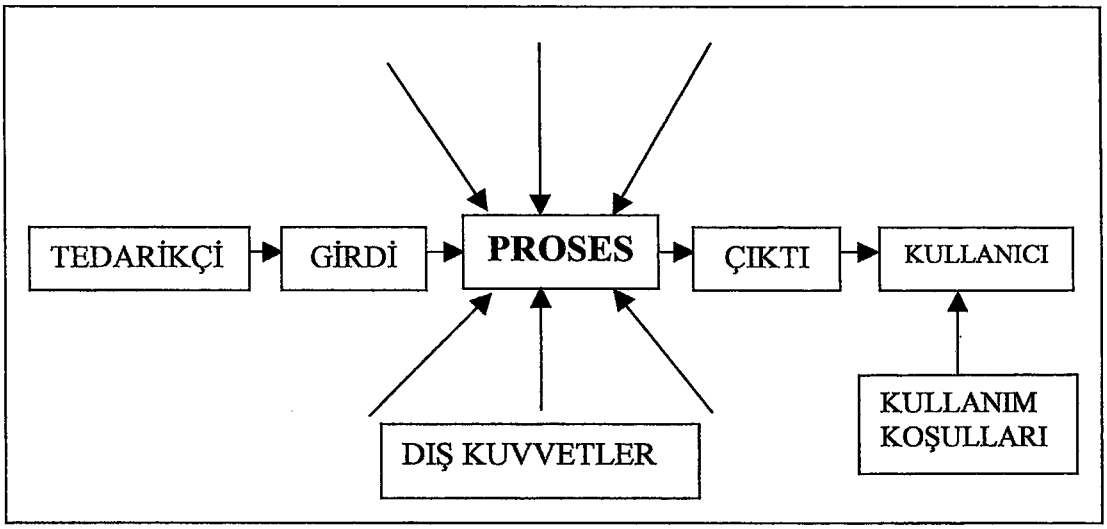
3.7.2 Çalışma Prosesinin Robustluğu

Bir çalışma prosesi, bir kişi veya grubu kullanarak malzemeleri ve bilgiyi bir çıktıya dönüştürmek için insan kullanan bir faaliyetler serisidir (Şekil 3.16). Çalışma prosesinin tedarikçileri ve çıktılarının kullanıcıları aynı veya farklı kişiler ya da gruplar olabilir. Çalışma prosesleri tipik olarak insan, cihaz, prosedürler, malzeme ve bilgi içerir; ve çevre tarafından etkilenirler. Üretim prosesleri, son kullanıcılar için elle tutulur ürünler veya diğer üretim prosesleri için girdiler üretir (örneğin oto montajı ve kimyasal üretim). Makinalar, en az insan müdahalesi ile işin çoğunu (örneğin, müşteri hizmeti, muhasebe, işletmenin posta dağıtımı ve ürün tasarımı) yapar.

---

[110] A.e.

[111] Tsui, a.g.e., s.95



Şekil 3.16 Çalışma Prosesi ve Çıktısının Performansını Etkileyen Kontrol Edilemeyen Faktör Kaynakları[112]

Çalışma prosesi, sık sık servis prosesi, yönetim prosesi, iş prosesi, insan kaynakları yönetimi prosesi veya üretim yapmayan proses olarak söylenir. Üretim araçlarında, çalışma proseslerinin destek üretim prosesleri olduğu unutulmamalıdır. İkisi de sürekli olarak iyileştirilmelidir.

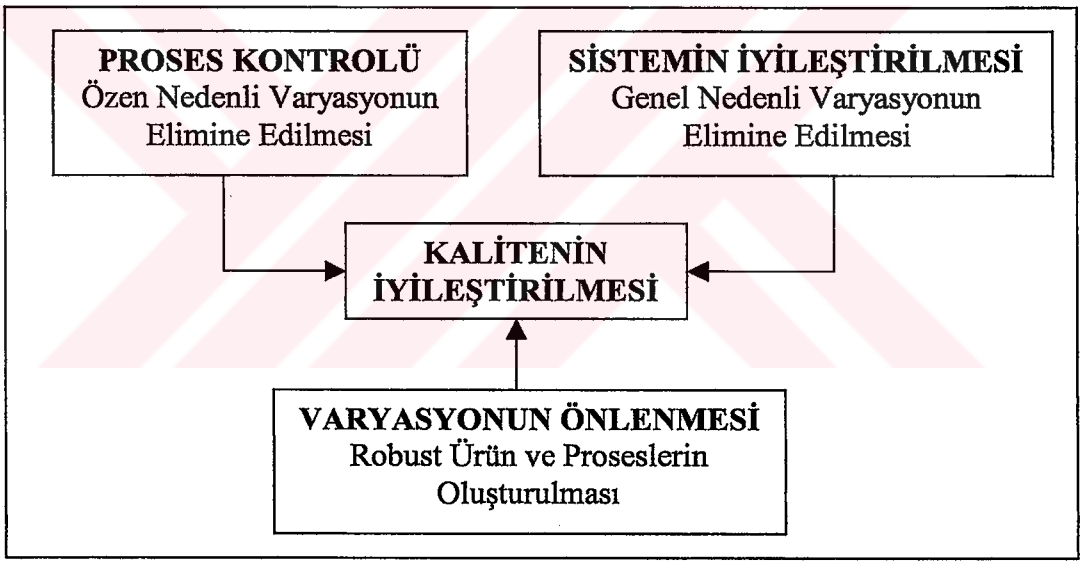
Çalışma prosesinde önemli bir girdi (ingredient) insan müdahalesidir. Çalışma prosesleri, günlük, saatlik ve bazen de dakikalık alınan kararlar ve işçilerin hareketleri üretim proseslerinden çok daha büyük bir rol oynar. Çalışma Proseslerinin diğer karakteristikleri şunlardır:[113]

- Prosesler genelde gözle görülmezler ve komplekstirler.
- Proses çıktıları genellikle elle tutulmaz (maddi değildir) ve bazen tektirler.
- Büyük miktarda kırtasiye işi üretirler.
- Prosesler genellikle iyi tanımlanmazlar ve dökümante edilmezler.
- Benzer faaliyetler bazen farklı şekillerde yapılırlar.
- Çalışma (work) bir olay olarak görülür; bir proses olarak değil.
- Ölçümler tipik olarak kullanılmazlar.
- Proseslerin genellikle sahipleri yoktur.

[112] Snee, a.g.e., s.37
[113] A.e., s.37-41

Bununla beraber, çalışma proseslerine odaklandıktan sonra takip eden bilgiler, kavramlar genel bir amaçla birbirine bağlı maddeler, insanlar ve proseslerin bağımlı olduğu uygun sistemler eşit olarak uygulanır.

Kaliteyi geliştirmenin bir anahtarı varyasyonu azaltmaktır. W.Edwards Deming "Eğer yönetim için mesajımı sadece birkaç kelime ile kısaltmak zorunda kalsaydım, her şeyi varyasyonu azaltmak için yapılmasını söylerdim" der. Dikkat edilirse, Deming'in 14 noktasının tümü için varyasyonun azaltılmasının temel olduğu görülebilir. Deming ve arkadaşları, varyasyonu azaltmak için etkili bir yolun, prosesi istatistiksel kontrol durumuna getirilerek varyasyonun özel nedenini elimine etmek olduğuna dikkat çekerler. Başlangıçta proses kontrol altındadır; genel nedenin doğurduğu varyasyonu azaltarak proses iyileştirilebilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Kaliteyi İyileştirmek ve Varyasyonu Azaltmak için Üç Yol[114]

Taguchi'nin robustluk kavramı da varyasyonu azaltmak üzerine odaklanır. Kontrol edilmeyen faktörlerden hangisinin prosesi etkileyeceği ve proseste elde edilen ürünün nasıl kullanılacağı önceden öngörerek varyasyon azaltılır. Ürün ve proses, kontrol edilemeyen faktörlerin etkileri minimize edilerek tasarlanır.

İçinde yaşadığımız ve çalıştığımız dünya hızlı bir şekilde değişiyor; bu yüzden bir çok kontrol edilmeyen/edilemeyen faktör tarafından etkileniyoruz. Çevrede ve

[114] A.e., s.38

proseste kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini bekleyerek (anticipate), bu faktörlere duyarlı olmayan çalışma prosesleri ve bunların ürünlerini tasarlamak varyasyonu azaltmak için üçüncü bir yol sağlar.

Robustluk, proses ve ürünün performansında ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı nasıl etkilediğine göre tanımlanır[115]:

- Eğer prosesin performansı, proses çıktılarında, şekil değiştirmelerde ve dış faktörlerdeki kontrol edilemeyen varyasyonlara duyarlı değilse, o proses robusttur.
- Eğer prosesin performansı üretim, dağıtım, kullanım ve elden çıkarma fonksiyonlarının kontrol edilemeyen varyasyonlarına duyarlı değilse, proses çıktısı veya ürün robusttur.

Robustluğun bu tanımları, problemler önceden öngörüldüğünden ve koruyucu önlem alınmış olduğundan, robust proses veya ürünün daha çok beklenildiği gibi yapılması sonucuna götürür. Robustluk, proses veya ürüne katılmalıdır; aksi takdirde %100 muayene mükemmel olarak gerçekleştirilse bile robustluk sağlanamaz.

Bir organizasyon, robust çalışma prosesleri oluştururken göz önüne alınacak kriter, önerilen yeni prosesi yapacak yeteneğe sahip olup olmadığıdır. Robustluk, her hangi bir çalışma prosesini veya çıktısını yaratmak veya iyileştirmek için kullanılabilen bir genel kavramdır. Çalışma prosesleri veya çıktılarının bazı betimleyicileri basit, kullanıcıya uygun, hatasız, tahrifsiz toleranslı, müsamahalı, elastiki, esnek, uyabilir, çok yönlü, dayanıklı, sert, ispat edilir ve devamlı olma gibi özellikleri içerir. Bu betimleyiciler, servis, üretim, bireysel veya grup çalışma prosesleri içeren geniş çeşitlilikteki proseslere uygulanır. Bazı kişiler betimleyicileri, iyi tasarlanmış bir prosesin karakteristikleri olarak tanımlamak isterler; ve robustluğun yeni bir fikir olmadığını belirtmektedirler. Ne yazık ki bir çok işletme için robustluk yeni bir kavramdır; çalışma proseslerini tasarladıklarında robustluğu dikkate almazlar.[116]

---

[115] A.e., s.37-41

[116] A.e.

Bununla beraber robustluk, her derde deva değildir. Robustluk derecesi ile ek maliyet arasında ödünleşim vardır. Çok fazla robustluk gereksiz maliyet getirebilir. Diğer yandan, bir çok kalitesizlik maliyetleri bilinmez veya bilinemez; çünkü, tatmin olmamış müşteri kayıpları veya kaybedilen fırsatları ölçmek olanaksız değilse de çok zordur. Altı çizilmesi gereken şudur: İnsan, robustluğu yaratıcı bir şekilde kullanmasını öğrenmelidir.

Robustluğun yaratılması, ürün ve proses geliştirilmesinde kullanılan olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve kimyasal proses geliştirilmesinde kullanılan Proses Tehlikelerinin Yeniden Gözden Geçirilmesine (PHR) benzer. Bu üç metodoloji, ürün veya prosesin, uygun tasarım aracılığıyla sorun önlemeye odaklanmıştır.[117] FMEA ve PHR, yanlış giden şeyin ne olabileceği ve uygun tasarım değişikliklerini teşhis eder. Robustluk, kontrol edilemeyen faktörler (yani gürültü faktörleri) veya kontrol edilmesi çok pahalı faktörlerden dolayı meydana gelen varyasyonlara duyarsız olan prosesin tasarımına odaklanır.

Robust çalışma proseslerini yaratmak, sorunları önlemek için diğer bir yoldur. Burada; "Kontrol edilemeyen faktör üzerindeki varyasyon yüzünden ne yanlış olabilir? Prosesin söz konusu faktörün etkisinden korunması için yerine ne konulabilir ve olayda meydana gelen istenmeyen şeyler önlenebilir mi?" diye sorulmalıdır.

Proses robustluğu değerlendirilirken, gerçekten kontrol edilebilir bazı faktörlerin kontrol edilemeyebileceği endişesi akılda tutulmalıdır. Bu gibi durumlarda, faktör için robust prosesin nasıl yapılacağını hesaplamaya çalışmak yerine, bir kontrol prosedürü yapmak daha kabiliyetli olabilir.

3.7.3 Robust Çalışma Prosesi Oluşturma

Robust çalışma prosesi oluşturmak için pek çok yol vardır; kişiler sadece hayal güçleriyle sınırlanırlar. Burada kişilerin faaliyetleri, iş prosesinin dışındaki olayları ve teknoloji kullanımında odaklaşan birkaç tane iyi bilinen yöntem vardır:[118]

---

[117] A.e.

[118] A.e.

- **İş Prosesini basitleştirmek**

Robustluk oluşturmanın en etkin yollarından biri, iş prosesinin karmaşıklığını azaltmaktır. Gereksiz işleri çıkarmak, prosesi çalışanların daha öğreneceği ve daha etkin ve verimli olabileceği şekilde kullanımını kolaylaştırmaktır.

- **İnsan hatalarını yok etmek için prosesi hata geçirmez kılmak.**

Bir organizasyonun kurucuları ve yöneticileri, insan hatalarının nasıl ortaya çıktığını bilirse, hata geçirmez iş prosesi yaparlar. Bazı hata geçirmeme örnekleri, bilgisayarlar için disketler, yeniden yazılmış formlar; araba ve kamyonlarda otomatik vites, kurşunlu ve kurşunsuz benzin için farklı benzin dağıtım sistemi, bilgisayar hece kontrolleridir.

- **İşgücünün eğitim ve deneyim eksikliğini bilmek**

Kişiler, eğitim ve deneyim eksikliklerinden dolayı kendilerinden istenen performansı gösteremezler. Çalışanlara gerekli eğitim verilmemiş olabilir. Onlar iş prosesinde çalışmak için yeni olabilir veya iş prosesi geliştirilmiş fakat çalışanlara yeni çalışma prosesi ve çevreye adapte olma şansı verilmemiş olabilir.

- **Gereksinimleri tedarikçilere açıkça iletmek**

İşletmeler misyon, vizyon ve gereksinimlerini yanlış anlayan, çok farklı geçmişlere ve ilgilere sahip olan tedarikçilerle iş yaparlar. Tedarikçiler , işletmelerin gereksinimlerini bildiklerinde tedarikçiler arasında farklılıkların düzenlenmesi yapılır ve esas işletmenin gereksinimlerini uygun şekilde karşılayacak olan tedarikçinin şansı artacaktır. Başta da ifade edildiği gibi, tedarikçi sayısını azaltmak, varyasyonu azaltmak için daha etkin bir yoldur. Robust prosesi, tercih edilen tedarikçi belirlendikten sonra kalan tedarikçilerde yoğunlaşacaktır.

- **Yeni dış güçleri tanımak**

İşletme çalışma prosesini etkileyebilen çalışanların kontrolü dışındaki dış güçleri tanımlayabilir.

- **Proses çıktılarının alternatif kullanımlarının tanımlanması**

Beyin fırtınası ve araştırma, proses ve çıktısının performanslarını daha etkin yapmak için proses çıktısının nasıl tasarlanacağını ve değiştirileceğinin tanımlanmasında yardımcı olur.

- **Bilgisayar kullanımı ve otomasyon**

İşletmeler çalışma prosesinin otomatikleşmesiyle robustluk oluşturma fırsatını kaçırmayacaktır. İnsanlar hata yapar. Bazı işler sıkıcıdır. İnsanlar hasta olur. İnsanlar değişen nedenlerden dolayı sürekli aynı performansı gösteremezler. Otomatikleştirilen çalışma prosesi, hepsini olmasa da bu problemlerin büyük çoğunluğunu ortadan kaldırır ve insanların zamanlarını daha yaratıcı işlerde kullanmalarını sağlar.

İşletmeler, çalışma prosesinin tasarımını ve çıktılarını geliştirdiği zaman hızla gelişirler. Robustluk, tasarım kalitesi için anahtardır. Robustluk kavramı geneldir, üretim yapan ve üretim yapmayan prosese ve onların ürün ve hizmet şeklinde gerçekleşen sonuçlarına uygulanır. İşletmeler, yeni çalışma prosesleri tasarlanmak veya var olanlardan birini geliştirmek için robustluk düşüncelerini, satandard işleme prosedürlerinin bir parçası yapmalıdırlar.

3.7.4 Robust Mühendislik Tasarımında Tasarımcı Tercihleri

Taguchi'nin SN oranını kullanma taktiğinin metrikle ilgili bir zaafı vardır. Bu da tasarımcının tercihlerini içine almaktaki yeteneksizliğidir. Yani bu ölçü tasarım tercihinden bağımsızdır, nedeni de içinde doğal olarak bulunan ödünleşim stratejisidir. Böylece bir tasarımcı tasarımı sıkılaştırmayı veya hedef değere spesifik bir nitelik için yakınlığı arttırmayı düşündüğü zaman böyle bir eğilimin temsiline yardım edecek bilimsel bir platform mevcut değildir. Bu bağlamda tasarımcının eğilimini şekillendirmek için alternatif bir tasarım metriği geliştirilmiştir. Son zamanlarda, Iyer ve Krishnamurty robust optimal tasarımın bir problem olarak incelenebileceğini göstermiştir.[119] Bu perspektif çok daha canlı bir tercih esaslı

[119] Kyung Mo Kim, Sunder Krishnamurty, "A Dominance-Based Design Metric in Multiattribute Robust Design", **Research in Engineering Design, 12**, pp.235-248, 2000, s. 235

tasarım metninin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yarar teorisinden sinyal gürültü oranı yerine kullanılabilecek kavramlar kullanmıştır. Bu metrik tasarımı sıkılaştırmak veya hedef değere yaklaşmayı daha da arttırmak şeklindeki problemin ele alınması amacıyla türetilmiştir. Ancak bu kurgu performansa genel bir perspektiften yaklaşmıştır, ortalama ve varyans bu global perspektiften incelenmiştir. Bu şekliyle her niteliğin kalitesine bir içe bakış sağlayamaz ancak tasarımın toplam yararlılığını etkilemek için kullanılabilir.[120]

Alternatif olarak ortalamaları ve varyansları ayrı olarak kontrol edebilen bir tasarım metriği getirilmiştir. Bununla tasarımcı tasarımı sıkılaştırma ve hedef değerlere yaklaşmayı arttırma eğilimini seçici olarak ele alabilir. Daha önemlisi bir tasarımın eğilimi artık üstünlük indeksiyle (dominance index) değerlendirilir. Bu indeks nitelik değerlerinin öngörülen dağılımına dayanır. Bu sayede deneyin belli bir aşamasında elde edilen bilgi daha sonraki tasarım prosesinde daha etkili olarak kullanılabilir. Böyle bir bilgi geri beslemesine dayalı karar modelinin geliştirilmesi, mühendislik tasarım problemlerinde özellikle yararlı olacaktır. Burada beklenen sonuçlara ait az bir enformasyon önsel olarak (a priori) bilinebilir. Böyle bir modelleme daha sonra tasarımcının ödünleşim tercihleriyle eşlenir. Bu olasılıklar bir tasarımcının farklı tasarım koşulları arasında bir ödünleşim yapma isteğine işaret eder. Sunum herhangi bir deney esaslı tasarım yaklaşımı ile entegre olabilir. Örneğin karmaşık tasarım problemlerinin ele alınmasında yanıt yüzey yöntemi veya geleneksel Taguchi yöntemi gibi etkili bir biçimde kullanılabilir.[121]

3.8 TAGUCHİ SİSTEMİNDE AKÜMÜLASYON ANALİZİNİN DOE'DEKİ ROLÜ

Taguchi'ye ait deneysel tasarım sisteminde etkileşimleri ele alma yaklaşımı özellikle ilginç ve bazen de tartışmaya açıktır. Taguchi "Araştırmanın verimliliğinin düşmemesi için bireysel faktörlere ait etkileri yansıtan karakteristikleri bulmak gerekir, yani eğer faktörler arasındaki etkileşimler küçük ise deney daha verimli"

[120] A.e.

[121] A.e., s.236

olduğunu belirtmiştir. Etkileşimleri azaltmak için de daha sonra şunları söylemiştir:[122]

"Etkileşimlerin enküçüklenmesi... Spesifik teknolojiye ait tekniklerle ele alınmalı ve aşağıdaki gibi uygun analiz teknikleri uygulanmalıdır:

1. Ekleyicilik veya monotonluk taşıyan karakteristik değerlere dönüşme
2. Değişik faktörler için seçilen seviyeler arasındaki etkileşimlerin dikkate alınması
3. Kategorize değerlerin varlığı halinde AA (Accumulation Analysis) gibi doğru analizlerin kullanılması."

Taguchi, niteliksel yanıt problemlerini etkin bir şekilde çözmek için akümülasyon analizleri (AA) geliştirmiştir. Taguchi'nin AA dört adımdan oluşur: [123]

1. Karşılık gelen kümülatif kategorileri tanımlamak,
2. Faktör seviyelerinin etkilerini saptamak,
3. Kümülatif olasılıkları işaretlemek,
4. Her kategorinin eniyi koşullar altındaki toplanmış olasılıkları öngörmek.

Eniyi faktör/seviye kombinasyonu, faktör etki diyagramının incelenmesiyle sağlanabilir. Ancak Taguchi'nin bu analizi subjektif bir değerlendirmede yanlış sonuçlara yol açabilir.

Uygun kalite karakteristiklerinin ve etkileşimleri azaltacak faktör seviyelerinin seçiminin önem ve etkinliğini göstermek üzere Taguchi ve Phadke tarafından sayısız örnekler verilmiştir. Bunların önemine dikkatleri çektiği için Taguchi'ye kredi verilmelidir. Bununla birlikte genel analiz yöntemlerine bazı istisnalar getirilmelidir. Karakteristikler, faktörler ve seviyeleri bir kez seçildiğinde ve veriler toplandığında veriyi modellemek ve analiz etmek üzere kuvvetli istatistiksel yöntemler kullanılmalıdır. İddia edilenin tersine alınan sonuçlar AA'nin önemsiz etkileşimleri tespit edebildiği ve gerçek olanları atladığını göstermiştir. Analiz aşamasında yapılacak iş etkileşimlerin azaltılması değil fakat çok daha önemli etkileşimlerin

---

[122] M.Hamada, C.F.J.Wu, "Response", **Technometrics**, May 1990:159-162, Vol.32, No.2, s.159

[123] Kun-Lin Hsieh, Lee-Ing Tong, "Optimization of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks", **Computers in Industry**, 46, 2001;1-12, s.3

varlığını belirlemek ve varsa bunları öngörmektir. Bazen iyi modelleme, belki de veri transformasyonunu kullanmak suretiyle çok az veya hiç ilişkisi olmayan modellere yol açabilir.

Taguchi'ye ait üç konulu reçete bağlamında AA eksiklikleri;

1. Önemli faktörlerin yanlış tanımlanmasına,
2. İstenen faktör seviyelerinin yanlış belirlenmesine ve
3. Yeni kurgularda zayıf öngörülere

yol açabilir. Bunlardan dolayı doğrulama deneylerinin de etkinliği azalabilir. Yanagisawa, Disney ve Bendell ile Taguchi'nin doğrulama deneylerinin yönetilebilir olduğu konusunda aynı fikri paylaşmalarına rağmen, bu zayıf istatistiksel yöntemler tarafından öngörülen kurgularda doğrulama deneylerini yürütmenin pahalı bir yol olduğu belirtilmelidir.[124]

AA, Taguchi analiz stratejisinde önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü Taguchi diğer veri tiplerinin analizi için de AA analizi kullanılmasını önermektedir.[125]

3.9 TAGUCHİ YÖNTEMİ UYGULAMA ADIMLARI

Peace, iyi yürütülen ve organizeli çaba ile yeniden üretilebilir sonuçlar elde etmek amacıyla başarılı bir deney yapmak için dikkatli planlama ve sağlıklı uygulama gerektiğini söylemektedir. Ona göre bir deneyi tam anlamıyla yapmak için gerekli adımlar dört ayrı aşamada kategorize edilebilir:[126]

1. Deney planlama,
2. Deney tasarlama,
3. Deneyi gerçekleştirme,
4. Deneyin analizini yapma.

Bu dört aşama, Şekil 3.18'te özetlenmiştir. Peace kitabında bu deneme adımlarını detaylı bir şekilde anlatmaktadır.

---

[124] M.Hamada, C.F.J.Wu, "Response", **Technometrics**, May 1990:159-162, Vol.32, No.2, s.159

[125] A.e.

[126] Peace, a.g.e., s.10

Deneysel tasarımın başlangıcından sonuçların elde edilmesi ve bunların yorumlanmasına kadar izlenen temel adımlar aşağıda özetlenmektedir:[127]

Adım 1: Çözülecek problemin ortaya konması. Problemin iyi anlaşılması deneyin kurulabilmesinde çok önemlidir. Problemin ifadesi spesifik olmalı; eğer çok sayıda yanıt varsa bunlar belirtilmelidir.

Adım 2: Deneyin amacının belirlenmesi. Bu performans karakteristiklerinin (ölçülebilir olması tercih edilir) ve deney tamamlandığında gereksinim duyulan performans seviyesinin tanımlanmasını içerir.

Adım 3: Ölçme yöntemlerinin belirlenmesi. Deney yönlendirildikten sonra performans karakteristiklerinin nasıl tayin edileceği hakkında bir fikir oluşturulur. Ölçme sistemi, kendisinin doğruluğunu ve duyarlılığını geliştirmek için ayrı bir deneye gereksinim duyabilir.

Adım 4: Performans karakteristiklerini etkileyeceğine inanılan faktörlerin belirlenmesi ve listelenmesi. Ürün ve prosesle ilgili kişilerden bir grup kurulur. Beyin fırtınası, akış diyagramı veya balıkkılçığı diyagramı, incelenecek faktörlerin yaratılmasında yardımcı olurlar. Eğer bu ilk deney ise, sonuçları etkileyeceği düşünülen bir çok faktör dahil edilebilir.

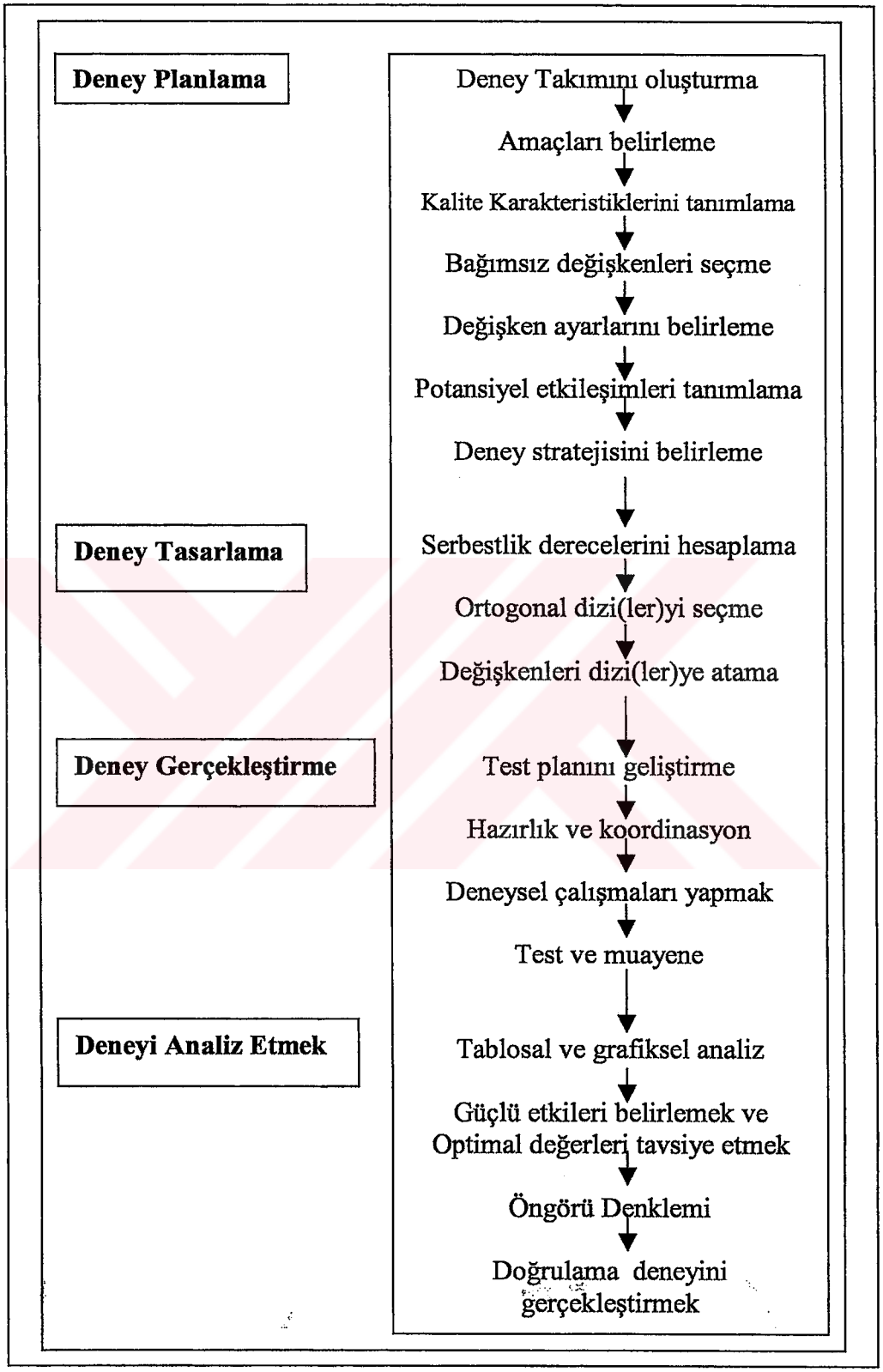
Adım 5: Faktörlerin kontrol ve gürültü faktörleri olarak ayrılması. Bu, temel parametre tasarımı stratejisidir ve neden araştırma veya tolerans tasarımı yaklaşımı yerine kullanılabilir.

Adım 6: Tüm faktörler için seviye sayısı ve değerlerinin belirlenmesi. Gerekli toplam serbestlik derecesi, faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. İlk deney için seviye sayısı düşük tutulmalıdır; eğer olanaklı iki seviye tanımlanmalıdır.

Adım 7: Etkileşebilecek kontrol faktörlerinin belirlenmesi. Bu etkileşimler, serbestlik derecelerini kullanırlar ve aynı zamanda deneyin büyüklüğünü belirleyebilirler. Strateji, deney büyüklüğünü sadece faktörlere göre seçmek olabilir; faktörler atandıktan sonra eğer boş sütün kalırsa bu sütunlara da ilgilenilen etkileşimler yerleştirilebilir.

---

[127] Ross, a.g.e., s.103



Şekil 3.18 Deneme Adımları[128]

[128] Peace, a.g.e., s.11

Adım 8: Kontrol faktörleri ve etkileşimleri için gerekli doğrusal grafiğin çizilmesi. İstenen faktörler ve etkileşimleri, seçilen ortogonal diziyi etkileyebilirler.

Adım 9: Ortogonal dizilerin seçilmesi. Ortogonal diziler –iç veya dış- faktörlerin veya doğrusal grafiğin gereksinim duyduğu serbestlik derecelerinin bir fonksiyonudur.

Adım 10: Faktörlerin ve etkileşimlerin sütunlara atanması. Ortogonal dizi için doğrusal grafiğin, gereksinim duyulan forma uyması için değiştirilmesi gerekebilir. Ayrıca, bir sütun için seviye sayısının da değiştirilmesi gerekebilir. İç ve dış diziler aynı derecede önemli olabilirler; fakat, dış dizi –sadece deneyde kontrol edilen gürültü faktörlerini içerdiği için- iç dizi kadar karmaşık olmayabilir.

Adım 11: Deneyin yönlendirilmesi. Deneme veri formları, deneme için uygun seviyelerin seçilmesinde hata çıkması olasılığını azaltmak için, uygun bir şekilde düzenlenmeli ve deney sırasında rassallaştırma stratejileri kullanılmalıdır.

Adım 12: Verilerin analiz edilmesi. Verilerin analizi için birçok yöntem vardır: Gözlem yöntemi, sıralama yöntemi, sütun etkisi yöntemi, ANOVA, SN ANOVA, ortalama grafikleri, etkileşim grafikleri, vb eğer bir hata yüzünden deneyin dengesi bozulursa, verilerin analizinde bu durum dikkate alınmalı veya hata düzeltmek için deneme yeniden yapılmalıdır.

Adım 13: Sonuçların Yorumlanması. İlgilenilen performans karakteristikleri açısından hangi faktörlerin etkili, hangilerinin etkisiz olduğunun belirlenmesidir.

Adım 14: En büyük etkiye sahip kontrol faktörleri için eniyi seviyelerin seçilmesi. Etkili faktörler, seviyelerinin belirlenmesi ve kontrol edilmesi gereken faktörlerdir. Etkisiz faktörler ise, en düşük maliyetli seviyelerine ayarlanabilir.

Adım 15: Doğrulama deneyinin yapılması. Bu, önemli faktörler olarak seçilen faktörlerin ve seviyelerinin beklenen sonuçları sağlayıp sağlamadığını gösterir. Doğrulama deneyi sırasında, etkili olmadığı düşünülen faktörlerin ekonomik seviyeleri kullanılır. Eğer sonuçlar beklenildiği gibi olmazsa, önemli bir faktörün veya faktörlerin gözden kaçmış olması söz konusu olur

Adım 16: Eğer deneyin amaçlarına ulaşılamamışsa ve doğru olduğu kanıtlanmış verilerle eniyilemeye devam edilmesi olanaklı ise Adım 4'e dönülür.

Diğer bir çalışmaya göre deneysel tasarımda izlenecek adımlar aşağıda birer alt başlık altında açıklanmaktadır.[129]

3.9.1 Çalışma Ekibinin Kurulması

Deney varolan bir ürünün (üretim prosesinin) kalitesini geliştirmek için yapılmak istenirse, seçilen ürün (üretim prosesi) hakkında her türlü bilgi elde edilmelidir. Seçilen ürün hakkında bilgi elde etmek için hurda, yeniden işleme, garanti ve yeniden işleme maliyetleri ile en önemli olarak müşteri şikayetleri ve pazarlama bölümünün önerileri göz önüne alınmalıdır. Yeni bir ürünün (üretim prosesinin) geliştirilmesi söz konusu olduğunda pazarlama bölümünden alınan bilgiler (müşteri istek ve gereksinimleri) çerçevesinde çalışmalara başlanır.

Çalışmanın yapılacağı ürün (üretim prosesi) belirlendikten sonra deneyi yürütecek ekip oluşturulur. Çalışmanın başarılı olmasındaki önemli koşullardan biri de deney ekibinin çalışmanın en başında kurulmasıdır. Yönetimin bu çalışmaya desteği sadece gerekli malzemeyi sağlamak değil, aynı zamanda, yeterli süreyi de vermesi açısından önemlidir. Çalışmanın yapıldığı işletmedeki tüm ilgili personele bilgi verici rapor gönderilerek herkesin yapılacak toplantılara katılımı sağlanabilir. Bu raporlarda maliyetlerde planlanan azalmalardan söz edilmesi katılımı arttıracaktır. Üst yönetimin bu çalışmayı desteklediğini göstermesi çalışmanın sürekliliği açısından önemlidir.[130]

Çalışma ekibinden en az bir kişi Taguchi yöntemi ile ilgili yeterli bilgi ve deneyime sahip olmalıdır. Taguchi yöntemi uzmanı, bir istatistik uzmanı ya da bir deney tasarımcısı bu kişi olabilir. Bunun dışında, ürün hakkında teknik bilgiye sahip olanlar (mühendisler, ustabaşı gibi), bir pazarlama uzmanı, üretimden sorumlu mühendis, kaliten sorumlu mühendis, tasarım mühendisi, bir istatistik uzmanı ve bu kişilerin yönlendirmesiyle deneyi yapacak olan işçi(ler) çalışma ekibini

---

[129] Cafer Çelik, "Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistematik Bir Yaklaşım", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Anadolu Ünivesitesi, Fen Bilimleri Enst., 1993, s.111

[130] Çelik (1993), a.e, s.112

oluşturabilirler. Deney yapılacak ürünün yeni bir ürün ya da varolan bir ürün olmasına göre çalışma ekibini oluşturanlarda değişlikler yapılabilir.[131]

Yeni bir ürün/proses geliştirme vakasında, çalışma hiçbir araştırma yapmadan yürütülür. Eğer çalışma var olan bir ürünle ilgiliyse "bu ürün nasıl seçilmelidir" sorusu cevaplandırılmalıdır. Genellikle seçim; hurda maliyetine, tekrar işlemeye, garantiye, servis ve ürünle ilgili müşteri şikayetlerine bağlıdır.

Problem üzerine bir kez karar kılındığında çalışmayı yürütecek ekip oluşturulur. Ekip genellikle problemle ilgili uzman, deneyi tasarımlayan uzman, üst yönetim temsilcisi ve deneyi yürütecek insanlardan oluşur.

3.9.2 Amaçların Belirlenmesi

Çalışma ekibi tarafından amaçların belirlenmesinden önce ürün (üretim prosesi) hakkında temel bilgiye sahip olmak etkili bir deney planlaması için esastır. Bu temel bilginin bir kısmı çalışma ekibinin toplantılarda bilgilerini diğer ekip elemanları ile paylaşmaları sonucunda elde edilebilir. Bu tip toplantılarda verimsiz ve amaçsız tartışmaları engellemek için etkili bir araç olan beyin fırtınası yöntemi kullanılabilir. Beyin fırtınası yöntemi alternatif çalışma amaçları listenin oluşturulmasında çok yardımcı olabilir. Çalışma ekibi bu listeden en uygun olanını seçer. Ekip içindeki toplantılarda rahat bir atmosfer yaratarak tüm elemanların katılımı sağlanır, böylece elemanların düşünce boyutları genişletilebilir. Genelde, birden fazla beyin fırtınası toplantısı yapılması önerilir, çünkü kişiler her toplantıda değişik fikirler ile gelebilir. Diğer dikkat edilmesi gereken bir konu da, kişilerin fikirlerini kötü ya da iyi gibi sıfatlarla nitelendirmeden herkesin fikrini rahat bir şekilde anlatabilmesini sağlamaktır. Bu durum toplantıların verimini arttırabilir ve etkili amaç(lar) belirlenebilir.[132]

Ürün (üretim prosesi) hakkında beyin fırtınası toplantılarında yeterli bilgi elde edilemezse çalışma amacının belirlenmesi zorlaşır. Bu durumda ürün hakkında daha fazla bilgi elde etmek için Pareto diyagramı, akış diyagramı, neden sonuç diyagramı gibi araçlar kullanılabilir. Yeterli bilgi elde edildikten sonra çalışma amaç(lar)ı tüm

---

[131] A.e.

[132] Çelik (1993), a.e., s.113

ekibin katılımı ile belirlenebilir. Amaç belirlenirken dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da bir deney ile tüm problemlerin çözülmeye çalışılmamasıdır. Ulaşılabilecek bir hedef üzerinde odaklanarak, aşama aşama amacın büyütülmesi, başarısızlığa engel olur. Böylece, çalışmanın başlamadan bitmesi ve hayal kırıklığı yaratması önlenir.[133]

3.9.3 Performans Karakteristiklerinin ve Ölçüm Sistemlerinin Belirlenmesi

Çalışma ekibi tarafından amaç(lar)ın belirlenmesinden sonra başarının ölçülebilmesi için anlamlı performans karakterestik(ler)inin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi gereklidir. Performans karakteristiklerinin belirlenmesi deney sonuçlarını etkileyebildiği için üzerinde önemle durulmalıdır. Uygun bir performans karakteristiği ve ölçüm sistemi seçilirken bir çok 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.[134]

Bir ürünün bir veya birden fazla performans karakteristiği olabilir. Dolayısıyla performans karakteristiklerinin seçimi önemlidir. Müşteri bakımından önemli olanlar seçilmelidir. Bunlar kalite fonksiyonu yayılımı (QFD) ve tasarım kontrolü aracılığıyla saptanır. Bunlar çalışmanın özünü oluştururlar. Ölçüm sisteminin saptanması bu aşamanın ikinci bölümüdür. Karakteristikler değişik ölçü sistemlerinin kullanımını gerektirebilirler.

3.9.4 Performans Karakteristiklerini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması

Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde en etkili yollardan biri çalışma ekibinin kendi arasında beyin fırtınası toplantıları yapmasıdır. Beyin fırtınası toplantıları ile performans karakteristiklerini etkileyebilecek faktörlerin listesi çıkarılır. Faktör listesinin geliştirilmesinde beyin fırtınası

---

[133] A.e.

[134] Çelik (1993), a.e., s.114

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

toplantılarından başka Pareto diyagramı, akış diyagramı, neden sonuç diyagramı gibi ürün (üretim prosesi) hakkında bilgi veren araçlardan da faydalanılabilir.

Faktör listesi hazırlandıktan sonra önerilen tüm faktörler gözden geçirilerek, önemli olan faktörler çalışmaya dahil edilirken bir kısmı da sonraya bırakılır. Önemli olduğuna inanılan faktörler hakkında tüm ekip elemanları fikirlerini söylerler ve bunlar için oylama yapılır. Aldıkları oylara göre tüm faktörler sıralandırılır. Sıralamaya itirazı olanlar, nedenleriyle beraber fikirlerini diğer elemanlarla tartışırlar ve oylama yinelenir. Tüm ekip elemanlarının onayı alınan faktörler performans karakteristiklerini etkileyen faktörler olarak kabul edilir.

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.

3.9.5 Kontrol ve Gürültü Faktörlerinin Seviyelerinin Belirlenmesi

Parametre tasarım aşamasının önemli bir görüşü, ele alınan kontrol faktörleri ve gürültü faktörlerinin seçimidir. Kullanılan gürültü faktörlerinin tatminsizliklere neden olan gerçek değişkenlikleri gösterdiği esastır. Gürültü faktörleri, sistem performansında değişikliklere neden olan, fakat normal kullanımda kontrol edilemeyen faktörler olarak tanımlanırlar.[135] Kontrol faktörlerinin seçimi de aynı zamanda çok önemlidir. Seçilen kontrol faktörleri gürültüye göre etkilerin enküçüklenmesi ile tasarımdaki robustluğu gösterme kabiliyetine sahip olmalıdır. Kontrol ve gürültü faktörleri verildiğinde, kalite performans istatistiği ve çapraz ortogonal dizi kullanan tasarım deneyleri tanımlanabilir.

3.9.6 Potansiyel Etkileşimlerin Belirlenmesi

Etkileşimlerin performans karakteristikleri üzerinde önemli etkileri olabilir. Taguchi etkileşimi önemsiz olarak görür. Çünkü onu sağlamak için deneycinin iki ana etkiyi kontrol etmesi gerekir. Bir ürün için bir veya birden fazla ana etkinin

genellikle kontrol edilmesi gerektiğinden, etkileşimler hiçbir ek komplikasyon yaratmazlar. Taguchi ve Wu'ya göre etkileşimleri iyileştirmek için aşağıdaki gibi teknikleri vardır:[136]

1. Performans karakteristiğini katkıya dönüştür.
2. Kontrol faktörleri ile seviyeleri arasındaki ilişkiyi incele ve onları ayarla.
3. Sınıflandırılmış veri için akümülasyon analizi gibi bir analiz yöntemi kullan.

Ancak deney, tasarımcının gerektiği dikkati göstermemesi veya bilgi sahibi olmaması olanaklıdır. Gerekli zaman ve maliyet oldukça yüksek olduğundan etkileşim etkilerinin tümünü deneye sokmak olanaklı değildir. Diğer taraftan belirli sayıda önemli etkileşim etkisini dahil etmek başarı olasılığını arttıracaktır.

3.9.7 Uygun Ortogonal Dizilerin Seçilerek Atamaların Yapılması

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.[137]

Ortogonal dizilerin sağladığı ekonomik yol sayesinde eş zamanlı olarak ürün ortalama ve varyansına ait çok sayıda değişken üzerinde çalışma yapılabilir. İki farklı değişken grubu için (kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri) iki farklı ortogonal dizi seçilecektir. Deneysel tekniklerin istatistiksel tasarımını kullanmak suretiyle uygun alt kümelerin kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri temsil etmesi sağlanabilir. Taguchi'nin önerisine göre deney optimizasyonunun planlaması için ortogonal diziler kullanılmalıdır. Çok sayıda kontrol faktörlerinin varlığı ve etkileşim

---

[135] A.M.Connor, "Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods", **Journal of Engineering Design**, Vol.10, No.4, 1999, 377-390, s.381

[136] Cafer Çelik, Nimetullah Burnak, "A systematic Approach to the Solution of the Design Optimization Problem" , **Total Quality Management**, Feb 98, Vol.9, No.1, s.101-109

[137] J.L.Lin., K.S.Wang, , B.H.Yan,., Y.S.Tarng, "Optimization of the Electrical Discharge Machining Process Based on the Taguchi Method with Fuzzy Logics", **Journal of Materials Processing Technology,102**, 2000;48-55, s.50

etkilerinin devreye girmesi ortogonal dizilerin seçilmesi ve kontrol faktörlerinin sütunlara atanması konusunda çok dikkatli bir seçimini gerektirir. Kontrol faktörleri matrisinin inşasında hedef en çok bilgiyi en az deneme ile elde etmektir.[138]

Kontrol faktörleri seviyelerinin sayısına ve deneye dahil edilen serbestliğin derecesine dayanarak; ya standard bir ortogonal dizi seçilir veya seçilmiş ortogonal dizide bazı değişiklikler yapılır. Ortogonal dizinin sütunlarına kontrol faktörlerinin ve etkileşim etkilerinin dahil edilmesi problem grafiğine uyacak seçilmiş ortogonal dizinin standard doğrusal grafiğinin manipülasyonu suretiyle elde edilir. Gürültü faktörleri sırası serbestlik derecelerinin tespit edilmesi ve gürültü faktörlerinin seviye sayılarını göz önünde bulundurmak suretiyle seçilir ve sütunlara rassal olarak ataması yapılır.

Böylece, kontrol faktörleri ve gürültü faktörlerine ait iki ayrı diziyi birleştirmek suretiyle tasarım eniyileme modeli oluşturulur. Deneyin zaman ve maliyet sınırlamaları değerlendirilir. Eğer yapılabilir ise izleyen aşama gerçekleştirilir. Aksi takdirde deneyin büyüklüğünü ve maliyetlerini düşürmek için gerekli adımlar atılır.

3.9.8 Taguchi Kayıp Fonksiyonu ve Performans İstatistiklerin Belirlenmesi

Optimal kontrol faktörleri ayarlamasını belirlemek için, kalite kayıp fonksiyonu veya performans istatistiği (gürültü oranını gösterir) gibi eniyilenen kriterlerin spesifikasyonu gerekmektedir. Geliştirme prosesi esnasında, birden fazla performans karakteristiği olabilir. Eğer böyleyse, performans karakteristiklerinin özellikleri göz önüne alınmak suretiyle kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistikleri seçilir.

Deneylerden elde edilen verilerin analizi performans istatistiklerine göre ve/veya ortalamaya göre gerçekleştirilir. Performans karakteristiklerinin yanlış seçimi optimal kontrol faktörleri seviyelerinin saptanmasında yanlışlığa yol açar ve sonuçta başarısız olur.[139]

---

[138] Çelik, Burnak (Feb 98), a.g.e., s.101-109

[139] A.e.

3.9.9 Deneyin Hazırlanması

Deneyin planlamasına ve tasarımına gösterilen özen deneyin yapılmasına da gösterilmelidir. Deneyin gerçekleştirilmesi için proses ve deney donanımı, hammadde ve deneye katılan ekip yerinde deneyin başlamasında ve tamamlanmasında hazır olmalıdır. Deneyde uygun malzeme ve donanım kullanılmalıdır. Aksi takdirde, deneyin bütünlüğü tehlikeye girebilir. Deneyde kullanılan malzeme ve donanım elde hazır ise sadece kontrol edilir, ama değil ise, sürelerine göre deneyden önce siparişi verilerek, hazırlanır. Deney amaçlarına uygun malzeme ve donanımın kullanıldığının kontrolü çalışma ekibi tarafından yapılır. İşi yapan ve denetleyen elemanlarda deneyden önce hazır olmalı ve bu elemanların deneyin hazırlanması ile ilgili önerileri dikkate alınmalıdır, çünkü bu elemanlar deneyi en iyi bilen kişileridir. Deney yapılmasında son olarak uygun proses, donanım ve ölçüm aletleri kurularak işe başlanması için program yapılır. İlgili programın tamamlanmasından sonra deney programlandığı şekilde yapılmaya hazırdır. Hazırlanan bu programa göre son kontroller yapılır ve gözden kaçan eksikler varsa deney başlamadan önce tedarik edilir. Böylece, hammadde partileri arasındaki farklılıklar önlenerek, deneyin yanlış sonuçlar vermesi önlenir.[140]

3.9.10 Deneylerin Yapılması ve Kontrol Faktörlerinin Eniyi Değerlerinin Bulunması

Tasarım eniyileme deneyi, iki yöntemden biriyle yapılır: Fiziksel deneyler ve bilgisayar simülasyonları. Her bir yöntem için kontrol faktörlerinin bir kombinasyonu, gürültü faktörlerinin tüm kombinasyonlarıyla değerlendirilir ve gözlemlenen sonuçlar, modelin uygun alanlarına kaydedilir. İşlem her zaman sabit kalmayacağı için, deneylerin sırası rassal olarak seçilmelidir. Ayrıca, deneysel sonuçları tam olarak değerlendirmek için deneysel koşullar da kaydedilmelidir.

Tasarım eniyileme değerlerinin amaçlarından birisi değişebilirliği azaltmaktır. Diğeri ise ortalamayı hedef değerine değişkenliği etkilemeksizin ayarlamaktır. Bu amaçlara ulaşmak için ortalama ve performans istatistikleri tasarım modellerindeki kontrol faktörlerinin her bir kombinasyonu için hesaplanır. Kontrol faktörlerinin

[140] Çelik (1993), a.g.e., s.122

performans istatistikleri ve/veya ortalamalar da olan etkisini değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) yapılır ve yüzdesel katkılar hesaplanır. Dolayısıyla kontrol faktörleri üç kategoride sınıflandırılabilir.[141]

1. Performans istatistikleri üzerinde önemli etkisi olan kontrol değişkenleri
2. Ortalama üzerinde önemli etkisi olan ancak performans istatistikleri üzerinde hiç etkisi olmayan ayarlama değişkenleri
3. Ne performans istatistiklerini ne de ortalamayı etkileyen geriye kalan değişkenler.

Kontrol faktörlerinin seviyeleriyle ilgili analiz sonuçları işaretlenir. Böylece etkiler görsel olarak açıklanır ve kontrol faktörlerinin nereye kurulacağı anlaşılır. Eniyileme prosedürü değişiktir. Performans istatistiklerine göre en iyi durum nominal durumdur. Taguchi yöntemleri iki basamaklı prosedürü aşağıdaki gibi kullanırlar:

1. Hesaplanmış performans istatistiklerini kullanarak kontrol değişkenlerini ara. Bu değişkenleri analizin en küçük değişkenlikleri öngördüğü seviyelerde kur (En büyük performans istatistiği)
2. Hesaplanmış örnek ortalamaları veya toplamlarını kullanarak ayarlama değişkenlerini ara; uygun değişkenlerin seviyesini ayarlayarak örnek ortalamasını hedef değerine getir.

Birinci adımda değişkenlik azaltılır. İkinci adımda ise kesinlik arttırılır.

Daha küçük daha iyidir durumunda Taguchi Yöntemi aşağıdaki tek basamaklı prosedürü uygulayarak toplam varyansı azaltır. Hesaplanmış performans istatistiklerini kullanarak toplam varyansı etkileyen kontrol faktörleri araştırılır. Bu kontrol faktörleri, analizin en düşük ortalama kareli sapmayı öngördüğü seviyelere göre belirlenir (En büyük performans istatistiği).

Daha büyük daha iyidir durumunda kontrol faktörleri performans karakteristiklerini daha küçük daha iyidir karakteristiğine değiştirmek için karşılıklı transformasyon kullanır ve tek basamaklı prosedürü uygulayarak toplam varyansı azaltır.

---

[141] Çelik, Burnak (Feb 98), a.g.e., s.101-109

Farklı performans karakteristikleri arasında çelişki olduğu zaman anlaşma sağlanır ve eniyi değerler ondan sonra seçilir. Eğer kontrol faktörlerinin seviyeleri deneye dahil edilmemişse eniyi kombinasyona ait performans değerleri ve bunların güven aralıkları öngörülür.

İster fiziksel deneyler, ister bilgisayar ile benzetim yolu seçilsin izlenen yol hemen hemen benzerdir. Seçilen kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri kombinasyonları tek tek deneye alınarak değerlendirilir ve sonuçları kaydedilir. Etkileşimler kontrol faktörlerinin seviyelerine bağlı oldukları için deneyin yapılmasında test stratejisini gösteren belgelerde sadece kontrol faktörleri bulunur.

Değişik düzeylerde kontrol faktörleri kombinasyonundan oluşan her bir test, deney sırasında değiştirilerek sonuçları etkileyen ve daha önceden bilinmeyen ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı korunabilmesi için, rassallaştırılır. Rassallaştırma birçok şekilde yapılabilmesine rağmen en çok şu üç yöntem kullanılmaktadır.[142]

1. Tam rassallaştırma
2. Basit tekrarlama
3. Bloklar içinde tam rassallaştırma

Tüm seçeneklerin eşit seçilme hakkına sahip olmasına tam rassallaştırma denir. Deneylerin yapılma sırası rassal numara tablosu, rassal numara yaratıcısı ya da çekilişle belirlenir. Tam rassallaştırmada da çeşitli stratejiler uygulanabilir. Her deneyin birden çok tekrarı varsa, bütün deneyler bir defa yapıldıktan sonra ikinci tekrarlar rassal olarak seçilebilir, ya da tüm deneyler tekrar sıralarına dikkat edilmeden seçilebilir.

Basit tekrarlamada tüm deneyler eşit seçilme hakkına sahip, fakat seçildikten sonra bu deneyle ilgili tüm tekrarlar yapılmaktadır. Her bir deneyin kurulması ve değiştirilmesi zor ve çok maliyetli ise bu yöntem önerilir.

Herhangi bir kontrol faktörünün kurulması ve değiştirilmesi çok zor ya da maliyetli iken diğerlerininki ise, değiştirilmesi zor kontrol faktörünün seviye sayısına göre deney bloklara ayrılır. Bu faktörün her bir seviyesine bağlı deneyler rassal olarak seçilir. Bu kontrol faktörünün ilk seviyesindeki deneyler tamamlandıktan

---

[142] Çelik (1993), a.g.e., s.123

sonra diğer seviyesindeki deneyler rassal olarak seçilir. Bu şekilde tüm deneyler bloklar halinde tamamlanır.

Pratik olarak, deneyin ortogonallığını korumak için bir deneyin en az bir defa test edilmesi gerekir. Her deneyin birden fazla test edilmesi deneyin duyarlılığını arttırarak ana kütle ortalamasındaki küçük değişkenliklerin belirlenmesine yardımcı olur. Yapılan deneyler çok maliyetli ve zor ise herbir deneyin tek testi yeterlidir, ancak deneyler kolay ve ucuz ise birden çok test yapılması deneyin güvenirliğini arttırması açısından önemlidir. Deneyde kullanılan faktörlerin her bir kombinasyonu için elde edilen verilerin ortalaması, varyası, performans istatistikleri bulunur. Gerekli hesaplamalar yapılarak her bir faktörün performans karakteristiği üzerindeki etkileri belirlenir. Ayrıca incelemeye değer kontrol faktörlerinin belirlenmesinde F-testi ve katkı yüzdesi kullanılabilir.

Performans istatistiği ve faktör grafikleri en iyi faktör seviyelerinin bulunmasında temel araçlardır. Her bir faktörün seviyeleri için SN oranı değerleri hesaplanır ve en yüksek değere sahip seviye seçilir. Bu işlem tüm faktörler için tekrarlanarak eniyi faktör kombinasyonu oluşturulur. Grafikler, faktör etkilerinin ve varsa etkileşimlerinin etkisi görsel olarak belirlenmede kullanılabilir. Faktör seviyeleri arasındaki farkların ve etkileşimlerin belirlenmesinde daha kolay olması nedeni ile faktör grafikleri tercih edilir.

Performans istatistiğinin özelliğine göre kullanılan eniyileme prosesi de farklı olur. Tüm proseslerin ortak yönü, performans istatistiğini maksimize eden kontrol faktör seviyelerinin eniyi ürün ya da üretim prosesi faktör seviyeleri olarak belirlenebilmesidir.

Eniyi kontrol faktör seviyeleri farklı performans karakteristikleri için farklı sonuçlar vererek çelişkiye neden olabilir. Bu çelişkiyi azaltabilmek için kontrol faktörlerinin her seviyedeki değerleri, performans istatistikleri, performans karakteristikleri, maliyetler ve işlemin zorluğu gibi ölçüler göz önüne alınarak bir tablo oluşturulur. Bu tablodaki değerlere göre ödünleşim yapılarak son genel bir değerlendirme yapılır ve kontrol faktörlerinin eniyi değerleri seçilir.

Kontrol faktörlerinin eniyi değerleri bulunduktan sonra bu değerler ile öngörülen ortalama performans değeri belirlenir. Böylece, gerçek deney yapılmadan önce performansın alabileceği ortalama değer hakkında bilgi elde edilebilir.

Ortalama performans değerini bulmak için μ denklemi kullanılır. Bu denklem, kontrol faktörlerinin belirlenen eniyi değerlerinde ortalama performansın bir öngörüsüdür ve performans karakteristinin toplanabilme özelliğine dayanmaktadır. Denklem,

μ=Tüm deneylerin ortalaması($\bar{T}$)+ Σ(Eniyi kontrol faktörü değerinin ortalaması- $\bar{T}$) şeklindedir.[143,144]

İki kontrol faktörünün etkisi araştırıldığı bir deneyde $\bar{A}_2$ ve $\bar{B}_3$ en iyi kontrol faktörü değerlerinin ortalaması olmak üzere performans ortalaması,

$$\mu = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_3 - \bar{T}) \text{ ya da } \mu = \bar{A}_2 + \bar{B}_3 - \bar{T} \qquad (3.14)$$

şeklinde ifade edilir.

Öngörülen ortalama performans değerinin bulunmasında kontrol faktörlerinin sayısı fazla değil ise tümü kullanılabilir. Öngörülen ortalama performans değerinin bulunmasında diğer bir yol ise ortalama veriler üzerinden varyans analizi yapılarak F testi değeri ikiden büyük olan kontrol faktörlerinin ya da F testine göre belirli anlam düzeyinde etkili olan kontrol faktörlerinin kullanılmasıdır. Ayrıca, çok fazla kontrol faktörünün olduğu durumlarda da daha etkili olduğu bilinen kontrol faktörlerinin yaklaşık yarısı öngörülen performans değerinin bulunmasında kullanılabilir.

3.9.11 Doğrulama Deneyinin Yapılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneylerin tasarımında bazı varsayımlar yapılır. Yanlış varsayımları engellemek için doğrulama deneyleri yürütülür. Eğer sonuçlar saptanan güvenli aralıkların dışına düşerse nedenler aranır ve gerekli tedbirler alınır. Aksi takdirde varsayımlar doğru olarak kabul edilir. Eniyi tasarım değerleri ve başlangıç tasarım değerlerine ait sonuçlar karşılaştırıldığında, eğer önemli bir ilerleme varsa o takdirde deney tatmin edicidir; aksi takdirde iyileştirme için yeni arayışlara girilir.

Aşağıdakilerden bir veya birkaçı doğrulama deneyi sonuçlarının güvenli aralıklar dışına düşmesine neden olabilir.

- Deney ve/veya ölçümler sırasında bazı hatalar yapılabilir

[143] Ross, a.g.e., s.118

[144] Çelik (1993), a.g.e., s.126

- Kontrol faktörleri ve gürültü faktörlerinden bazıları deney dışında bırakılmış olabilir.
- Bazı önemli etkileşimler vardır ve bunlar deney dışı bırakılmıştır.
- Performans karakteristikleri yanlış olarak seçilmiştir.

Eğer deneydeki etkileşim etkilerini değerlendirmek ve incelemek olası değilse o zaman 3.9.6'daki iyileştirmeler uygulanır. Şayet hala problemler varsa, analiz 3.9.3'e dönülerek performans karakteristikleri ve ölçüm sistemi yeniden belirlenir ve analize devam edilir.[145]

Tasarım eniyileme problemini tanımlamadaki adım önceki aşamalarda belirlenmiş, optimal kurgular etrafındaki toleransları saptamaktır. Önceki aşamalara parametre tasarımı denir. Şayet parametre tasarım yaklaşımı yetersiz kalırsa, ürün kalitesini geliştirmek için tolerans tasarım yaklaşımı yürütülmelidir. Bir üründeki tüm kontrol faktörleri toleranslarını sıkılaştırmak yerine, hangi toleransların sıkılaştırılacağı hangilerinin gevşetileceği saptanmalıdır. Performans karakteristikleri üstündeki en etkili kontrol faktörlerine ait varyanslar ek maliyetle azaltılır. Çalışma, yeterli gelişme sağlandığı sürece devam ettirilir. Ek maliyetlerinin değeri bir kayıp fonksiyonu kullanılmak suretiyle belirlenir.

Yukarıda açıklanan aşamalar başarılı bir şekilde tamamlandıktan sonra, geliştirmenin gerekliliği araştırılır. Masraflar ve kazançlar, kalite ve maliyet bazında değerlendirilir. Değerlendirme uzunca bir zaman periyodunu kapsamalıdır. Çalışanlar ve müşteriler ve bunlarla birlikte rakipler üzerinde beklenilen gelişmenin yarattığı etkiler rapor edilir.

3.10 TAGUCHİ YÖNTEMİNİN İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL VE DİĞER KLASİK DENEY TASARIM YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Taguchi Yönteminin uygulanması, uygun istatistiksel tasarım ve analiz yöntemlerinin kullanılmasına dayanır. Diğer yöntemlerle anlaşmazlık en çok bu "uygun" kelimesinin anlamında çıkmaktadır. Bununla birlikte, Taguchi yöntemi bir çok yönden ne yeni ne de radikal bir yöntemdir. Diğer istatistiksel yöntemlerle

[145] Çelik, Burnak (Feb 98), a.g.e., s.101-109

Taguchi yöntemi arasında farklar olduğu gibi benzerlikler de vardır. Örneğin Taguchi, bir çok kontrol faktörünün aynı anda etkisini araştırmanın duyarlı yolu olarak çok değişkenli istatistiksel tasarım yönteminin kullanımını savunmuştur. Her defasında tek bir değişkenin değiştirilip diğerlerinin sabit tutulduğu deneyleri verimsiz bularak kabul etmemiştir. Bu durum diğer istatistikçiler tarafından da yıllardır savunulan bir konudur.

Klasik yöntemlerde performans karakteristiğinin sadece ortalaması ile ilgilenilir ve sadece ortalama, hedef değere getirilmeye çalışılır. Taguchi yönteminde ise SN oranı kullanılarak hem ortalama hem de değişkenlik eniyi değere getirilmektedir. Taguchi yönteminde ortogonal diziler kullanılarak diğer klasik yöntemlere göre (özellikle tam faktöriyel dizilere göre) çok daha az deney ile daha fazla bilgi elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra özellikle maliyetlerde çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, Taguchi yönteminde gürültü faktör matrisi kullanılarak, dış faktörlerin kontrol edilmesi yerine, dış faktörlerden etkilenmeyen kontrol faktörlerinin değerleri bulunabilmektedir. Klasik yöntemde ise duyarlılık analizi, varyans parça analizi gibi yöntemler kullanılmaktadır.[146]

Taguchi yöntemi diğer klasik deney tasarım yöntemlerine göre uygulama yönünden daha basit ve anlaşılırdır. İstatistik uzmanı ya da uzman olmayan kişiler için de Taguchi yönteminde izlenecek yollar açıktır. Taguchi yönteminin diğer bir avantajı da laboratuvar ortamında elde edilen eniyi kontrol faktörleri kombinasyonunun üretim ortamında da aynı başarılı sonucu vermesidir.[147]

Taguchi yönteminin uygulanmasının odak noktası müşteridir. Müşterinin istediği kalite, aranan kalitedir ve bu kaliteden kaynaklanan değişkenlikler sadece müşteriler için değil, aynı zamanda işletme ve toplum için de büyük kayıptır. Hedef değerdeki her bir *birim değişkenliğin* bir bedeli vardır. Bu nedenle deney tasarımında değişkenliğin enaza indirilmesi temel hedeflerden biridir. Buna ulaşılırken maliyetler de göz ardı edilmemelidir.[148]

---

[146] C.Hakan Kağnıcıoğlu, "Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması", Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1998, s.109

[147] Kağnıcıoğlu, a.e., s.110

[148] A.e.

Yapılan bazı çalışmalar Taguchi yönteminin görünüşte takip edilemez bir incelemeyi ele alarak, Taguchi yönteminin yararlı olduğunu ancak bir kaç çok önemli engeli de açıkladığını ortaya koymaktadır. Bunlardan bir tanesi de yöntemin sadece faktör seviyelerindeki varyasyona duyarlığıdır. Diğer bir özellik de problemler, bir modelin faktör içeren bir duruma uydurulmasından dolayı ortaya çıkabileceği bir durumdan dolayı, bu faktör (örneğin sıcaklık), doğrusal olmayan yüksek etkileri ve etkileşimleri olan bir faktördür. Dolayısıyla bu yöntem çeşitli faktörleri içeren deneylerin yürütülmesinde güçlü ve etkili bir yöntemdir. Fakat taşıdığı eksiklik, deneycinin faktör ve seviyelerinin seçiminde özen göstermesini ve sonuçları dikkatle değerlendirmesini gerekli kılmaktadır.[149]

3.11 TAGUCHİ YÖNTEMİNE ELEŞTİRİLER

Taguchi Yaklaşımının analiz yöntemi basit ve çaprazlanmış dizi kavramıyla bağlantılıdır. Taguchi nadiren kontrol faktörleri arasındaki etkileşimleri ele almaktadır. Taguchi tarafından ortaya konan tasarımların bir çoğu bu etkileşimlerin tahmin edilmesine olanak vermemektedir. Taguchi'nin önerdiği tasarımların (ortogonal dizi olarak adlandırılmaktadır) çoğu, doyurulmuş veya yaklaşık olarak doyurulmuş Plackett-Burman tasarımlarıdır ve kontrol faktörleri arasındaki etkileşimlerin tahmin edilmesine olanak vermemektedir. Standard varyans analizi teknikleri SN oranını etkileyen kontrol faktörlerinin tanımlanması için kullanılır. Ayrıca, varyans analizi, olası düzeltme faktörlerinin araştırılması için $\bar{y}$ üzerinde de uygulanır. SN oranını etkileyen faktörler SN oranını maksimize eden seviyelere getirilirken $\bar{y}$'yi etkileyen faktörler, ortalamayı hedefe yaklaştıran seviyelere getirilirler.[150]

Taguchi tarafından savunulan kalite mühendisliği yöntemleri çabucak kabul edilmiş fakat onun istatistiksel ve istatistiksel olmayan yöntemleri bazı eleştirilere neden olmuştur.[151]

---

[149] A.R. McMillan, I.A.Jones, C.D.Rudd, V.Middleton, "Statistical Study of Environmental Degradation in Resin Transfer Moulded Structural Composites", **Composites**, Part A, 29A,(1998), 855-865, s.864

[150] Özler, a.g.e., s. 169

[151] Thomas P.Ryan, "Taguchi's Approach to Experimental Design: Some Concerns", **Quality Progress**, 1988,34-36, s.34

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.

Box, Easterling, Pignatiello ve Ramberg, Taguchi'nin katkılarını ve batıda geliştirilen istatistiksel yöntemler bağlamında eleştiriler sunmuşlardır. Box, standard 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.[152] Bazı yazarlar, örneğin SN ve kayıp fonksiyonu gibi, yöntemlerin yararlılığını tartışmaktadırlar. Yine de Taguchi yöntemlerinin aşağıdaki görüşleri iyice tartışılmamıştır.

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 değişkenin değerini maksimize etmek gibi ise, etkileşim etkilerinin tümü sıfır olmadıkça, böyle bir yaklaşım ister istemez çalışmayacaktır.[153] Taguchi'nin robust parametre tasarımı yaklaşımıyla ilgili beş önemli eleştiri bulunmaktadır. Bunlar:

1. Sinyal gürültü oranının yetersizliği
2. Tasarım değişkenlerini modellemede esneklik eksikliği
3. Deney tasarım planının ekonomik olmayışı
4. Eniyileme ile ilgili zihinsel meşguliyet
5. Ardışık deneye formal izin olmaması.

---

[152] Özler, a.g.e., s.171

[153] Ryan, a.g.e., s.34

Literatürde Taguchi'nin geliştirmiş olduğu robust tasarımındaki eksik yönler ve bunun için geliştirilmiş alternatif yaklaşımları içeren birçok çalışma yer almaktadır. Örneğin Box çalışmasında Taguchi'nin SN oranına karşılık "standart veri geçiş yöntemi" geliştirerek onun daha etkin olduğunu göstermiştir. Box aynı zamanda bu çalışmada Taguchi yaklaşımının robust tasarım uygulamasında ardışık inceleme yapmaya olanak vermediği ve gereksiz şekilde tasarım seçimini sınırlandırdığı eleştirisini yapmaktadır. Easterling et al, Taguchi yöntemindeki eleştirileri ise bu yöntemde eniyilemenin çok güç olduğu şeklindedir.

Taguchi'nin SN oranları hakkında da pek çok eleştiri ve alternatifleri içeren çalışmalar yapılmıştır. Box özellikle yanıtın hedef değer olduğu durumlar için SN oranının yerini alacak bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda ortalamayı etkileyen, değişkenliği etkilemeyen ayarlama (tuning) faktörlerinin kontrol faktörleri arasında yer aldığı gösterilir. Bu faktörler ortalama yanıtı hedefe getirir. Box tarafından önerilen diğer yaklaşımlar yeri etkileyen (yer etkileri) ve proses varyansını etkileyen faktörler (yayılma etkileri) arasındaki maksimum ayırımı sağlayan yanıttaki güç dönüşümü kullanımını içerir. Bu varyansı küçültürken aynı zamanda ortalamayı hedefe yaklaştırır. Box yayılım etkisinin elimine etmek için (böylece ortalama için eniyi koşulları belirlemeyi kolaylaştıracak) ek hedef önermiştir.[154]

Taguchi tarafından önerilen tasarımlar kontrol değişkenleri arasındaki etkileşimin öngörülmesini sağlamaz. İç ve dış dizilerde kontrol ve gürültü faktörlerin kullanılması ortogonal dizi kullanımı maliyet açısından avantajlı olmasına rağmen deneyin birçok defa tekrarlanmasını gerektirmektedir.

[154] A.e.

BÖLÜM 4

ÇOK YANITLI PROBLEMLER

Bugünün global ekonomisinde yüksek kaliteli fakat düşük maliyetli ürünler ve prosesler ayakta kalmanın anahtarı olmaktadır. Kalite bilincine sahip işletmeler maliyet ve performans üzerine rekabet etme isteği ile giderek ürün tasarımını eniyilemeye odaklanmaktadır.[1] Ürün kalitesini geliştirmek için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bunların önemli bir kısmı kalite karakteristiklerini (yanıtları) tek tek ele alarak kaliteyi sağlamaya çalışmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar yeteri kadar etkin ve ekonomik olamamaktadır. İki veya daha çok yanıtı beraber analiz ederek, ürünün kalitesi üzerindeki etkileri belirleyen ve buna göre eniyi kombinasyonları ortaya koyan yaklaşımlar da geliştirilmiştir.

4.1 ÇOK YANITLI PROBLEMLERE GİRİŞ

Mühendislik deyimiyle 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 olabilir.[2]

---

[1] P.Georgilakis, N.Hatziargyriou, D.Paparigas, S.Elefsiniotis, "Effective Use of Magnetic Materials in Transformer Manufacturing", **Journal of Materials Processing Technology,** 2001,**108:**209-212, s.209

[2] How Sing Sii, Tom Ruxton, Jin Wang, "Taguchi Concepts and Their Applications in Marine and Offshore Safety Studies", **Journal of Engineering Design,** 2001, Vol.12, No.4, 331-358, s.333

Modern büyük ölçekli teknik sistemler bünyesel karmaşıklıkları ile ayırt edilirler. Çoğu görevlerini değişik seviyelerde yürütülebilirler. Böyle durumlarda sistem hatası, verilen görevi yürütmede azalan bir yetenek sonucu verir. Ancak tam hataya ulaşmaz.[3]

Ayrıca sistemin her elemanı görevini bazı farklı seviyelerde yürütebilir. Örneğin, güç sistemlerindeki üretici birim, hata olmadığında tamamen çalışır olan normal üretim kapasitesine sahiptir. Bazı tür hatalar birimin tam olarak devre dışı kalmasına neden olur; diğer bazıları ise birimin düşük kapasite ile çalışmasına yol açar. İşte farklı görev performans seviyeleri olabilen sisteme çok-durumlu sistem (MSS:Multi-State System) denir.[4]

Sistem bileşenlerinin performans oranlarını tüm MSS sonuç performansına katkıları bakımından ölçmek önemlidir. Pratik durumlarda MSS performansının fiziksel doğasına karşılık gelen farklı tür MSS'ler ele alınmalıdır. Örneğin bazı uygulamalarda performans ölçüsü verimlilik veya kapasite olarak tanımlanır. Bu tür MSS'lere örnek, sürekli malzemeler veya enerji iletişim sistemleri, güç üretme sistemleridir. Bu sistemlerin ana görevi istenilen tam çıktıyı veya sürekli enerji için iletişim kapasitesini, malzeme veya bilgi akımını sağlamaktır. Veri işleme hızı da performans ölçüsü olarak görülebilir ve sistemin ana görevi istenilen zaman içerisinde işi tamamlamaktır.[5]

İkili durum sistemlerine yönelik olarak birçok güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Burada sadece tam hatalar nazara alınır. MSS güvenilirlik analizi çok daha karmaşıktır. Güvenilirlik eniyileme problemlerinin çözümü için; robust ve evrensel olan, ve çözüm alanına ait enaz bilgiyi gerektiren eniyileme aracı bulunmalıdır. Genetik algoritma (GA:Genetic Algoritm) tüm bu özelliklere sahiptir. GA'ların başlıca alanları bolluk tahsisi ve güvenilirlik kısıtlamalarına bağlı olan yapı eniyilemeleri, güvenilir ağ (network) topolijisine ait eniyi tasarım, güvenilirlik analiz prosedürlerinin eniyilenmesi, hata tanısı ve bakım eniyilemesidir.[6]

---

[3] Gregory Levitin, Anatoly Lisnianski, "A New Approach to Solving Problems of Multi-State System Reliability Optimization", **Quality and Reliability Engineering International**, 2001;17:93-104,s.93

[4] A.e.

[5] A.e., s.94

[6] A.e.

Ağ yapısı ve parametrelerin en iyi kombinasyonunu elde etmek için genellikle deneme-yanılma tekniği kullanılır. Karşılaşılan dezavantajları gidermek için daha kolay ve etkili yol olmalıdır. Özellikle mühendislik uygulamalarında, yapay sinir ağının (ANN: Artificial Neural Networks) geçmişiyle veya onsuz mühendis, ağın eniyilemesinde çok fazla zaman harcamamalıdır. Son yıllarda Taguchi Yöntemi, bu alanda eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan yeni bir yaklaşım olmuştur.[7]

Taguchi Yöntemi, eniyileme tekniğinin sürekli, ayrık ve niteliksel tasarım değişkenli problemlerin çözümüne çok iyi uyan tipidir. Bu yüzden, herhangi bir ANN modeli bu yöntemle eniyilenebilir. Diğer yöntem olan genetik algoritma, çok fazla hesaplama maliyeti gerektirir.[8]

Eniyileme teknikleri pek çok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadırlar. ANN'lerin orijinal tasarımlarını geliştirmek için Taguchi ve DOE yöntemleri uygulanırlar. Kullanıcılar tasarım problemini anlamalı ve uygun ANN modelini seçmelidirler. Ondan sonra eniyileme problemleri modele göre tanımlanabilir. Taguchi Yöntemi ilk olarak daha önemli faktörleri bulmak için ve tasarım problemlerini basitleştirmek için uygulanır. Daha sonra DOE Yöntemleri, tasarım parametrelerinin daha kesin kombinasyonlarını ve duyarlılıklarını bulmak için uygulanırlar.[9]

Taguchi Yöntemi ve Deney tasarımı (DOE) kullanılan ana tekniklerdir. Önceki çalışmalardan farklı olarak Taguchi Yöntemi, eniyileme problemlerini basitleştirmek için kullanılır. Daha sonra DOE daha kolay uygulanır. DOE yöntemlerinin kuvvetli istatistik esasından dolayı, pek çok analiz yürürlüğe konabilir[10].

Mühendislik sistemlerindeki stokastik belirsizlik, bu sistemlerin tasarımı ve operasyonel işlemleri sırasında ortaya çıkar. Tasarımın tam değerinin bilinmemesinden kaynaklanır veya tasarımcının kontrolü dışındaki işleminden doğan

---

[7] T.Y.Lin, C.H.Tseng, "Optimum Design for Artificial Neural Networks: An Example in a Bicycle Derailleur System", **Engineering Application of Artificial Intelligence**, 13, 2000, s.3-14

[8] A.e.

[9] A.e.

[10] A.e.

çevresel parametrelerin bilinmemesinden ileri gelebilir. Taguchi'nin kalite mühendisliği ve robust tasarımı aşamasında kaliteyi ölçmek ve belirsizliğin var olduğu durumda bir sistemin performansını değerlendirmek için yararlı bir yöntemdir.[11]

Taguchi Yöntemleri yaklaşık son on beş yılda ürün kalitesinin ve proses performansının iyileştirilmesinde başarılı oldukları kanıtlanmıştır. Pek çok Taguchi deneyinde tek kalite karakteristiğinin eniyilenmesi ele alınmıştır. Üretim proseslerinde çoklu kalite karakteristiklerinin eniyilenmesi yaygın değildir ve Taguchi yöntemi uygulayıcılarının çok azı bu konuyla ilgilenmişlerdir. Taguchi yöntemlerini kullanan pek çok mühendis, üretim prosesi eniyilemesinde çoklu kalite karakteristikleriyle ilgilendikleri zaman mühendislik yargısını kullanmışlardır. Bu yaklaşım subjektiftir ve bu yüzden karar verme prosesinde daima bir belirsizlik getirmektedir.[12]

Taguchi'nin parametre tasarımı (PT) yöntemi nispeten düşük maliyette yüksek kaliteli ürünleri üretmek için etkin bir yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır. Parametre tasarımının amacı (aynı zamanda Robust tasarım olarak da bilinen) proses fonksiyonel performanslarını çeşitli varyasyon kaynaklarına duyarsız kılacak, en iyi parametreler kümelerini belirlemektir. Bu amacı başarmak için, Taguchi istatistiksel deney tasarımının (SDOE) kullanımını savunur. PT'nin, pek çok başarılı uygulaması özellikle son onbeş yılda ABD ve Avrupa'nın üretim yapan işletmelerinde yer almıştır. Taguchi deneylerini kullanan çoklu kalite karakteristiği eniyilemesi mühendislik birliği 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 güvenilir.[13]

Bir tasarımın robust olması için tasarım değerlerinin seçilmiş performans karakteristikleri için (örneğin yanıtlar) ürünün bağlı olacağı değişkenlere karşı

---

[11] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.334

[12] J.Antony, "Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Loss Function", **Int.J.of Adv. Manuf. Technology, 17**:134-138, 2001, s.134

[13] A.e.

duyarsız olması gerekir. Bir tasarımın kabul edilebilir olması için tasarım spesifikasyonlarına uygun olması gerekir. Ancak varyansın varlığı yüzünden, bu uyum olasılık olarak sağlanır. Örneğin eniyi üretim, ürün tasarımı, tasarım spesifikasyonlarını öngörme analizini enbüyükleyen bir tasarım olarak tanımlanır. Tek yanıt (response) için robust tasarımı başarmanın ve ürün miktarını enbüyüklemeyi sağlamanın uygun yöntemleri vardır. Çoklu yanıtlar için yüksek verimlilik ve robust tasarımı gerçekleştirmenin yeni yöntemi olarak, on-line kalite kontrol tekniklerini kullanan C_p ve C_{pk} kapasite indekslerinin kullanılması suretiyle sunulmuş ve yöntem, bir tane tek yanıt problemine ve iki tane çok yanıtlı probleme uygulanmış; sonuçlar yöntemin iyi üretim çıktısı ve robust tasarımı eşzamanlı olarak sağlama kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.[14]

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 tatmin edilmelidir.[15]

Bir mühendislik tasarımının ve üretim verimliliğinin kalitesi, tasarım değişkenliklerindeki farklılıklardan etkilenir. Çok yanıtlı bir problemde robustluk birden fazla performans karakteristiği için (örneğin yanıt) arzu edilir. Burada robustluk teknik olarak tasarım değişkenlerine ait seçim olarak tanımlanır. Öyle ki tüm seçilmiş yanıtların anlamı, değerlerin hedeflerine enaz sapma ile eşit olduğu anlamı ortaya çıkar. Ancak robustluğu eşzamanlı olarak tüm yanıtlar için gerçekleştirmek genellikle olanaklı değildir. Bunun nedeni de iki veya daha fazla sayıda yanıtı etkileyen tasarım değişkenleri ortak kümesinin varlığıdır. Bir yanıt için tasarım değişkenlerinin eniyi kümesi diğer yanıt için aynı olmayabilir. Burada, eniyi olma durumu robustlukla ilgilidir. Kalite esaslı eniyi çözüm, ilgili amacın seçilmiş yanıtların hepsinde robustluk olarak tanımlanır. Daha önce belirtilen nedenlerle

---

[14] J.S.R. Jayaram, Y.Ibrahim, "Multiple Response Robust Design and Yield Maximization", **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.16, No.9, 1999:826-837, s.826

[15] A.e.

kalite esaslı eniyi çözüm çok yanıtlı bir problem için tüm yanıtlarla ilgili olarak belli derecede bir robustluğun sağlandığı bir çözümdür. Buradaki diğer bir zorluk da kalite esaslı eniyi (optimal) bir çözümün elde edilmesi, yüksek verimli bir tasarımı garanti etmez; örneğin verimlik esaslı eniyi çözüm. Bunun tersi de geçerlidir.[16]

Son yıllarda robust tasarım yöntemi endüstride geniş ölçüde kullanılmakta olan bir tasarım içinde kaliteyi oluşturma kavramına dayanmaktadır. Yöntem robustluk fikrine dayanır. Çünkü ürünün performansı üretim ve kullanıcının çevresindeki önlenemeyen varyasyonlara duyarsız olması gerekmektedir. Taguchi'nin sunduğu robust tasarımın temel prensibi bir ürünün kalitesini, varyasyon kaynaklarını elimine etmeksizin onun etkilerini enküçüklemek suretiyle geliştirmektir. Taguchi'nin stratejileri çok eleştiri de almıştır. Mühendislik açısından başlıca sınırlamaları, kısıtlamaları ve çok tasarımlı sembolleri ele alışındaki yetersizliğidir. Pratikte tasarımın genel iyiliği bazı özellikleri tarafından etkilenebilir. Bu demektir ki tasarımcı bu çoklu özellikler için metodik bir yaklaşım gerekmektedir. Tek bir performans karakteristiği söz konusu olduğunda bile robust tasarım bir iki özellikli problem olarak incelenebilir. Ortalama ve varyans, iki özellik (attribute) olarak dikkate alınabilir. Ayrıca bazı fonksiyonel kısıtlamalar tipik bir ürün tasarımında dikkate almak zorundadır. Buna ait çalışma Otto ve Antonsson ve Parkinson et al'de bulunur.[17]

Klasik deneysel yöntemlere göre daha az sayıda deney içeren tasarım eniyilemesine rağmen maliyet ve çalışma süresini azaltan yaklaşımlara gereksinim duyulduğu açıktır. Literatür çalışmaları sırasında bazı çalışmaların sonuçlandığı bazılarının ise devam ettiği ortaya çıkmıştır. Ancak şu ana kadar kısmi bir başarı elde edilmiştir.[18]

Bu çalışmaların ortak amacı performans karakteristikleri, kontrol edilebilen değişkenler (kontrol faktörleri) ve kontrol edilemeyen değişkenlere (gürültü faktörleri) ait analitik (fonksiyonel) formu tespit etmektir.

---

[16] A.e., s.827

[17] Kyung Mo Kim, Sunder Krishnamurty, "A Dominance-Based Design Metric in Multiattribute Robust Design", Research in Engineering Design, 2000:**12**, 235-248, s. 235

[18] Antony, a.g.e., s.134

Tasarım eniyileme problemleri var olan bazı eniyileme yöntemlerini kullanmak suretiyle çözümlenebilir. Şayet eşzamanlı olarak çok sayıda performans karakteristiği eniyilenirse daha çok sayıda bilgilenme (enforme) analizleri yapılabilir ve tasarımın geliştirilmesi için daha ucuz deneyler yapılabilir.

Kontrol faktörleri seviyelerinin eniyi kombinasyonunun belirlenmesine tasarım eniyileme problemi denir. Burada gürültü faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkileri enazdır. Kullanılan bir diğer deyim de Parametre Tasarım Problemidir. Problemin çözümü için kontrol faktörleri, her deneyde sistematik olarak değiştirilir ve gürültü faktörlerinin etkileri ölçülür. Daha sonra sonuçlar ürün/proses gürültü faktörlerine duyarsız olduğu kontrol faktörleri seviyelerinin belirlenmesi için kullanılır. Bu problem ve çözümü ilk kez Taguchi yöntemleri adı altında Genichi Taguchi tarafından önerilmiştir. Taguchi'in görüşlerini açıklayan, gözden geçiren veya eleştiren bir çok yazı ve bazı kitaplar vardır. Kackar ve Nair e ait yazılar Taguchi yöntemlerine adanmıştır. Bu yazılar gerçekçi bir deneysel plan geliştirmek için gerekli olan enformasyonu detaylarıyla açıklarlar ve rehber makaleler içerirler.[19]

4.2 TAGUCHİ YÖNTEMLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Taguchi yöntemlerinin geniş bir uygulama alanı vardır ki mikro biyolojiden tarıma, eczacılıktan mühendisliğe kadar uzanır. Bilimsel alanlarda karşılaşılan problemlerin çözümü için Taguchi yöntemlerinin uygulanması amacıyla; prosedürün aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:[20]

- Çalışma alanı ne olursa olsun, her durumda geçerli olması gerekir.
- Değişik mesleklere ait insanlar tarafından kolayca anlaşılması gerekir.
- Çalışma için gerekli olan aşamaları, cihazları ve aletleri öngörebilir ve ayrıca ekonomik maliyet ve çalışmanın süresini de öngörebilir.
- Çalışmanın amaçlarını ve amaçları etkileyen değişkenler için (parametreler veya faktörler) kriterleri belirleyebilir.

---

[19] A.e.

[20] Cafer Çelik, Nimetullah Burnak, "A systematic Approach to the Solution of the Design Optimization Problem", **Total Quality Management**, Feb 98, Vol.9, No.1, s.101-109

- Değişkenlerin sınıflandırılmasını ve her gruptaki (kontrol faktörleri veya gürültü faktörleri) değişkenlerin değerlerine ait kriterleri açıkça ortaya koymalıdır.
- Problemi çözmek için gerekli olan işlemlerin yürütülmesinde problem yaratan çok sayıda değişkenler/seviyeler olduğu zaman çalışmayı başarmak olasılığını arttırmalıdır.
- Uygulama sırasında karşılaşılan problemleri ve çözümlerini öngörebilmelidir.

4.2.1 Endüstride Taguchi Yöntemi'nin Potansiyel Uygulamaları

Taguchi Yöntemleri, bir çok üretim yapan işletmede yoğun uygulamalara sahiptir. Aşağıda, çeşitli üretim ve hizmet endüstrisi sektörlerindeki Taguchi Yöntemlerinin uygulamalarını göstermektedir. Üretim sektörleri plastik, otomotiv, metal üretimi, proses, elektronik ve yarı iletkenler olarak sınıflandırılabilir.[21]

- **Plastik**

  Proses tipi: Enjeksiyon yapıştırma işlemi

  Problemin doğası: Aşırı proses değişkenliği yüzünden yüksek ıskarta ve yeniden işleme.

  Deney büyüklüğü: Sekiz deneme veya çalıştırma

  Yararları: Sıfır hata başarıldı. Yıllık tasarrufun 40000 £'un üzerinde olduğu öngörülmektedir.

- **Otomotiv**

  Proses tipi: Dizel enjektör

  Problemin doğası: Yüksek yeniden işleme oranı

  Deney büyüklüğü: Onaltı deneme veya çalıştırma

  Yararları: Yıllık tasarrufun 10000 £'un üstünde olduğu öngörülmektedir.

- **Metal Üretimi**

  Proses tipi: Kaynak yapma

  Problemin doğası: Bir konnektör'e kalay kaplı kabloların düşük kaynak dayanımı

  Deney büyüklüğü: Onaltı deneme veya çalıştırma

Yararları: Proses yetenek indeksi 0.50'den 2.50 kadar artar. Yıllık tasarrufun 16000 £ kadar olduğu öngörülmektedir.

- **Proses**

  Proses tipi: Kimyasal proses

  Problemin doğası: Düşük proses kazancı

  Deney büyüklüğü: Sekiz deneme

  Yararları: Proses kazancı, yüzde 10'un üstünde bir iyileştirme sağlamıştır.

- **Elektronik ve Yarı-İletkenler**

  Proses tipi: Kablo birleştirme (bonding) prosesi

  Problemin doğası: Düşük kablo çekme mukavemeti ve bunun için işletme tarafından büyük çapta müşteri iadeleri yaşanmıştır.

  Deney büyüklüğü: Onaltı deneme

  Yararları: Ortalama çekme mukavemeti %30 arttırılmış ve bu yüzden müşteri iadeleri %18'den yaklaşık %2'ye indirilmiştir. Yıllık tasarruf 30000 £'un üzerinde olduğu öngörülmektedir.

- **Hizmet Endüstrisinde Uygulamaları**
  - Müşteri şikayetlerine yanıt verme süresini enküçüklemek,
  - Servis siparişlerindeki hataları enküçüklemek,
  - Müşteriler için servis teslim zamanını azaltmak,
  - Bir hastanedeki acil servis odasında ve sağlık bakım enstitülerindeki kalma süresini azaltmak,
  - Yeni ürünlere girişmek için rekabetçi stratejileri karşılaştırmak.

4.2.2 Üretim Endüstrisinde Taguchi Yöntemlerinin uygulamalarından Bazı Örnekler

Değişken hammadde kalitesinden dolayı istenmeyen varyasyonlar üretim işlemlerinde genellikle problem olmaktadır. Robust işlem eniyilemesi böyle varyasyonların etkisini azaltmak için prosesi varyasyonlara daha az duyarlı yapan ayarlanabilir faktörlerin ayarlarını belirlemektedir. Mevik et al., yaptıkları çalışmada

---

[21] Hefin Rowlands, Jiju Antony, Graeme Knoles, "An Application of Experimental Design for Process Optimization",**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000, pp.78-83

proses faktörlerini, özelliklerinin karakterizasyonuna dayanarak gruplara ayırmışlardır. Aynı zamanda yığın tarzı (batch-wise) prosesler için yığın tarzı robust proses eniyilemesi olarak adlandırılan bir robust proses eniyileme tekniği geliştirmişlerdir. Bu teknik, her üretim yığınının başında hammadde kalitesinin var olan ölçümlerini kullanır. Bu teknik, sıradan robust işlem eniyilemesine kıyasla hammadde kalitesindeki varyasyonlardan dolayı meydana gelen değişkenlikte bir azaltmayı başarmaktadır. Fırın ekmeğinin pişirilmesinden alınan biri tek yanıtlı ve biri de çok yanıtlı olmak üzere iki uygulama örneği ile bu tekniği açıklamaktadırlar.[22]

Doğruluk (accuracy) ve tekrar edilebilirlik, bir robot için önemli noktalardır. Robot hatalarına ait stokastik analizler araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. Benhabib et al, doğrudan ve ters robot hata analizini ortaya koymuştur. Bhattit ve Rao, güvenilirlik kavramını uygulamıştır. Son zamanlarda Taguchi yöntemleri robotics'te uygulamıştır. Wu et al, Taguchi yöntemlerini uygulayarak yol izleme için robot proses kapasitesini belirlemiş ve eniyilemişlerdir. Liou et al, bu yöntemleri robotların kinematik parametreler için tolerans tasarımında kullanmışlardır. Taguchi yöntemlerinin kalite mühendisliğinde etkili olduğu deneysel olarak hesaplanmıştır.[23]

Taguchi yöntemleri ürün kalitesini geliştirmek ve endüstriyel tasarım ve prosesleri eniyilemek için Kuzey Amerika ve Japonya'da yıllarca yaygın ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Taguchi yöntemlerinde seçilmiş bir ölçünün robustluğunu ölçmek için SN oranı kullanılmaktadır.[24]

Bir optik disk sürücüde manyetik alanın kuvveti ile orantılı olan Lorentz gücü kapalı kontrol devresinin kazanımını belirler. Chau-Yuan Ke et al, çalışmalarında manyetik alanın kuvveti ve düzgünlüğü (uniformity) değer göstergesi olarak kullanarak ince tip CD/DVD çalıştırıcı için eniyi manyetik tasarımı Taguchi

---

[22] B.H.Mevik, E.M.Faergestad, M.R.Ellekjaer, T. Naes, "Using Raw Material Measurements in Robust Process Optimization", **Chememetrics and Intelligent Laboratory Systems**", **55**, 2001;133-145, s.133

[23] Imin Kao, Chunhe Gong, "Robot-Based Computer-Integrated Manufacturing as Applied in Manufacturing Automation", **Robotics&Computer-Integrated Manufacturing**, Vol13, No.2, 157-167,1997, s.158

[24] A.e., s.162

yöntemini uygulayarak tamamlamışlardır.[25] "Mümkün olan en büyük değer", "en büyük ortalama değeri" ve "en büyük düzgünlük" için eniyi tasarımlar gibi elde edilmiştir. Üç eniyi tasarıma ait hedef fonksiyonlarının değerleri, her simülasyonun değerinden daha iyi olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen sonuç, eniyi tasarım araştırmasının başarısı Taguchi yöntemi ile kanıtlanmıştır. Ortalama değer ve düzgünlük dikkate alındığında "en büyük ortalama değer"i olan eniyi tasarım en iyisidir; orijinal tasarımı ortalama değerde 1.2 katı ve manyetik kuvvet düzgünlüğünde 2.3 katı olmuştur. Bu avantaj CD veya DVD sürücülere istikrarı arttırmak veya veri transfer oranını arttırmak gibi katkılarda bulunmaktadır.[26]

Her bir robot, belirlenmiş tolerans ve belirsizlikler ile ve hareket kontrol denetçilerinden, eklem ve linklerdeki tahrik edicilerden dolayı tasarlanır. Sorun son etkileyici pozisyonlarının çalışma alanı içerisinde ne kadar doğrulukla belirlenebildiğidir. Analizlere göre Taguchi yöntemleri robottaki palete ait yeri daha yüksek bir kartezyen doğruluğu ile tespit edebilmektedir. Bir kez paletin yeri belirlendiğinde, taşıyıcı kuşağın pozisyonunu ve robotlara bağlanan aletlerin planı ayarlanabilir. Taguchi yöntemlerinin sonuçlarını, uzaysal problemlerle ilgili olarak belirli kısıtlayıcı ve sınırlayıcı koşullar altında ele alınabilir.[27]

Yapı bölge modelleri (SZMs) uzun süredir PVD kaplamaların mikro yapılarını onların tortu parametreleri ile ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Kaplamanın mikro yapısı homojen sıcaklık tarafından etkilenmektedir. Kelly ve Arnell, kaplama ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.[28] Bu çalışma boyunca Taguchi yönteminin deneysel tasarımı kullanılmışıtır. Dokuz denemeli L_9 standard dizisi kullanılmıştır. Bu ortogonal dizi, dört faktörün üç seviyede çeşitlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Her metal için, seçilen faktörlerden üçü deşarj akımı, alt tabaka eğilimi ve kaplama basıncıdır. Dördüncü faktör her dizi için farklılaştırılmıştır.

---

[25] Chau-Yuan Ke, Chi-Lone Chang, Jau-Jiu Ju, Der-Ray Huang, Ruey-Shing Huang, "A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator", **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**,239 (2002), 604-606, s.604

[26] A.e., s.605

[27] Kao, Gong, a.g.e., s.162

[28] P.J. Kelly, R.D. Arnell, "Characterization Studies of the Structure Of Al,Zr ve W Coatings Deposited by Closed-Field Unbalanced Magnetron Sputtering", **Surface and Coatings Technology**, 97, 595-602, 1997, s.595

Tortulama zamanları aynı kalınlıkta kaplama setleri üretebilmek için deşarj akımıyla çeşitlendirilmiş ve her bir dizinin sonuçları yanıt değişkenleri bakımından değerlendirilmiştir.[29] Her bir kaplama işletimi için son alt tabaka sıcaklığı kaydedilmiş ve yanıt değişkeni olarak kullanılmıştır. Taguchi analizi, tüm dizi faktörlerinin alt tabaka sıcaklığına önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir.[30]

Chung-Chen ve Hong, soğutulmuş AISI 1045 karbon çeliğin çekilmesindeki çeşitli kesme koşulları altında TiCN/TiAlCN (Titanyum Nitrid/Titanyum Alüminyum Karbon Nitrid) ile kaplanmış çeşitli alet malzemelerinin aşınmasını incelemek üzere Taguchi yöntemini kullanılmışlardır. Deneysel sonuçlar, dört kontrol faktörü (farklı kaplanmış tortu, besleme oranı, dingil hızı ve alet malzemesi) arasında alet malzemesinin en önemlisi olduğunu göstermiştir.[31]

Taguchi yöntemleri, deney tasarım teorisi ve kalite kayıp fonksiyonu kavramlarını birleştirmiş olup ürün ve proseslerin robust tasarımına uygulanarak üretime ait bazı karışık problemleri çözmüştür. Yapılan çalışmanın amacı Taguchi yöntemi kullanılarak TiCN/TiAlCN ile kaplanmış çeşitli alet malzemelerine ait aşınmanın araştırılmasıdır.[32]

Sert kaplamalı tortuları ve alet ömrünü yan kanat aşınmasında karşılaştırılmakta ve aşınmanın TiCN kaplı tortular ve K40 alet ömrü için en düşük ve TiAlCN kaplı tortular ve K10 alet ömrü için en yüksek olduğunu gösterilmiştir. TiCN kaplı tortular ve K40 alet ömrü kesicisi %188'lik bir iyileşme gerçekleştirmiştir. Bir sert kaplama tortusu, kesme koşullarını iyileştirebilir ve alet aşınma problemini hafifletebilir.[33]

Endüstriyel üretim prosesleri; hammadde kalitesi, işlem ayarlamaları ve çevresel faktörlerdeki istenmeyen değişikliklerden sık sık olumsuz etkilenir. Bu

---

[29] A.e., s.596

[30] A.e.

[31] Tsao Chung-Chen, Hocheng Hong, "Comparison of the Tool Life of Tungsten Carbides Coated by Multi-Layer TICN and TIALCN for end Mills Using the Taguchi Method", **Journal of Materials Processing Technology**, 123 (2002),1-4, s.1

[32] A.e.

[33] A.e., s.3

değişiklikler son üründe istenmeyen varyasyonlara neden olabilir. Söz konusu olan proses hammadde kalitesinde yığın tarzı bir varyasyonun bulunduğu ancak her yığın içerisinde ihmal edilebilir varyasyonun olduğu bir prosestir. Hammadde kalitesi her yığın üretiminin başlangıcında vardır.

Bu tür varyasyonla baş etmenin iki yaygın yolu aşağıda verilmiştir:[34]

1. *Faktörlerin kontrolü ve ayarlanması için istatistiksel proses kontrolü (SPC) veya mühendislik proses kontrolü (EPC) tekniklerini kullanmak.* SPC prosesin durumu hakkında operatörlere tanısal bilgi verir. EPC prosesi kontrol için ileri besleme/geri besleme tekniğini kullanır. SPC ve EPC yöntemlerinin bir çok başarılı uygulamaları vardır. Bu yöntemlerde proses sürekli kontrol edildiğinden veya ayarlandığından zor ve pahalı olurlar.
2. *Üretimi, faktörlerdeki varyasyonlara olanaklı olduğu kadar duyarsız yapmak için robust proses eniyilemesini kullanmak.*

Robust proses eniyilemesi bir Off-Line KK yöntemidir; bazen az farklı tanımlarla bir çok ad ile bilinir. Robust proses eniyilemesi, üretim başlamadan önce prosesi ayarlayarak varyasyonu enküçüklemeye çalışır. Kontrol edilmesi pahalı faktörleri ayarlama zorunda değildir. SPC veya EPC'ye göre daha fazla deney gerektirir. Bazen varyasyondaki azalma az olduğundan SPC veya EPC üretim sırasında gerekli olabilir. Yapılan çalışmadaki amaçlardan biri yukarıda açıklanan kontrol ve robustluk stratejilerinin kombinasyonunu sunmaktır. Buna *yığın tarzı robust proses eniyilemesi* denir. Bu yaklaşım robust proses eniyilemesi ile ileri besleme düzenleme fikirlerini birleştirir. Yığın üretimin başında bütün olası bilgi, yığın üretimi esnasında diğer gürültü kaynaklarına mümkün olduğu kadar duyarsız yapan proses ayarlarını tanımlamak için kullanılır.[35]

Endüstriyel deneylerin çoğunluğu sistematik olmayan davranış yüzünden tam planlandığı gibi yürümez. Tasarım eniyileme probleminin çözümü konusunda çok sayıda yaklaşım vardır. Coleman ve Montgomery, deneylerin planlanması ve analizi için yedi aşamalı bir yaklaşım sunmuşlardır. Haaland ve o'Connelli, benzer ama daha

[34] Mevik et al., a.g.e., s.133

[35] A.e., s.134

az formel bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. İlgili yaklaşımlar Kackar ve Shoemaker, Ross, Phadke,Roy ve Unal et al tarafından tartışılmıştır.[36]

Büyük bir mühendislik sisteminin kavram tasarımı aşamasındaki güvenlik analizinin amacı, tasarımın yapılabilir ve kabul edilebilir bir sistem geliştirme işlemleri sırasında güvenlikle ilgili girdileri sağlamaktır. Başlangıç kavram tasarımı aşamasında yetersiz veri ve yüksek seviyedeki belirsizlikler yüzünden geleneksel yaklaşımlar güvenlik ve maliyeti tasarım ve etkin ve verimli karar verme için modelleme olanağına sahip değildir. Düşük maliyetli ve risk seviyesi düşük metotlar için giderek artan bir talep vardır. Sii et al., çalışmalarındaki uygulama, olağanüstü derecede maliyet-etkin bir enstrümanı sergilemiştir. Bu da Taguchi'nin robust deneysel tasarımı olup bugüne kadar üretim kuramındaki ürün spesifikasyonlarını ve proses parametrelerini eniyilemiştir. Yöntem eşit derecede verimlilik ile güvenlik esaslı karar destek çalışmalarında eniyilenebilmiştir.[37]

Taguchi kavramlarının bir geminin tüm yaşam döngüsü boyunca, tasarım özellikleri, operasyonel karakteristikleri ve gemi sahibinin yönetim kalitesini eniyilemek suretiyle nasıl geliştirilebileceği Sii et al., tarafından gösterilmiştir. Ayrıca Taguchi yöntemi uzman yargılarından onların bir gemi için sigorta oranlarını saptamak amacıyla risk öngörüsünde bulundukları sırada en önemli saydıkları faktörleri ortaya çıkarmakta da kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır. Bu yöntem herhangi bir mühendislik disiplininde tasarımın subjektif uzman yargılarıyla birleştiğinde güçlü ve uygun bir araç olabilmektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre Taguchi yöntemleri deniz güvenlik mühendisliğindeki risk analizleri için alternatif bir araç olabileceği savunulmuştur. Güvenlik analizleri için tasarımcılar, resmi daireler ve gemi sahipleri bu çalışmayı kullanabilirler ve Taguchi metodolojisini tasarımlarına, faaliyetlerine ve karar verme işlemlerine güvenlik ilintili maddelerle uğraşmak üzere dahil edebilirler.[38]

---

[36] Cafer Çelik, Nimetullah Burnak, "A systematic Approach to the Solution of the Design Optimization Problem" , **Total Quality Management**, Feb 98, Vol.9, No.1, s.101-109

[37] Sii, Ruxton, Wang, a.g.e., s.333

[38] A.e., s.356

Tzeng et al, yaptıkları çalışmada Taguchi'nin L_{16} ortogonal dizisini ve Yate'nin yöntemini kullanarak teflon bazlı basılı devre levhaları üzerindeki bakırın doğrudan metalleşmesi için eniyi koşullar belirlenmiştir. Doğrudan bakır metalleştirme tekniklerine ait performanslar kav (peel) gücü ve toplam enerji tüketimi kullanılarak değerlendirilmiştir.[39] L_{16} ortogonal dizi deneyi ve analizinden doğrudan metalleştirme için daha uygun kaplama koşulları bulunabilmiştir.[40] Yate'in yöntemi eniyi kaplama koşullarını daha uygun koşullardan ayırabilmek için kullanılmıştır. L_{16} ortogonal dizi ve Yate yöntemi kullanılarak, bir teflon üzerindeki bakırın doğrudan metalleştirilmesi için gerekli eniyi koşullar elde edilebilmiştir.[41]

4.2.3. Deneysel Tasarım ve Hizmet Endüstrisinde Uygulanması

DT hem Amerika Birleşik Devletleri'nde hem de Avrupa'da ürün ve proses kalitesini arttırmak konusunda yaygın olarak kabul görmektedir. Ancak hizmet esaslı bir prosesi iyileştirmek için yapılan çok az çalışma vardır. Bunun bazı nedenleri şöyledir :[42]

- Servis proses performansının hassas olan ölçümü zordur.
- Servis proses performansı büyük ölçüde onu yapan insan faktörüne bağlıdır.
- Uygun kalite karakteristiklerinin seçimi güçtür.

Aşağıda DT'nin hizmet sektöründeki olası uygulamaları verilmiştir.[43]

- Yeni ürünlere ait gelişmeler üzerinde rekabetçi stratejilerinin karşılaştırılması,
- Sistemin veya proses performansını etkileyen anahtar proses sistemlerinin tanımı
- Müşteri şikayetlerine yanıt süresini enaza indirme
- Servis siparişlerindeki hataları enaza indirme

---

[39] G.S.Tzeng, H.G.Chen, Y.Y.Wang, C.C.Wan, "Direct metallization of Teflon-based printed circuit boards", **Surface and Coatings Technology**, 90 (1997) 71-74, s.71

[40] A.e., s.73

[41] A.e., s.74

[42] Marcus Blosch, Jiju Antony, "Experimental design and Compure-Based Simulation:A Case Study With he Royal Navy", **Managing Service Quality**, Vol.9,No.5, 1999:311-319,s.311-112

[43] A.e.

- Müşteriye verilen hizmetin süresini azaltma (örneğin restoranlar, bankalar vb.)
- Hastanelerdeki ve sağlık bakım kurumlarındaki acil bakım odalarındaki bekleme süresini azaltma.

Taguchi'nin robust deneysel tasarım yöntemleri üretim ortamlarında geleneksel olarak kullanılmaktadır. Taguchi deneysel tasarımı, bir hizmet temelli prosesin eniyilemesi için kullanan hemen hiç bir çalışma yoktur. Bu sınırlama kısmen Dr. Taguchi'nin başlangıç eğilimlerine kadar geriye gider. Ancak toplam kalite yönetimi (TKY) hareketi Amerika ve başka yerlerde kök saldıkça, maliyet etkin olan ve kaliteyi arttırırken israfı yok eden yöntemler için talep giderek artmıştır. Bu düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünler için artan talep üretim ve mühendislik dünyasını aşarak, hizmet ve kamu sektörü olmak üzere tüm iş alanlarına yayılmıştır. Yanıt olarak kuruluşlar; verimlilik, kalite ve esnekliği eşzamanlı olarak geliştiren yeni kalite araçları keşfetmektedirler. Yapılan çalışmada küçük bir ihracat işletmesine ait şikayeti düzeltme prosesiyle ilgili bir gerçek dünya örneği vererek olağanüstü maliyet etkin bir araç olan Taguchi robust deneysel tasarımı, bugüne kadar ürün spesifikasyonlarını ve üretim ortamındaki proses parametrelerinin eniyilemesinde eşit etkinlikte kullanabildiği, böylece bir hizmet prosesini etkileyen faktörleri eniyilenebileceği gösterilmiştir.[44]

Taguchi yöntemlerinin hizmet ortamlarında yaygın olarak kullanılmamasının nedenleri vardır. Önce bir hizmet prosesinin performansını tam olarak ölçmenin zorlukları vardır. Halbuki Taguchi yöntemleri gerçekte sayısal parametrelerdeki varyasyonların ölçülmesine dayanır. İkincisi, bir hizmet prosesinin sonuçları kalite bakımından üretime göre çok daha belirsizdir. Bunun ana nedeni performansın insana dayanmasıdır. Kalitedeki yüksek varyasyon oranı iyi niyetli hükümleri zorlaştırmaktadır. Son olarak hizmet prosesleri üretime göre daha çok gürültü faktörü içerirler. Gürültü faktörleri kontrol edilebilmesi zor, pahalı ve imkansız faktörlerdir. Bunlardan sonuncusu, Taguchi yöntemlerine özel bir sınırlama değildir. Ancak aşırı sayıda gürültü faktörünün varlığı, proses performansını iyileştirmede ciddi bir kısıt

oluşturur. Bu niteleyicilere rağmen bir sayısal performans ölçüsünü düzgün olarak tanımlamak suretiyle Taguchi kavramları, hizmet performansının eniyilemesinde de kullanılabilir.[45]

4.3 GELENEKSEL VE DENEYSEL ENİYİLEME YÖNTEMLERİ

Eniyileme problemlerini çözmek için uygulanan Sıralı (sequential) Doğrusal Programlama (SLP) ve Sıralı Kuadratik Programlama (SQP) gibi sayısal yöntemler genellikle "geleneksel yöntemler" olarak tanımlanır. ANN tasarımda, problemleri çözmek için bu diyagramları kullanmak uygun değildir. Bu nedenler aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:[46]

Niteliksel tasarım parametreleri vardır ve bu niteliksel tasarım parametreleri sayısal ifadelerle tanımlanamaz. Bu yüzden, sayısal yöntemlerin kullanılmasıyla çözülemezler.

Yapay olmayan-ayrık tasarım parametreleri vardır. Sürekli problem için çözüm, mükemmel olarak anlamlı olduğu fakat, dış kısıtlara göre kabul edilemez olduğu zaman ortaya çıkan bu ayrık parametreler, geleneksel yöntemlerle çözülebilen "yapay-ayrık parametreler" olarak tanımlanırlar. Örneğin, tasarım probleminde değişken, boru çapı olabilir. Çap, sürekli değişkendir; fakat sadece 1 inç, 1.5 inç ve 2 inç gibi özel değerler pazarda bulunabilir. Bu değişken çeşidi "yapay-ayrık" tasarım parametresi olarak adlandırılır. Birim veya katman sayısı gibi esas olan ayrık pek çok yapay-ayrık olmayan ayrık parametreler ANN tasarımında belirlenmemiş olmalıdırlar.[47]

Amaç fonksiyonu karmaşıklaştırılır. Geleneksel yöntemler uygulandığında, amaç fonksiyonunun birinci ve ikinci dereceden diferansiyelleri SLP veya SQP kullanmadan önce kontrol edilmelidir. Bununla beraber, ANN tasarımda, amaç fonksiyonunun sayısal ifadesini yazmak güç ve imkansızdır. Örneğin, gruplandırma

---

[44] Ashok Kumar, Jaideep Motwani, Luis Otero, "An application of Taguchi's Robust Experimental Design Technique to Improve Service Performance", International Journal of Quality and Reliability Management, Vol.13, No.4, 1996;85-98, s.86

[45] A.e.

[46] T.Y.Lin, C.H.Tseng, "Optimum Design for Artificial Neural Networks: An Example in a Bicycle Derailleur System", **Engineering Application of Artificial Intelligence**, 13, 2000, s.3-14

hatası, amaç fonksiyonu olarak ele alınır fakat, her eğitme prosesinin gruplama hatası yazılımdan hesaplanabilir. Kontrol etmek için amaç fonksiyonunun kesin şekli yoktur.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı geleneksel eniyileme yöntemleri ANN tasarımında çok iyi yapılamaz. Diğer taraftan Taguchi Yöntemi ve DOE Yöntemi gibi diğer çeşitli eniyileme yöntemleri kullanıldığı zaman böyle kısıtlamalar ortadan kalkar.

4.3.1 Taguchi Yöntemi

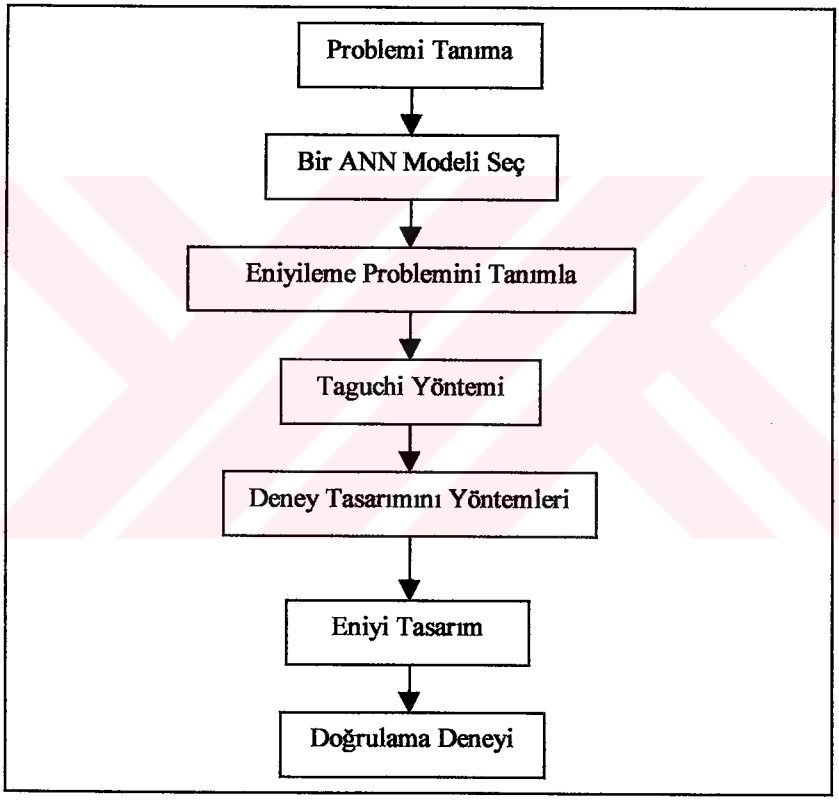
Dr.Genichi Taguchi'nin yöntemleri Japonya'da II. Dünya Savaşı'ndan sonra geliştirildi. Onun en fazla önemli katkısı, kalite iyileştirmede yer alır; fakat son yıllarda, Taguchi Yöntemi'nin temel kavramaları eniyileme problemlerinin çözümünde özellikle sıfır dereceden (order) problemlerde çok fazla kullanılır. Taguchi Yöntemi, kesirli faktöriyel DOE'nin bir çeşidi olduğundan, simülasyon veya deneme sayısı DOE'ye göre birkaç kez azalır. Örneğin, tasarım probleminde yedi tane iki-seviyeli faktör varsa, Taguchi Yöntemi'nde sadece sekiz simülasyon yapılmalıdır. Bununla beraber DOE'de yapılması gereken 2^7=128 tekrar olmalıydı.

Taguchi Yöntemi'nin başarılı uygulamalarına rağmen, yaklaşımının ve onunla beraber kullanılan tekniklerin daha geniş kullanımı, ancak yöntemin ve analizinin kazancının daha iyi anlaşılması ile olanaklıdır. Taguchi parametre tasarım yaklaşımının başarıları ve başarısızlıkları genişçe tartışılmıştır. Özetle, Taguchi'nin temel başarıları tasarımda kalitenin önemini vurgulamaktır ve kalite mühendisleri için genel amaçlı bir araç olarak deneysel tasarımın kullanımını basitleştirmektedir. Taguchi Yöntemi'ne yapılan eleştirilerin birçoğu arasında, sinyal/gürültü (SN) oranını bir performans ölçüsü olarak kullanmasıdır. SN oranı, ürün ve proseslerin fonksiyonel sağlamlığını ölçer. SN oranları, belli durumlarda yanıltıcı sonuçlar verdiğinden eleştirilmektedir. Bununla beraber, klasik deneysel tasarım, Taguchi Yöntemi'nden çok daha geniş bir ilgiye sahip olmasına rağmen Taguchi Yöntemi, kalite iyileştirme için uygulamadaki mühendislere yararlı bir başlama noktası sağlar. Bu temeldir çünkü; ilki daha fazla istatistiksel yönlere odaklanır. Oysa Taguchi

[47] A.e., s.4

Yöntemi, öncelikle kalitenin mühendislik yönlerine odaklanır. Taguchi Yöntemi'nin güzel tarafı, istatistiksel yöntemlerini güçlü mühendislik prosesinde birleştirmiş olmasıdır.[48]

Aşağıdaki Şekil 4.1 Taguchi Yöntemi'nin prosesini göstermektedir. Mühendisler, uygulama problemini iyi anlamalıdır ve uygun ANN modelini seçmelidir. Seçilen modelde, eniyilenmesi gereken tasarım parametreleri (faktörleri) belirlenmelidir.



Şekil 4.1 Eniyileme Prosesi[49]

Ortogonal diziler kullanıldığında, simülasyonlar sistematik şekilde uygulanır. Yanıtlar, simülasyon sonuçlarından seviye ortalama analizi ile ve Taguchi Yöntemi'nde SN oranı ile analiz edilebilirler.[50]

---

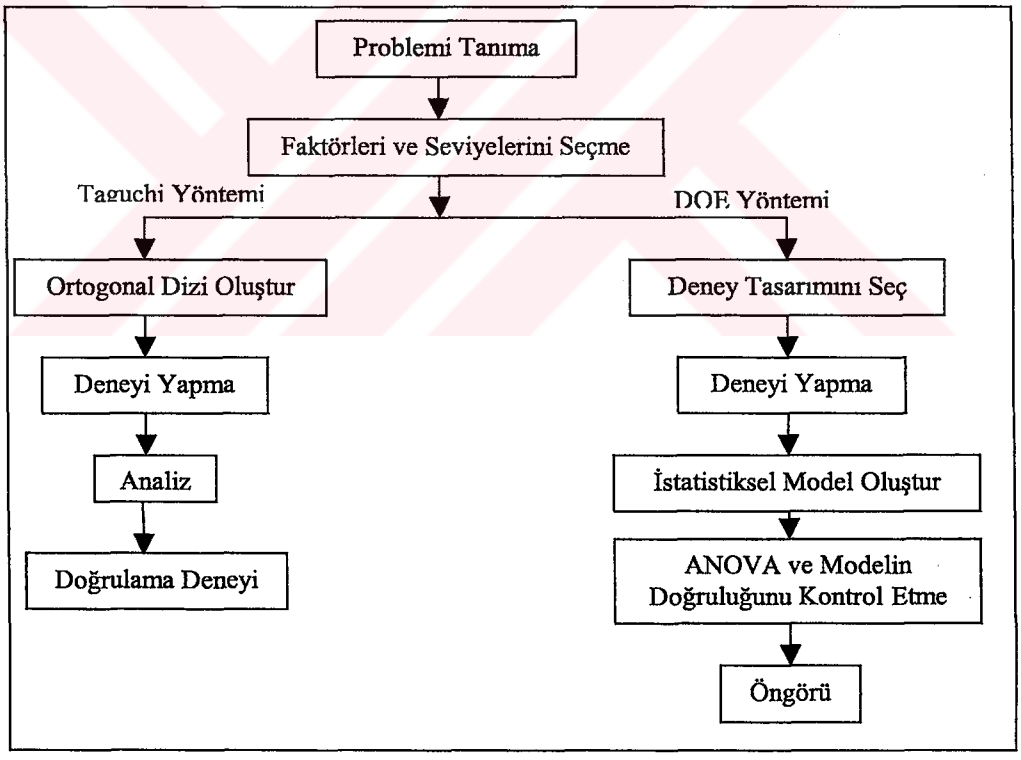
[48] Hefin Rowlands, Jiju Antony, Graeme Knoles, "An Application of Experimental Design for Process Optimization",**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000, pp.78-83

[49] Lin,Tseng, a.g.e., s.4

[50] A.e., s.3-14

4.3.2 DOE Yöntemi

DOE, tasarımcının girdi parametrelerindeki değişikliklerden çıktı yanıtındaki değişmelerin nedenleri gözleyebildiği ve tanımlayabildiği test veya testlerin bir serisidir. Şekil 4.2, aynı zamanda DOE prosesini gösterir. Taguchi Yöntemi'nden farklı olarak istatistiksel model için simülasyon ve deney oluşturulur. Bu yüzden, hem deneyden önce hem deneyden sonra, modelin bazı kabulleri ve geçerlilikleri (modelin yeterliliğini kontrol etme) yapılmalıdır. Deney stratejisi, bir parametreyi değiştirmektir ve her bir adımda kalan parametreleri sabit tutmaktır. Bu yüzden, deney ve simülasyon zamanları, daha önce tanımlanmış olan Taguchi Yöntemi'nden çok daha uzundur. Eğitme hatası ve yakınsama hızı gibi deneysel yanıt, varyans analizi (ANOVA) ve diğer istatistiksel yöntemlerle öngörülür ve analiz edilirler.



Şekil 4.2 Taguchi Yöntemi ve DOE Yöntemi[51]

[51] A.e., s.5

4.3.3 DOE Yöntemine Karşı Taguchi Yöntemi

Şekil 4.1'de gösterilen eniyileme probleminde, Taguchi Yöntemi tasarım parametrelerinin önceki koşturulanı (run) olarak ele alınırlar. Bazı mühendislik uygulamaları için Taguchi Yöntemi'ni kullanmak oldukça yeterlidir. Böyle yapılmasının pek çok nedeni vardır. Tasarım problemlerinde, bazen çok sayıda tasarım parametresi vardır. Çok fazla eğitme durumundan dolayı bu anda DOE yöntemi kullanmak yeterli değildir. Bu yüzden Taguchi Yöntemi, eğitme durumunu azaltmak ve sinir ağı yanıtını etkileyen çok önemli parametreleri bulmak için kullanılır. Daha sonra, DOE Yöntemi çok sayıda önemli parametrelerin kullanımıyla kolaylıkla tamamlanabilir.[52]

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.[53]

4.4 ÇOK YANITLI PROBLEMLER

Çok yanıtlı problemde görev, eşzamanlı olarak bir kaç yanıtı eniyileyen tasarım değişkenlerine ait değerler kümesini bulmaktır. Örneğin toplam ağırlığın ve malzeme maliyetinin asgariye indirilmesi. Bu probleme tek bir çözüm genellikle bulunamaz. Bir yanıtın çözümü diğerinden ayrılır. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef tüm yanıtlar için sağlanan çözümün tanımlanmasıdır. Bunun tanımında çözüm veya tasarım noktasında yanıtlar eniyilenir ve varyanslar enküçüklenir. Bu yine de zor bir problemdir ve bu konuda az sayıda teknik geliştirilebilmiştir.[54]

---

[52] A.e., s.3-14

[53] A.e.

[54] J.S.R. Jayaram, Yaakop Ibrahim, "Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model", **Int.Juornal of Quality Science**", Vol.2, No.3, pp,199-205, 1997, s.199

Tekniklerin çoğunda uzlaşılan eniyi çözüm genellikle temin edilir. Bunun anlamı, yanıtlar birbirinden bağımsız olarak eniyilendiği takdirde her bir yanıt için, yanıt istatistiklerinin farklı olacağıdır. Son çözüm bireysel çözümden sapmayı enküçükleyecek şekilde farklılaşır. Khuri ve Conlon, çok yanıtlı problemi çözmek için bir başarı fonksiyonu (achievement function) kullanmıştır. Bu fonksiyon tüm yanıtları en iyi şekilde tatmin eden çözümü bulmaktadır. Derringer ve Suich, tüm yanıtlar için istenebilirlik fonksiyonu (desirability function) kullanırlar.[55]

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, çalışmalarında bu karakteristiklerin dört-çok yanıtlı yönteme ait eniyi yanıt üzerine olan varsayımları aydınlatılmaktadır.[56]

Çok yanıtlı tasarım problemlerinin çözümünde genel bir yaklaşım, amaçları birleştiren bir yaklaşımın; yani bireysel yanıtlar, tek bir fonksiyon oluşturmak için matematiksel olarak birleştirilir. Birleştirici amaç yaklaşımları kalite alanında birden çok yanıtları eşzamanlı olarak eniyilemek için kullanılır. Başlangıçta deneysel bir tasarımdan yanıt yüzeyi yaratılarak bireysel yanıtlar modellenir. Yanıt yüzeyleri, sonra matematiksel bir transformasyona tabi tutulur; bu da tüm yanıtların tek bir fonksiyonda birleştirilmesi için normalleştirme aracı olarak kullanılır. Son olarak girdi faktörlerinin seviyelerini değiştirerek eniyi nesnel fonksiyon ve dolayısıyla eniyi girdi faktör ayarları sağlanabilir.

Ürün geliştirme aşamalarında ortaya çıkan bir problem, ürün özelliklerinin istenilen kombinasyonunu veren koşulların belirlenmesidir. Bu da, birden çok sayıda

---

[55] A.e.

[56] John F.Kros, Christina M.Mastrangelo, "Comparing Methods for the Multi-Response Design Problem", **Qual.Reliab.Engng.Int.**, 2001,17:323-331, s.223

yanıt değişkeninin eşzamanlı eniyilemesini (özellikle istenilen kombinasyonunu) içeren bir problemdir.[57]

Üretim proseslerinin çoğu, çoklu kalite kriterli çıktı üretirler. Ancak kalite mühendisliğinde bu tür problemlere çok az dikkat edilmiş olması şaşırtıcıdır. Taguchi uygulamalarına ait yayınların çoğu, tekli yanıtın eniyilemesi ile ilgilidir. Myres ve Carter, ikili yanıt yaklaşımını önermiştir. Vinning ve Myres, Taguchi metodolojisi çerçevesi içerisinde ikili yanıt yaklaşımını kullanmak sureti ile bir eniyileme metodolojisi önermiştir. Del Castillo ve Montgomery, doğrusal olmayan programlama çözümü önermiştir. Myres ve Montgomery; Khuri ve Cornell'e ait metinler çok kriterli ürünlerin hakimiyetine ve bunlarla baş etmek için yeni yöntemlere gereksinim olduğunu vurgulamaktadır. Ames et al; Artilles ve Tai et al; Taguchi'nin kuadratik kayıp fonksiyonunu kullanmak sureti ile çoklu yanıtları eniyilemeye çalışmıştır. Tong ve Su, sistematik bir prosedürü, bulanık (fuzzy) küme teorisinin vurgulaması sureti ile geliştirmiştir. Ancak tüm bu yöntemler, kuvvetli bir ileri matematik bilgisi gerektirmektedir. Orta düzey elemanların bu yöntemleri anlaması ve uygulaması zordur. Kullanılması daha kolay yöntemler geliştirmek için bazı çabalar çok yanıtlı eniyilemeyi kullanmak üzere ve Taguchi yöntemlerini uygulamak için gerçekleştirilmiştir.[58]

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, birkaç yanıt fonksiyonu eşzamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır. Bir yanıt için eniyi olan koşullar, diğer yanıtlar için eniyiden 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

---

[57] Cenk Özler, "Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1997, s. 134

[58] P.B.S. Reddy, K.Nishina, A.Subash Babu, "Taguchi's Methodology for Multi-Response Optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry", **Int.Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.15,No.6, 646-668 1998, s.649

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.[59]

4.5 BULANIK MANTIK İLE ÇOKLU PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN ENİYİLEMESİ

Temel olarak Taguchi yöntemi, tekli performans karakteristiğini ele almak (incelemek) için tasarlanır. Çoklu performans karakteristikleri ile bir prosesin eniyilemesi için genel öneri, mühendislik yargısına bırakmak ve doğrulama deneyi ile kanıtlamaktır. Çoklu performans karakteristikli bir prosesin eniyilemesinde çeşitli problemlere rastlanılır. Örneğin, her performans karakteristiğinin kategorisi aynı olmayabilir, mühendislik birimleri farklı olabilir ve önem dereceleri değişebilir. Sonuçta Taguchi yönteminin çoklu performans karakteristikli bir proseste uygulanması tam doğru olmaz. Bunun için başka yaklaşımlarla (örneğin Fuzzy Logic) beraber Taguchi yöntemi, prosesin eniyilemesinde daha etkin kullanılabilir.[60]

Sistematik yaklaşımın amacı; mühendisler, bilim adamları, teknisyenler veya operatörler, yöneticiler ve proses uzmanlarından oluşan çok disiplinli deney takımı aracılığıyla tasarım eniyilemesi problemini çözmektir. Bu demektir ki problemin tanımına çok önem verilmeli böylece iyi ölçüm sistemleri sağlanmalı, problem yaratan gürültü faktörleri tanımlanmalı, gürültü faktörlerinin davranışları öğrenilmeli, kontrol faktörleri ve seviyeleri seçilmeli, veri ürün sınırlamaları altında tasarım seçilmeli, sonuçlar analiz edilerek sunulmalı, diyagramları çizilmeli, sonuçlar doğrulanmalı ve öneriler standardlaştırılmalıdır.[61]

Taguchi yöntemi proses parametrelerinin ayarlanması suretiyle, performans karakteristiklerini eniyileyebilir ve sistem performansı, varyasyon kaynaklarına karşı duyarlılığını azaltabilir. Sonuç olarak Taguchi yöntemi deney tasarımı yöntemlerinde

---

[59] Özler, a.g.e., s.135

[60] Lin et al., a.g.e., s.49

[61] Çelik, Burnak, a.g.e., s.101-109

güçlü bir araç olmuştur. Bununla beraber daha çok tekli performans karakteristiklerinin eniyilemesinde Taguchi uygulamaları yayınlanmıştır. Daha çok istenilen, çoklu performans karakteristiklerinin ele alınması ve yürütülmesi hala ilgilenilen bir araştırma problemidir.[62]

Sayısal deney teknikleri, benzetim ve sonlu elemanlar yöntemi (SEY) başlıkları altında incelenmektedir. Özellikle SEY tasarım aşamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak günümüzde, SEY'nin uygulamalarının genellikle "hata türü ve etkileri analizi (FMEA)" şeklinde olması ve "her defasında bir parametrenin değeri değiştirilerek" deneylerin yapılması, önemli potansiyel arzeden bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır. Oysa, SEY uygulamalarında Taguchi Yönteminin kullanılması durumunda en az sayıda deney ile daha fazla bilgi elde edilebileceği gibi, elde edilen bilgilerin hem tasarım eniyilemesi, hem de FMEA amacıyla kullanılabileceği belirlenmiştir.[63]

4.6 NİTELİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN ENİYİLEMESİNDE TAGUCHİ TEKNİKLERİ

Sayısal özellikli kalite yanıtı sıkça dikkate alınır. Geleneksel deney tasarımı teknikleri kullanılarak kalite yanıtı ve kontrol faktörleri arasındaki ilişki araştırılır. Taguchi'nin off-line kalite kontrolü için tekli-kalite kontrolü olduğunda etkin bir yaklaşımdır. Niteliksel kalite karakteristiklerinin eniyilemesi seyrek olarak açıklanmıştır. Niteliksel kalite karakteristik problemini eniyilemek için niteliksel yanıt genellikle yüzde şeklinde gösterilir veya çeşitli kategorilere ayrılmaktadır.[64]

Pratikte çok değişkenli varyans analizi ve yanıt yüzey yöntemi çok yanıtlı problemi eniyilemek için sıkça kullanılan yöntemlerdir. Ancak bu prosedürler sayısal çok yanıtlı problemler için tasarlanmıştır. Ürün ve proses karmaşıklaştıkça çoklu kalite yanıtları niteliksel ve sayısal karakteristikler içerebilmektedir.[65]

---

[62] Lin et al., a.g.e., s.48

[63] Cafer Çelik, Sadri Şen, "Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, Cild.10, sayı.2, 3-9, 1999, s.3

[64] Kun-Lin Hsieh, Lee-Ing Tong, "Optimization of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks", **Computers in Industry**, 46, 2001;1-12, s.1

[65] A.e., s.2

Taguchi, niteliksel yanıt problemlerini etkin bir şekilde çözmek için akümülasyon analizleri kullanır. Eniyi faktör/seviye kombinasyonu, faktör etki diyagramının incelenmesiyle sağlanabilir. Ancak Taguchi'nin bu analizi subjektif bir değerlendirmede yanlış sonuçlara yol açabilir.

Jean ve Guo, ağırlıklı olasılık puanı diyagramını kullanarak daha basit ve daha doğru bir yaklaşımı getirmişlerdir. Şöyle ki dağılım ve lokasyon etkilerini tekli bir ortalama kareli sapmasına (MSD) dahil etmişlerdir. Eniyi kontrol faktörü/seviye kombinasyonu enküçük ortalama kareli sapmanın seçilmesi ile yukarıdaki yöntemlerin niteliksel ve sayısal çoklu yanıtlar için eşzamanlı olarak uygulanmasının olanaklı olmadığı belirtilmiştir.[66]

Üretilmiş ürünlerin artan karmaşıklığı ile, bir ürüne değer verme sadece tekli kalite yanıtı olmayabilir. Çoklu kalite yanıtını eniyilemek, bir çok üretici için giderek artan bir görevdir. Ayrıca, çoklu yanıtlar eşzamanlı olarak niteliksel ve sayısal karakteristikleri içermeyebilirler. Taguchi yöntemi, niteliksel ve sayısal kalite karakteristiklerini içeren çok yanıtlı problemlere doğrudan uygulanamaz. Hsieh ve Tong çalışmalarında önerdikleri yaklaşımın bir çok yararları oduğunu vurgulamaktadırlar: [67]

1. Önerilen yaklaşım komplike bir hesabı istememektedir. Ayrıca, sınırlı istatistiksel çalışmaya sahip analist, bu yaklaşımı göreceli olarak daha kolay kavrayacaktır. Mühendisler, ANN yazılımını dolaysız olarak istenilen modeli geliştirmede veya uygun ANN modelinin tasarımında kendi başlarına uygulayabilirler.
2. Önerilen yaklaşımı uygulamak, sürekli parametrelerin saptanmasına izin verir.
3. Taguchi yöntemindeki eniyi parametreler ile ilgili karar verilirken ortaya çıkan belirsizlik etkili bir şekilde önlenebilir.

ANN yaklaşımı, tüm niteliksel veya tüm sayısal karakteristikli çok yanıtlı problemlerde uygulanabilir. Yanıtların hepsi niteliksel veya sayısal karakteristikli

---

[66] A.e., s.3

[67] A.e., s.11

olduğunda, ideal parametre ayarlarının saptanmasında ANN yapısının sadece biraz değiştirilmesi gerekecektir.

4.7 ÇOK YANITLI PROBLEMLER İÇİN ÖNERİLEN BAZI YÖNTEMLER

Çok yanıtlı problemde iş tüm yanıtlar için eniyilenen bir tasarım değişkenlik kümesini tahmin etmektir. Bu yanıtların korelasyonu yüzünden genellikle olanaklı değildir. Bir yanıt için eniyi olan bir çözüm diğer yanıtlar için eniyi olmayabilir. Dolayısıyla tüm yanıtlar için bir uzlaşma ifade eden çözüm genellikle tanımlanır. Diğer bir deyimle çözüm öyledir ki yanıtların tümü için eniyi değerleri taşımazlar. Çok yanıtlı eniyileme için değişik yöntemler geliştirilmiştir.[68]

Jayaram ve Ibrahim yaptıkları çalışmada verimlilik ve kalite esaslı eniyi çözüm için bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem hem tek yanıtlı hem de çok yanıtlı problemlere uygulanabileceği belirtilmiştir. Bu yöntem C_p ve C_{pk} kapasite indekslerine dayanır; bunlar da on-line kalite kontrol tekniklerinde kullanılır. C_p indeksi yanıtın değişkenliğinin ölçüsüdür. Bu nedenle yanıtların C_p indeksleri bunların değişkenliğini enaza indirmekte kullanılır. C_{pk} indeksi ise yanıt değerinin yanıtlar üzerindeki kısıtlama sınırlarından farkını gösteren bir ölçüdür. C_{pk} indeksleri bireysel yanıt hedeflerine mümkün olduğu kadar yakın olan yanıt kombinasyonlarını tanımlamakta da kullanılır. Bu indeksleri üretim verimliliği üzerindeki indekslerle birleştiren mesafe ölçüsü hem tasarımdaki robustluğu hem de üretim verimliliğini eşzamanlı olarak sağlamakta kullanılır.[69]

4.7.1 Kayıp Modeli (Loss Function)

Her bir yanıt için bir kayıp fonksiyonu geliştirilebilir. Bu her bir tasarım için dolar değeridir ve burada yanıt özel bir hedef değerden farklılaşır. Tipik bir kayıp fonksiyonu robust tasarımında kullanıldığı şekliyle kuadratik kayıp fonksiyonudur. Kayıp fonksiyonundan çıkan ölçeklerin düzgün kullanımı ile deneysel tasarım tekniğinin kullanıldığı bir robust tasarım elde edilir. Burada kayıp fonksiyon

---

[68] J.S.R. Jayaram, Y.Ibrahim, "Multiple Response Robust Design and Yield Maximization", **International Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.16, No.9, 1999:826-837, s.827

yaklaşımı kullanılır. Tasarım değişkeni x'in bir toleranslar kümesine sahip olduğu varsayılır ve bu toleranslar dahilinde eşit dağılıma göre rassal olarak dağıtılır.[70]

Her bir yanıt için x cinsinden bir kayıp modeli geliştirilir. Eniyi çözüm tüm yanıtlar için toplam kayıpların enküçüklenmesi suretiyle temin edilir. Dolayısıyla problem aşağıdaki gibi ifade edilebilir:[71]

$$\text{Minimize } L_T = \sum_{i=1}^{m} L_i(x) \qquad (4.1)$$

Burada L_i, i. yanıtın sonucu olan kayıp, m ise yanıtların sayısıdır. Yapılan çalışmada kuadratik kayıp modelleri kullanılmıştır. Spesifikasyonlara uymayan tüm yanıtlarla ilgili yüz adet maliyet biriminin kaybı varsayılmıştır. Ancak spesifikasyonlar dahilinde hedefte merkezileşen kuadratik model varsayılmıştır. Tek taraflı spesifikasyonlu yanıtlar için ayrıca bir kuadratik model varsayılmıştır. Ancak yanıt hedeften büyük veya küçük olduğunda sıfır maliyet birimi kaybı varsayılmıştır. Yanıtın hedef değerinden daha büyük veya daha küçük olduğu bir vakayı düşünüldüğünde; hedef değerinden daha büyük olan her yanıt değeri hedefe eşit olan yanıt değeriyle aynı ölçüde tercihe şayandır. Bu aynı zamanda bir yanıtın hedef değerinden daha düşük olduğu durumlar için de geçerlidir. Yanıtları ilgili hedeflerine merkezileştirmek ortalama yanıtların hedeflerine ve ortalamalardaki varyasyonun azalmasını sağlar. Bunun nedeni aşağıdaki gibi gösterilmiştir.[72]

$$(Yi-Y_\tau)^2 = (Yi-\bar{Y})^2 + (\bar{Y}+Y_\tau)^2 \qquad (4.2)$$

Burada Y_τ hedef değeridir ve $\bar{Y}$ yanıtın ortalama değeri olarak alınır. Sağ taraftaki ilk deyim eğilimi gösterir, kalan deyim ise değişebilirlikle ilgilidir. Böylece hedef değerinden sapmayı enküçüklemek suretiyle robustluk kazanılır.

Kullanılan kayıp modelin bir çok etkileri vardır. En yüksek kayıp, tüm yanıtların spesifikasyonlara aykırı olduğu zaman ortaya çıkar. Örneğin üretim verimliliğinin sıfır olduğu durumlarda. Bununla beraber eğer bütün yanıtlar

---

[69] A.e.

[70] J.S.R. Jayaram, Yaakop Ibrahim, "Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model", **Int.Juornal of Quality Science**", Vol.2, No.3, 1997, pp,199-205, s.200-201

[71] A.e.

[72] A.e.

eşzamanlı olarak ilgili hedeflerine merkezileştirilebilinirse, o zaman enküçüklenir ve üretim verimliliği de eniyilenir.

Antony'nin çalışmasında uyguladığı yöntem Taguchi'nin PT deneylerinde çoklu kalite karateristiklerini ele almakta ve eniyi proses koşulunun belirlenmesi için Taguchi'nin kalite kayıp fonksiyonunu kullanmaktadır. Yöntem aşağıda kısaca açıklanmaktadır.[73]

4.7.2 Taguchi'nin Parammetre Tasarımı Deneylerinde Çoklu Kalite Karakteristiklerinin Eniyilemesi İçin Antony'nin Önerdiği Yöntem

Taguchi'nin PT deneylerinde çoklu kalite karakteristikleri eniyilenirken aşağıdaki sorunlar göz önüne alınmalıdır:[74]

- Her bir kalite karakteristiğinin birimleri farklı olabilir ve bu yüzden her bir karakteristikle ilgili kayıp doğrudan etkilenmez.
- Farklı kalite karakteristikleri farklı oransal ağırlıklara sahiptir. Bu yüzden belirli oransal ağırlık eniyilemesinden önce her bir karakteristiğe atanabilir.
- Deney hedef eniyi kalite karakteristiğini içerirse, ayarlama faktörleri tanımlanmalıdır. Ayarlama faktör(leri) hedef değer üzerinde ortalama performansı ayarlaması için kullanılacaktır.

Antony, yedi adımlı bir yöntem önermektedir. Bu adımlar, Taguchi'nin PT deneylerini kullanan çok yanıtlı proses eniyilemesinde sınırlı deneyime sahip mühendislere yol gösterecek ve problemlerinin çözümünde yardımcı olacaktır.

Adım 1: Deney Faktörlerinin Tanıtımı

Faktör veya proses değişkenlerin seçimi herhangi bir eniyileme problemin başarısı için önemlidir. Taguchi'nin PT deneylerinde faktörler, kontrol, gürültü ve sinyal faktörleri olarak sınıflandırılabilir. Faktörleri tanımlamanın birkaç olası yolu beyin fırtınası ve geçmiş veri kullanımını içerir. Tipik beyin fırtınası oturumuna üretim, tasarım, kalite ve atölyeden kişiler katılır. Aynı zamanda uygulamada beyin fırtınasını nede-sonuç analiziyle kullanmak daha uygundur. Neden-sonuç analizi

---

[73] J.Antony, "Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Loss Function", **Int.J.of Adv. Manuf. Technology**, 2001, **17**:134-138, s.135

[74] A.e.

problemi daha iyi ortaya koyacak ve problemi etkileyen olası nedenleri gösterecektir. Deney faktörleri tanımlandıktan sonra her bir faktörün seviyeleri tanımlanır.

Adım 2: Karakteristik(lerin)veya Deney Yanıtlarının Seçimi

Belirli bir deney için seçilen kalite karakteristikleri ve deney için seçilen faktörler arasında korelasyon olmalıdır. Uygun kalite karakteristiklerinin seçimi, incelenmekte olan prosesin mühendislik veya ekonomik hedefle başlamak önerilir. Hedef belirlendiğinde temel mekanizma ve onu etkileyen fiziksel yasalar tanımlanır; sonra bu mekanizmanın ve yasaların anlaşılmasını arttırmak için uygun kalite karakteristiği seçilir.

Taguchi'nin PT deneyi için kalite karakteristikleri iki ana sınıfta ele alınır:[75]

1. Statik kalite karakteristikleri
2. Dinamik kalite karakteristikleri.

Statik kalite karakteristikleri daha küçük daha iyi (STB), daha büyük daha iyi (LTB), nominal en iyi (NTB) ve sınıflandırılmış nitelikler olarak adlandırılırlar. Bir prosesin, özel faktör durumu kalite karakteristiğinde doğrudan etkiye sahip olduğu zaman dinamik kalite karakteristiği sergilediği söylenir. Bu faktör ayarlama faktörü olarak adlandırılır. Böyle karakteristiklerin kullanma avantajı prosesin daha iyi anlaşılmasını sağlar. Bununla beraber, pek çok proses için dinamik karakteristikler tanımlama karmaşık bir prosedürdür.

Adım 3: Her Bir Kalite karakteristiği İçin Normalize Edilmiş Kalite Kaybının Hesaplanması

Kalite kaybı, ürünün fonksiyonel performansındaki hedeften sapma nedeniyle ürünle ilgili kayıptır. Endüstride çok yaygın kullanıldıkları için sadece üç kalite karakteristiği (STB, LTB ve NTB) ele alınmaktadır. Bu kalite karakteristiklerinin kalite kayıp fonksiyonları için geliştirilen denklemler, pek çok Taguchi kitabında yer almaktadır. L_{ij}'yi deney tasarım matrisinde *j.* denemedeki *i.* kalite karakteristiği için kalite kaybı olarak tanımlanır. Her bir kalite karakteristiği farklı ölçüm birimlerine sahip olduğu için, kalite kaybını normalize etmek önemlidir. Normalize edilmiş kalite kaybı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

---

[75] A.e., s.136

$$y_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \tag{4.3}$$

Burada,

L_{ij}: Normalize edilmiş kalite kaybı

L_i^*: Bütün deneme koşulları arasında *i.*kalite karakteristiği için enbüyük kalite kaybı. Y_{ij} değeri 0-1 arasında değişir.

Adım 4: Toplam Normalize Edilmiş Kalite Kaybının Hesaplanması (Y_j)

Her bir deneme koşuluna göre toplam normalize edilmiş kalite kaybının (Y_j) hesaplanması için eniyileme prosesinde göz önüne alınan her bir kalite karakteristiği için ağırlıklandırma faktörü atanır. w_i i.kalite karakteristiği için ağırlıklandırma faktörünü gösterirse, k kalite karakteristiğinin sayısı ve y_{ij}, *j.* denemedeki *i.*kalite karakteristiği ile ilgili kayıp fonksiyonudur. Buna göre Y_j aşağıdaki formülle bulunur:[76]

$$Y_j = \sum_{i}^{k} w_i y_{ij} \tag{4.4}$$

Adım 5: Çoklu Sinyal-Gürültü Oranının Hesaplanması (η_j)

Her bir deneme koşuluna göre toplam normalize edilmiş kalite kaybı (Y_j) hesaplandıktan sonra izleyen adım her bir tasarım noktasında çoklu SN oranını hesaplamaktır. Bu aşağıdaki formülle yapılır:

$$\eta_j = -10\log(Y_j) \tag{4.5}$$

Adım 6: Önemli Faktör/Etkileşim Etkileri ve Eniyi Kümelerin Belirlenmesi

Çoklu kalite karakteristikleriyle Taguchi'nin PT deneyinde STB ve LTB kalite karakteristikleriyle prosesin eniyi koşulları en yüksek çoklu SN oranıyla faktör seviyelerinin seçilmesiyle elde edilir. Bununla beraber NTB kalite karakteritikleri için, sadece ortalama kalite karakteristiğini etkileyen ve η'de etkisi olmayan faktör(ler) (ayarlama faktörleri) tanımlanır. Diğer bir deyişle istenen, ürünün fonksiyonel performansındaki varyasyonu azaltmak ve sonra ortalama karakteristiği hedef değere getirmektir. Önemli faktör ve etkileşim etkilerini tanımlamak için varyans analizinin (ANOVA) kullanılması önerilir.

---

[76] A.e.

ANOVA, toplam değişkenliği, değişkenliğin yararlı bileşenlerine ayırmak için kuvvetli bir araçtır. Çoklu kalite karakteristiği eniyileme problemi durumunda, çoklu SN oranlarının toplam değişkenliğini, faktörlerin (veya proses parametrelerinin) her biriyle ve hata terimiyle yapılan katkılar ayrılmalıdır.

Adım 7: Doğrulama Denemesi veya Deneyini Yapma

Doğrulama deneyini yapmanın amacı, eniyi faktör kümelerinin gerçekten gelişme sağlayıp sağlamadığını doğrulamaktır. Uygunluk deneyi için çoklu SN oranının üç denklemiyle öngörülemediği önemlidir. SN oranı değerlerinin (öngörülen ve gözlenen) ayrı ayrı karşılaştırılması önerilir. Her bir kalite karakteristiği için öngörülen SN oranı, gözlenen SN oranına yeteri kadar yakınsa, faktörler arasındaki etkileşimlerin araştırma için önemli olmadığı sonucu çıkarılır. Diğer taraftan öngörülen ve gözlenen SN oranları birbirine yakın değilse, o zaman etkileşimin varlığını gösterir ve bu yüzden bunu doğrulamak için ek deneyler yapılmalıdır.[77]

4.8 TAGUCHİ YÖNTEMİ'DE ÇOK YANITLI PROBLEMLER

Taguchi Yöntemi'de Çok Yanıtlı Problemler (ÇYP) az dikkate alınmıştır. Phadke, bir VLSI devre üretiminin polisilikon tortu (deposition) işleminde, *waferın (üzerinde çok kısımlı elektronik devre bulunan silikon parçaların)* kalınlık ve yüzey kusurlarını incelemek için Taguchi Yönteminini kullanmıştır. Mühendislik bilgisi ve ilgili deneyim yargısına dayanarak, bu çoklu (multiple) kalite karakteristik probleminde eniyi faktör seviyeleri seçmek için bu araştırmasında birkaç ödünleşimli (trade-offs) devre yapılmıştır. İnsan yargısıyla, deneysel sonuçların doğruluğu kolayca belirlenemez. Farklı mühendisler tarafından çelişkili sonuçlara ulaşılabilir. Bu yüzden, eniyi faktör seviyelerindeki belirsizlik artaktadır.

4.8.1 Çok Yanıtlı Problemlerle İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar

Çok yanıtlı problemlerle ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Phadke'nin Yaklaşımı, sadece deneyimli bir mühendis tarafından uygulanabilir. Logathetis ve Haigh, beş yanıtlı prosesi en iyi şekilde kullanmak için çoklu regresyon tekniği ve doğrusal programlama yaklaşımını Taguchi Yöntemi'yle

[77] A.e.

uygulamışlardır. Bununla beraber, eğer regresyon katsayılarının t-değerleri anlamsız veya R^2'nin (belirlilik katsayısının) değeri düşükse, onların yönteminin uygulaması kısıtlı olabilir. Ayrıca, onların yöntemi, hesaplama prosesinin karmaşıklığını arttırır; bunun için atölye ortamında (on shopfloor) kullanımını çok fazla zorlaştırmaktadır. Hung, değişik kalite karakteristik tiplerini (daha küçük-daha iyi, daha büyük-daha iyi ve nominal en iyi) 0 hedefli "nominal en iyi" karakteristiklerine dönüştürmüş ve SN oranını hesaplamak için her bir kalite karakteristiğine bir ağırlık vermiştir. Bununla birlikte, onun yöntemi sürekli ve kesikli veri (data) içeren problemin çözümünde kullanılamamıştır. Bundan başka, uygulamanın (implementation) bir sonucu olarak, belirli bir kalite karakteristiğinin ağırlığı arttırıldığında, sözkonusu kalite karakteristiğinin eniyi şartları aynı yönde hareket etmeyecektir. Bu sonuç, tatmin edici olmayan (unsatisfactory) bir durumdur. Shiau, kalite karakteristiğinin her bir SN oranına bir ağırlık atamış ve çok yanıtlı problemin performans ölçüsünü hesaplamak için ağırlıklandırılmış SN oranlarını 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 karakteristiğin kalite kaybını (maliyeti) gösterir. Bir sonuç olarak, bu iki yanıtlı problem için ağırlıklandırılmış SN oranı, $SN_0 = w_1(SN_1) + w_2(SN_2)$ olacaktır. Burada w_i, i. yanıtın ağırlığıdır. Eğer $SN_0 = -10 \log L$, L toplam kalite kaybı olarak görülebilir; o halde $L = L_1^{w1}.L_2^{w2}$ alınır. Bu denklemin, Taguchi'nin kalite kaybı perspektifinden açıklanması zordur. Tai et al., simetrik olmayan kayıp fonksiyonu için kuadratik modellemenin geçersiz olduğunu iddia etmektedir.[78]

Yüzey yapıştırma (mount) teknolojisi prosesindeki araştırmasında, altı değişken ve dokuz yanıt içeren çok yanıtlı problem için deneysel (ampirik) kayıp fonksiyonları geliştirmiştir. Çoklu yanıtlar, her bir yanıtın kalite kaybını temel alarak tekli yanıta çevrilebilir. Bununla beraber, bu deneysel kayıp fonksiyonları, sadece spesifik proseste kullanılabilir. Eğer, onların yöntemi uygulanırsa, deneysel kayıp fonksiyonları önceden bulunmalıdır. Dolayısıyla, problemin karmaşıklığı artacaktır.

---

[78]Lee-Ing Tong, Chao-Ton Su, Chung-Ho Wang, "The Optization Of Multi-Response Problems In The Taguchi Method", **Int.J. of Quality &Reliability Management**, Vol.14, No.4, 1997, 367-380, s.368

Bundan dolayı, Taguchi Yönteminde çok yanıtlı problemlerin eniyilemesi için, göreceli basit bir prosedür aşağıda verilmektedir.[79]

4.8.2 Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü

Çok yanıtlı prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi'nin uygulanması aşağıdaki düşünceleri içerir:[80]

- Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılamaz 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 içerir:[81]

Aşama1 : Kalite Kaybını Hesaplamak

Aşama II : Çok yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirlemek

Aşama III: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek.

Aşama IV: Doğrulama deneyinin yapılması

---

[79] A.e., s.369

[80] A.e.

[81] A.e.

Bu aşamalar birer alt başlık altında açıklanmaktadır.

4.8.2.1 Kalite Kaybını Hesaplama

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

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad \text{, daha küçük daha iyi yanıtı için,} \tag{4.6}$$

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad \text{, daha büyük daha iyi yanıtı için,} \tag{4.7}$$

$$L_{ij} = k_3 \left(\frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2 \quad \text{, nominal en iyi yanıtı için,} \tag{4.8}$$

Burada,

L_{ij} = j. denemede i. yanıtın kalite kaybı

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

n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

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

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

k_1, k_2, k_3= kalite kayıp katsayıları

dır.

Nominal en iyi kalite karakteristiği için Taguchi, SN'i

$$-10\log_{10}(MSD) = -10\log_{10}\left[\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - T)^2 \right] \tag{4.9}$$

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

$$SN = -10\log_{10} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \tag{4.10}$$

dır. $\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2$ ve $(\bar{y} - T)^2$'nin ikisini de en küçüklenmesini gerektirmeyen $SN = -10\log_{10}(MSD)$'yi en büyükleyen eniyi faktör seviyelerini seçmek ana neden(major reason)dir. Denklem (4.10) her hangi bir proses için istenen özellik

olan, SN'nin en büyüklenmesi $\frac{s^2}{\bar{y}^2}$'i en küçüklene uygun olması gerektiğini gösterir.

Sonuç olarak, nominal en iyi yanıt için kalite kaybı $L = k(\frac{s^2}{\bar{y}^2})$ denkleminden hesaplanır.

4.8.2.2 Çok Yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) Oranını Belirleme

Varyasyonun azaltılmasında birinci olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsü (scale) normalleştirmek gerekir. 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 yanıta uygun bir ağırlık verilir. En sonunda, MRSN oranı da TNQL'a dayanarak hesaplanır. Bu üç adım aşağıdaki gibi özetlenir:[82]

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

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \quad , \quad L_i^* = \max\{L_{i1}, L_{i2}, ..., L_{ij}\} dır. \tag{4.11}$$

Adım 2: Her deneme için normalleştirilen toplam kalite kaybını hesapla.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^{m} w_i C_{ij} \tag{4.12}$$

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

Adım 3: Her deneme için MRSN oranını belirle.

$$MRSN_j = -10\log_{10}(NTNQL_j) \tag{4.13}$$

4.8.2.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonunu Belirleme

Taguchi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumları için beklenen kalite kaybının dolaysız olarak en küçüklenmesini önermektedir. Nominal en iyi durumu için Taguchi, iki aşamalı, yani SN oranını enbüyüklemek ve sonra

[82] A.e., s.371

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:[83]

Adım 1: Faktör etkilerini hesapla

1. MRSN değerleri üzerinden faktör etkilerini çiz ve ana etkileri çizelgele.
2. 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.

1. MRSN üzerinde anlamlı etkisi olan kontrol faktörünü bul.
2. 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:

1. Daha küçük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
2. Daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
3. Daha küçük daha iyi, daha büyük daha iyi ve nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu
4. Hepsinin nominal en iyi karakteristiklerinin eniyilenmesi durumu.

Aşağıdaki iki gereksinimi karşılayan bir faktör, 1., 2. ve 3. durumlar için bir ayarlama faktör 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 için aday olarak seçilebilir. İkincisi, ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi

[83] A.e.

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.[84]

Çok yanıtlı bir problemde eniyi ayarlama faktörlerini belirlemek için ana noktalar (guidelines) yukarıda verilmiştir. Bu ana noktalardan eniyilenecek çok yönlü karakteristikler olduğu zaman, eniyi ayarlama faktörlerini belirleme işleminin daha çok karışık hale geldiği sonucu çıkarabilir. Bazen, uygun ayarlama faktörleri seçmek için gerekli ödünleşimler (trade-offs) yapılmalıdır. Bununla birlikte, ayarlama faktörlerinin seçiminde Phadke, uygun şekilde değiştirilebilen bir ayarlama faktörünün bulunmasının, ortalamayı tam hedefe getiren ayarlama faktörünün seviyesini bulmaktan daha yüksek önceliğe sahip olduğunu vurgular.[85]

4.8.2.4 Doğrulama Deneyinin Yapılması

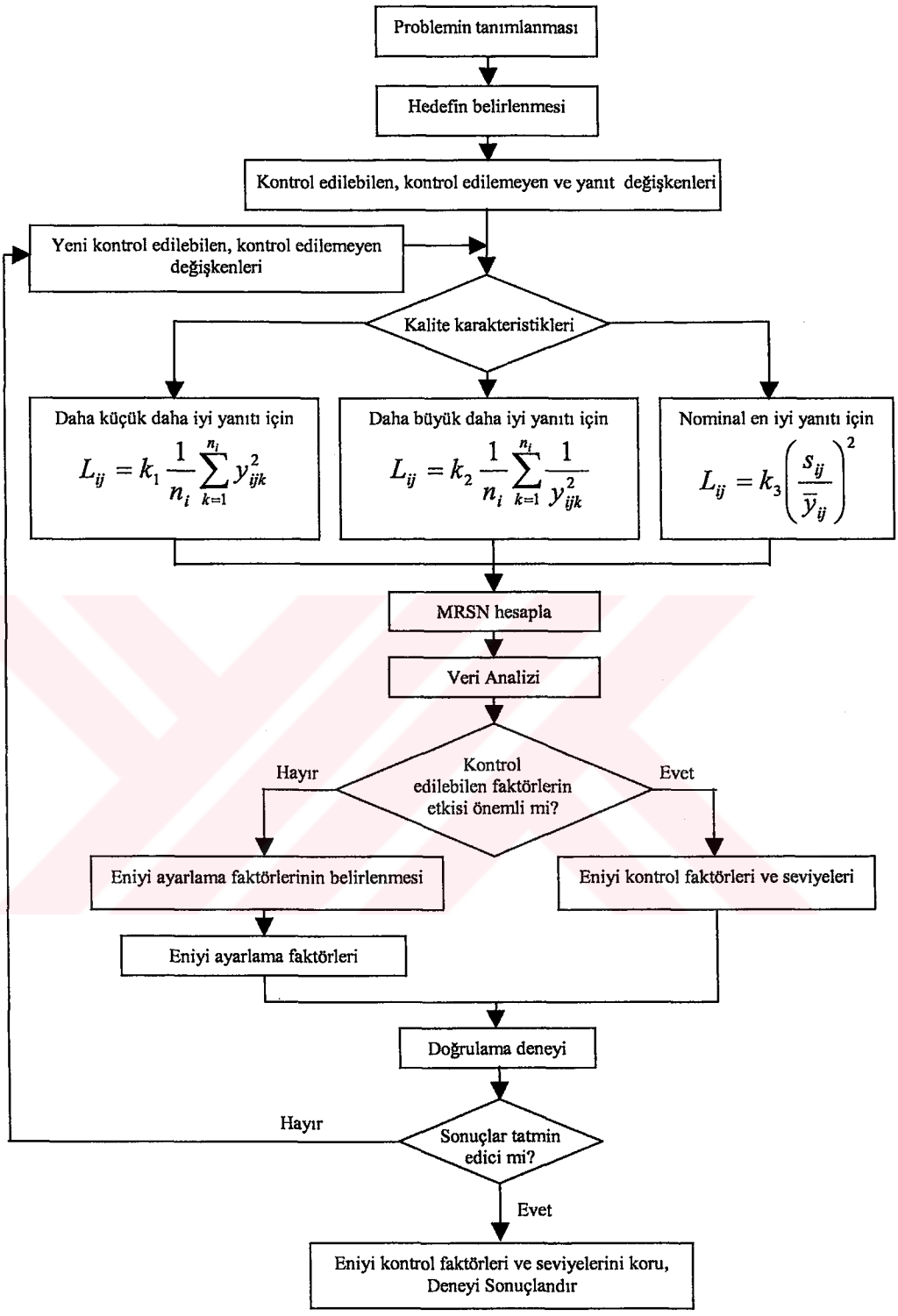
Eniyileme prosedüründe doğrulama deneyi için MRSN değeri olan temel sınırlama, denklem (4.13) kullanılarak hesaplanamaz. Bununla birlikte, gözlenen MRSN ile öngörülen değerin karşılaştırılması o kadar önemli değildir. Doğrulama deneyi, deneyle elde edilen en iyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve öngörülen SN oranları bir birlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin (additive model) iyi bir öngörü olduğuna karar verilebilir. Sonuç olarak, önerilen eniyi 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 kuşkulanılır. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir.[86]

---

[84] A.e., s.372

[85] A.e.

[86] A.e., s.372



Şekil 4.3 Taguchi Yöntemi'nde Çok Yanıtlı Problemler için Eniyileme Prosedürü[87]

[87] A.e., s.373

Bu prosedürün asıl gücü, onun evrensel olmasındadır; her türlü çok yanıtlı problemde kullanılabilir; sürekli ve kesikli veri tiplerine eşzamanlı olarak uygulanabilir. Taguchi yönteminde çok yanıtlı problemlerin çözümü için eniyileme prosedürü Şekil 4.3'de verilmiştir. Yapılan uygulamada bu eniyileme prosedürü kullanılmıştır. Uygulama bir otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, izleyen bölümde detaylı olarak anlatılmaktadır.

BÖLÜM 5

UYGULAMA

5.1 UYGULAMANIN YAPILDIĞI YER HAKKINDA GENEL BİLGİ

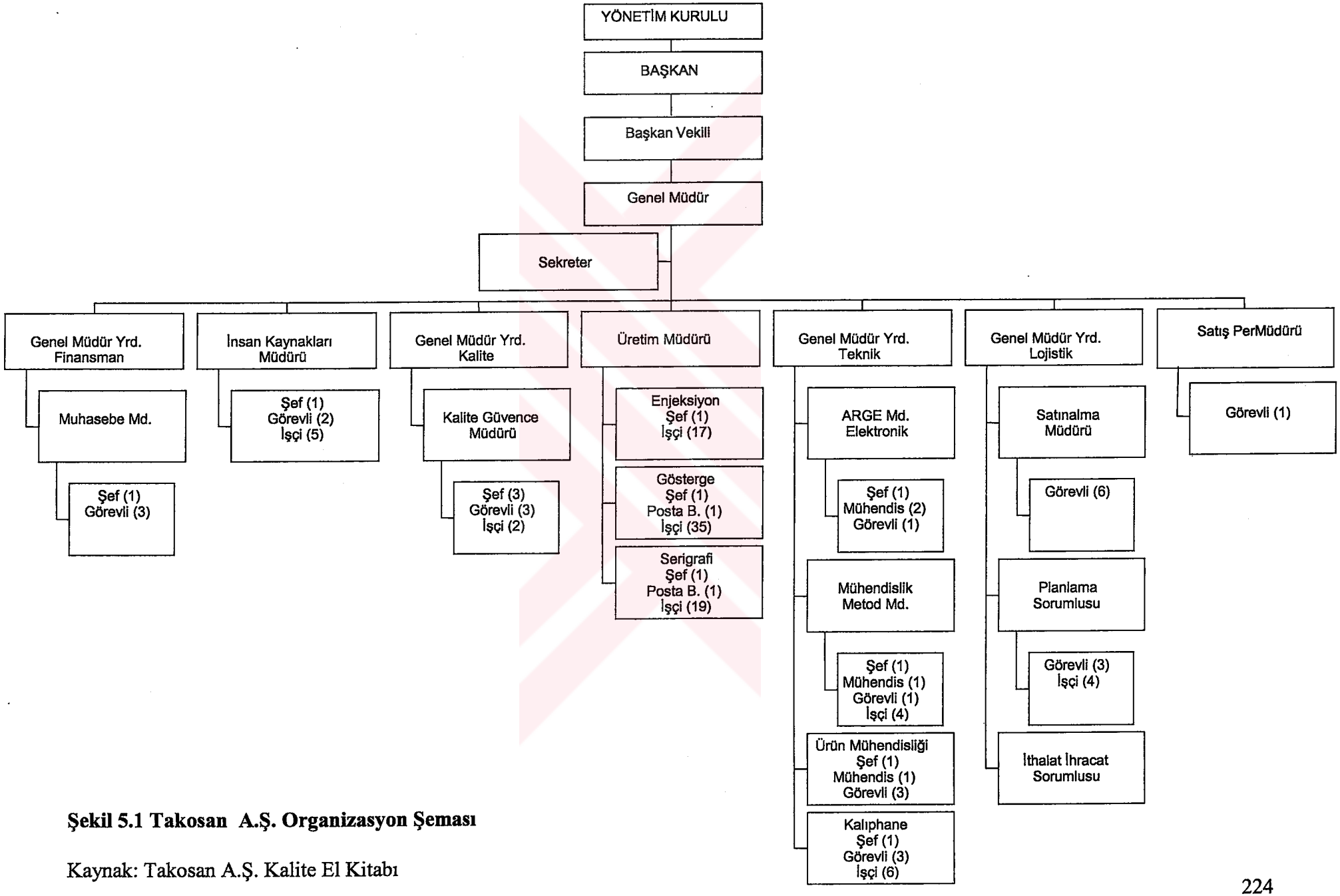
Takosan Otomobil Göstergeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. şu an yer aldığı; Davutpaşa Kışla Caddesi No.24. 34610 Güngören-İstanbul adresindeki binasında 1977 yılında kurulmuş olup 1979 yılında Veglia-Borletti lisansıyla otomotiv endüstrisinde üretime başlamıştır. Takosan Otomobil Göstergeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş 10 000 m^2 açık alan ve 8 500 m^2 kapalı alan olmak üzere toplam 18 500 m^2'lik bir alanda faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

Takosan Otomobil Göstergeleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de 58'i beyaz yakalı ve 96'sı mavi yakalı olmak üzere toplam 154 personel çalışmaktadır. Beyaz yakalı personelden 26'sı mühendis olup, değişik bölümlerde görev yapmaktadırlar. Yine mavi yakalı personelden 78'i üretimde çalışırken, geri kalan 18 personelde yardımcı işlerde (çaycı, güvenlik elemanı vb) çalışmaktadırlar. Takosan, yönetsel yapılanmasını tamamlamış ve günün koşulları gereği organizasyonunu revize edebilmektedir. Takosan'nın organizasyon şeması Şekil 5.1'de verilmiştir.

Ayrıca Key Plastics ve Lear gibi firmaların teknik desteği ile plastik parça üretimi gerçekleştirilmekte ve bu parçaların kalıpları ise sürekli gelişmekte olan kendi kalıphanesinde yapılmaktadır.

1999 yılından itibaren elektronik göstergeler konusunda Sagem, yakıt sistemleri konusunda da Bitron firmaları ile ortak çalışmalara başlanılmıştır. Söz konusu firmaların lisanslarıyla üretim yapılmaktadır.

Takosan, büyük ortak olarak Nursanlar Holding ve Koç Holding ortaklığı olup, 1994 yılında Magnetti Marelli Grubu ile ortaklık ilişkisine girmiştir. 2000 yılında da aynı konuda faaliyet gösteren Endiksan firmasını bünyesine dahil ederek, ticari araç parçaların üretimine de girmiştir.



Şekil 5.1 Takosan A.Ş. Organizasyon Şeması

Kaynak: Takosan A.Ş. Kalite El Kitabı

Takosan A.Ş., ana otomotiv endüstrisinin bir tedarikçisi olarak otomobil, ticari araç, motosiklet ve bisiklet için aşağıda sıralanan ürün çeşitlerini üretmektedir:

- Gösterge tabloları ve alt grupları (kilometre saati, devir sayacı, traktometre, yakıt-hararet-yağ seviye göstergeleri)
- Komütatörler (kumanda kolları-far/klakson/sinyal kolları, cam silgi kolları, vb)
- Zaman saatleri (dijital ve analog)
- Yakıt şamandraları
- Transmisyon telleri (Km telleri)
- Müşirler (hararet, yağ basınç)
- Takograf
- Taksimetre

Başlıca müşterileri Oyak-Renault, Fiat-Tofaş, Ford-Otosan, Karsan-Peugeot, Beldesan, Otoyol, Otokar, BMC, TTF, Uzel firmalarıdır.

Tesislerinde;

- 25 – 650 ton arası kapasitede plastik enjeksiyon üniteleri,
- 8 adet ana montaj bölümü,
- Serigrafi makinaları, sıcak baskı makinaları
- Boyahane ünitesi
- Kalıphane

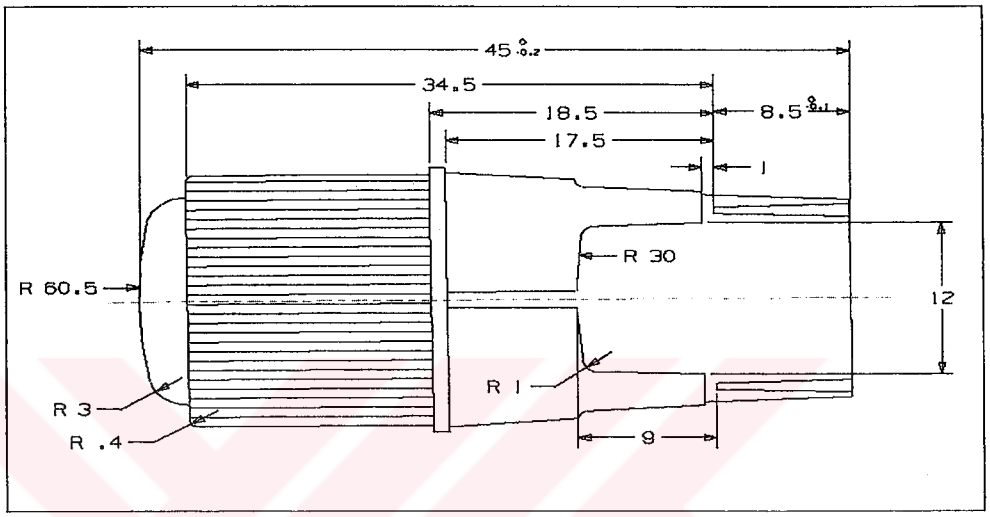
bulunmaktadır.

Takosan A.Ş., TS-ISO-9002 ve otomotiv sektörü için geliştirilen TS-ISO-16949 Kalite Güvence Sistem Standardı belgelerine sahiptir ve TS-ISO-14001 Çevre Yönetim Sistemi için de belgelendirme çalışmalarını devam ettirmektedir.

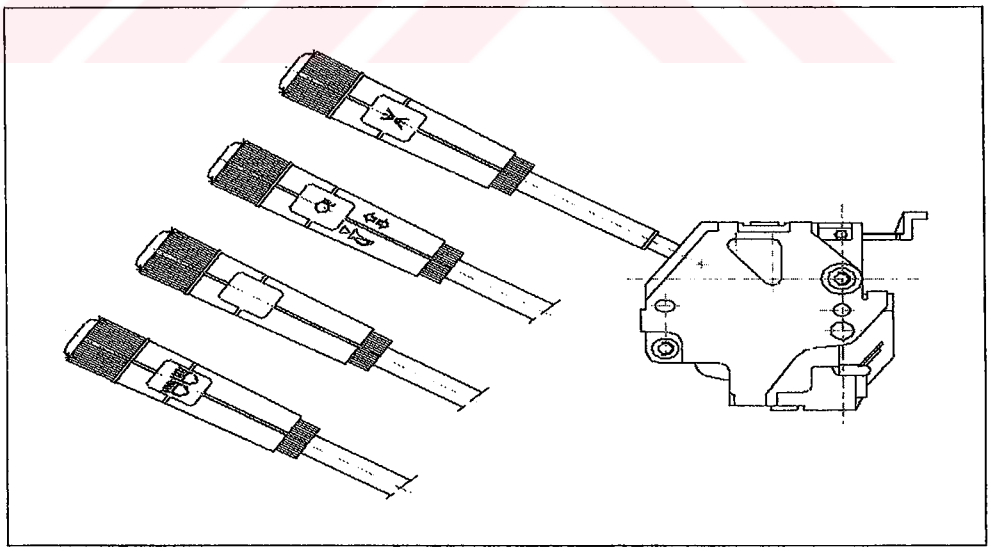
5.2 OTOMOTİV YAN SANAYİİNDE ÇOK YANITLI PROBLEMİN UYGULAMASI

Çok yanıtlı bir problemin belirlenmesi ve çalışma ortamının hazırlanması için ilgili kişilerle bilgi alış verişi sağlanmış; uygulama ile ilgili olarak bilgi verilmiştir. Bilgilendirme deney tasarımı ve Taguchi Yöntemlerinin tanıtımına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Beyin fırtınası (brainstorming) ve neden-sonuç (cause-and-effects) teknikleri ile üzerinde çalışılabilecek bazı problemler belirlenmiş ve bunlar

üzerinde tartışmalar yapılmıştır. Uygulama için en uygun, ölçülebilir ve tekrarlanabilir bir ürünün üretimi konusunda fikir alış verişi yaptıktan sonra üzerinde çalışma yapılacak ürünün **far kumanda kolu şapkası** (FKKŞ) (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3) olması kararlaştırılmıştır. Bundan sonra ürünle ilgili problemin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir.



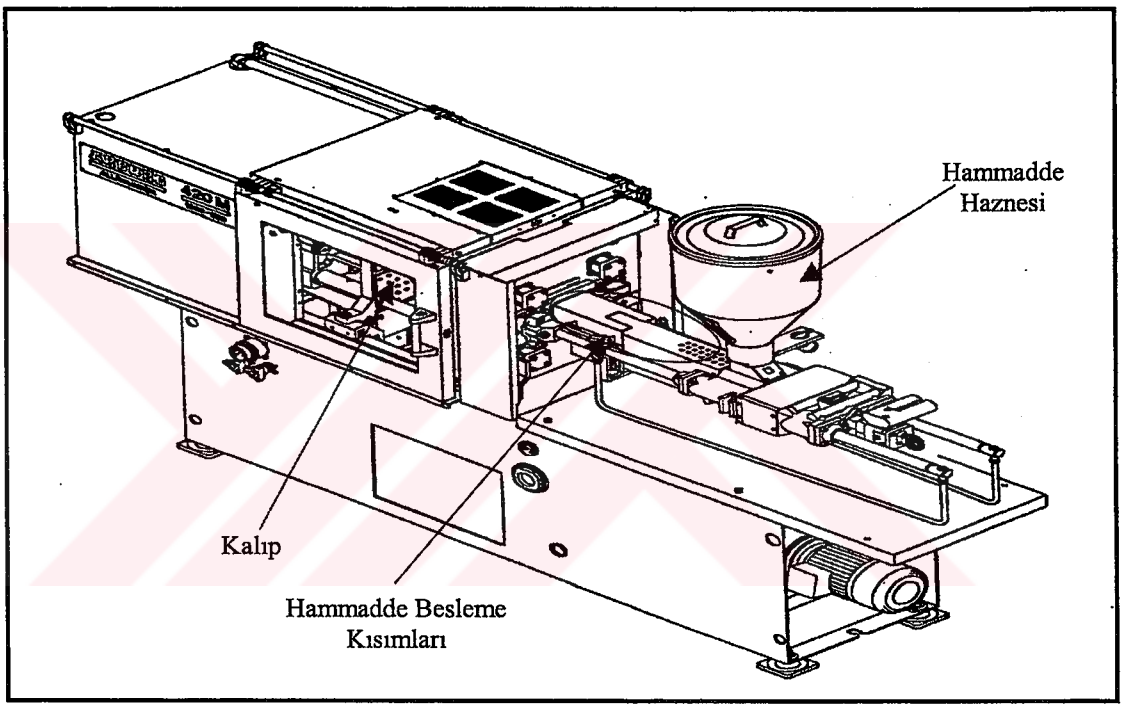
Şekil 5.2 Far Kumanda Kolu Şapkası



Şekil 5.3 Far Kumanda Kolu

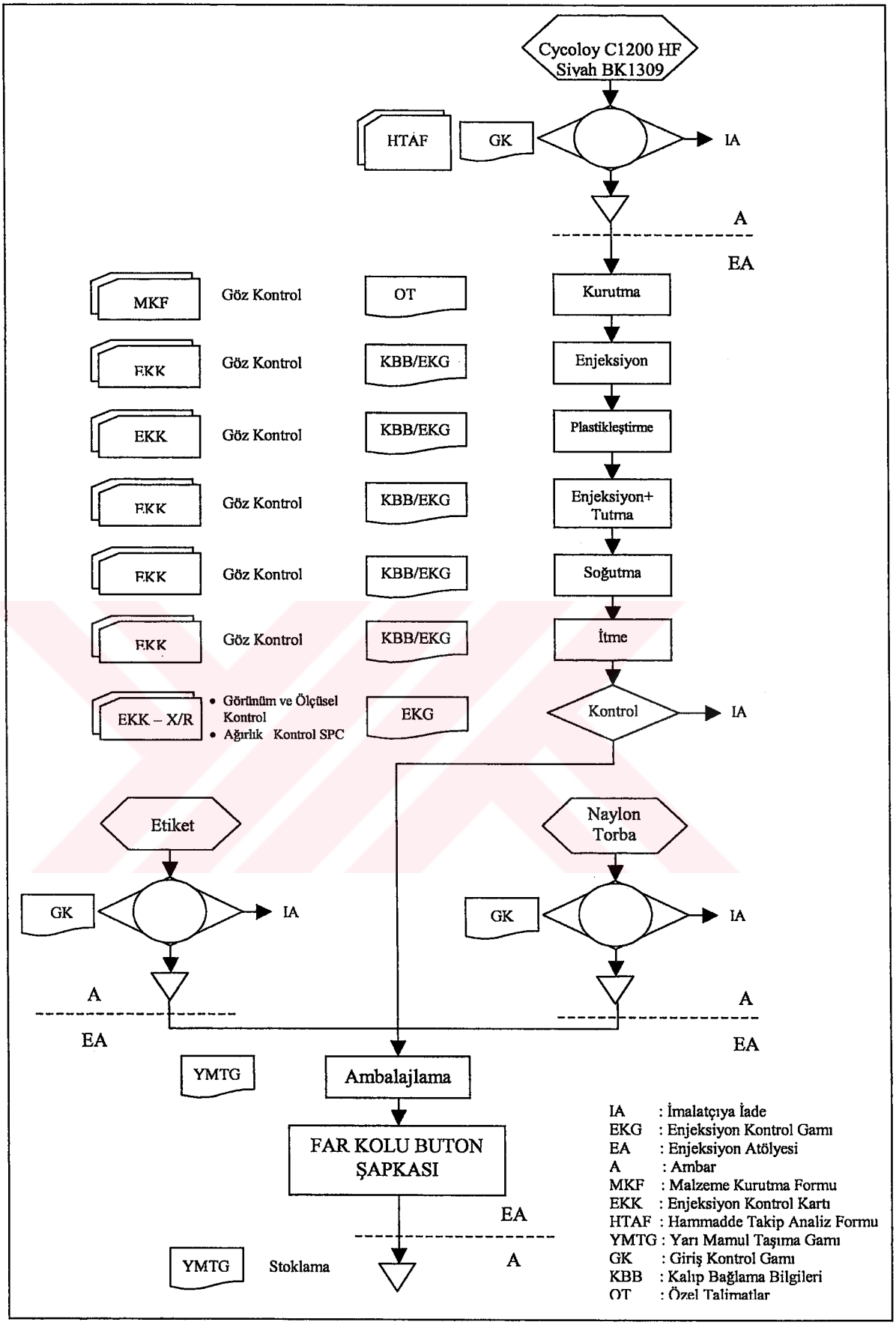
5.2.1 Problemin Belirlenmesi ve Çalışma Ekibinin Kurulması

Far kumanda kolu şapkası (FKKŞ), enjeksiyon makinasında (Şekil 5.4) ve çeşitli işlemlerden geçerek üretilmektedir. Ürünün hammaddesi olan poliamid, önce fırında çeşitli sıcaklıklarda ve belli sürelerde bekletilerek özel talimatlara kurutulmakta ve enjeksiyon makinasında plastikleştirilmektedir. Bu sıvı haldeki



Şekil 5.4 İncelenen Ürünleri Üreten Enjeksiyon Makinası

poliamid makinaya bağlanan kalıpta şekil verilmekte ve bir süre soğutulduktan sonra bir aparatla itilerek ürün kalıptan çıkarılmaktadır. Çıkan ürünler kontrol edildikten sonra spektlere göre hatalı olanlar ya kırılarak yeniden hammadde olarak kullanılmakta, eğer bu şekilde değerlendirilemeyecekse hurda olarak satılmaktadır; spektlere uygun olanlar ise ambarda veya enjeksiyon atölyesinde ambalajlanarak stoklanmakta veya müşteriye gönderilmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Ürün Akış Diyagramı

Üretimde karşılaşılan problem, ürünün (far kumanda kolu şapkası) baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklık olarak ele alınmıştır. Problem olarak görülen bombelik ve parlaklık Resim 5.1'den de açıkça görülmektedir. Bunların giderilmesinin yanısıra ürünün ağırlık ve boyutunun da hedef değerlerde veya hedef değer yakınlarında gerçekleştirilmesi, çalışmanın amacını oluşturmaktadır.



Resim 5.1 Üründeki Bombelik ve Parlaklık

Üzerinde çalışılacak ürünle ilgi problem belirlendikten sonra, uygulama çalışmalarımızda yardımcı olacak bir ekip; deneyim ve uzmanlıkları da dikkate alınarak oluşturulmuştur. Çalışma ekibine konu ile ilgili olarak ortalama 10 adam-saatlik eğitim verilmiş ve uygulanacak yöntem tanıtılmıştır. Uygulamada kullanılacak teknikler ve araçlar anlatılmıştır.

Çalışma ekibinin yaptığı toplantılarda beyin fırtınası (brainstorming) ve neden-sonuç (cause-and-effects) diyagramları kullanılarak problemle ilgili faktörler ve seviyeleri belirlenmiş; uygulamada üç kalite karakteristikli (yanıtlı) bir problem üzerinde çalışılmıştır. Çalışma ekibinin yaptığı tartışmalardan sonra ürünün ağırlığı, görünümü ve boyutu kalite karakteristikleri olarak alınmıştır. Bu karakteristiklerin öncelikleri de farklı olarak belirlenmiş ve önceliklere göre ağırlıklandırma yapılmış; ağırlık, görünüm ve boyut karakteristikleri için ağırlıkların sırasıyla 0.5:1.5:1.0 olmasına karar verilmiştir.

5.2.2 Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Çalışmada ürün üzerinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen faktörler ve bunların seviyeleri çalışma ekibi tarafından beyin fırtınası ve neden-sonuç araçları kullanılarak belirlenerek, bunların içerisinden en önemlileri olduğu düşünülen onüç faktör seçilmiştir. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesi ile incelenmiştir. Bu faktörlerin ikinci seviyeleri mevcut uygulamalarda kullanılan proses parametreleridir. Deney bu üç seviyeli onüç kontrol faktörünü içeren bir yapıda ($L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizi) ve yirmiyedi deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1 Kontrol Faktörleri ve Seviye Değerleri

	FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2	SEVİYE 3
1	A:Kurutma Sıcaklığı (°C)	70	80	90
2	B:Kurutma Süresi (saat)	2	3	4
3	C:Geri Basınç (bar)	30	45	60
4	D:Vida Hızı (devir/dakika)	15	20	25
5	E:Enjeksiyon Basıncı (bar)	900	1000	1100
6	F:Enjeksiyon Hızı (mm/saniye)	40	50	60
7	G:Tutma Basıncı 1 (bar)	700	800	900
8	H:Tutma Basıncı 2 (bar)	600	700	800
9	I :Tutma Basıncı 3 (bar)	500	600	700
10	J :Soğutma Süresi (saniye)	15	19	24
11	K:Kalıp Sıcaklığı (°C)	30	45	60
12	L :Ocak Sıcaklığı (T1+T2) (°C)	275+275	280+280	285+285
13	M:Ocak Sıcaklığı (T3+T4+T5) (°C)	280+282+293	285+287+298	290+292+303

5.2.3 Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Deney için uygun ortogonal dizi belirlenirken, faktörlerin seviye sayısına ve buna bağlı olarak da toplam serbestlik derecelerine göre karar verilir. Bu toplam serbestlik derecesine eşit 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.[1] Buna göre v faktörün serbestlik derecesi ve k ise faktöre ait seviye sayısı olmak üzere i. faktörün serbestlik derecesi

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

dir. Eşit seviyede n faktörün toplam serbestlik derecesi de

$$v_T=\Sigma v_i = nv_i \ (=N-1, \text{ N toplam deneme sayısı}) \qquad (5.2)$$

eşitliğinden bulunur. Buna göre onüç 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 iki (2) olduğundan onüç faktörün toplam serbestlik derecesi olan v_T de aşağıdaki gibi hesaplanabilir:[2]

$$v_T=\Sigma v_i=13^* \ v_A=13^*2=26$$

Bu koşullarda üç seviyeli ve 26 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L_{27} olduğundan deney için $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizisi (Tablo 5.2) seçilmiştir. Bu deneyde üç seviyeli onüç faktörün ana etkileri analiz edilebilmektedir. Bu faktörlerin

---

[1] Phillip J.Ross**Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw-Hill Book Co., 1989, s.74
[2] A.e. , s.74

Tablo 5.2 Deney Planı: $L_{27}(3^{13})$ Ortogonal Dizisi

Deney No	FAKTÖRLER												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
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
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

ana etkilerinin yanıtları nasıl etkilediği ortaya konulmaktadır. Uygulanacak deney koşulları da Tablo 5.3'te verilmektedir.

Tablo 5.3 L_{27} Ortogonal Dizisi İçin Deney Koşulları

Deney No	FAKTÖRLER												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	KURUTMA SICAKLIĞI	KURUTMA SÜRESİ	GERİ BASINÇ	VİDA HIZI	ENJEKSİYON BASINCI	ENJEKSİYON HIZI	TUTMA BASINCI 1	TUTMA BASINCI 2	TUTMA BASINCI 3	SOĞUTMA SÜRESİ	KALIP SICAKLIĞI	OCAK SICAKLIĞI (T1+T2)	OCAK SICAKLIĞI (T3+T4+T5)
1	70	2	30	15	900	40	700	600	500	15	30	275+275	280+282+293
2	70	2	30	15	1000	50	800	700	600	19	45	280+280	285+287+298
3	70	2	30	15	1100	60	900	800	700	24	60	285+285	290+292+303
4	70	3	45	20	900	40	700	700	600	19	60	285+285	290+292+303
5	70	3	45	20	1000	50	800	800	700	24	30	275+275	280+282+293
6	70	3	45	20	1100	60	900	600	500	15	45	280+280	285+287+298
7	70	4	60	25	900	40	700	800	700	24	45	280+280	285+287+298
8	70	4	60	25	1000	50	800	600	500	15	60	285+285	290+292+303
9	70	4	60	25	1100	60	900	700	600	19	30	275+275	280+282+293
10	80	2	45	25	900	50	900	600	600	24	30	280+280	290+292+303
11	80	2	45	25	1000	60	700	700	700	15	45	285+285	280+282+293
12	80	2	45	25	1100	40	800	800	500	19	60	275+275	285+287+298
13	80	3	60	15	900	50	900	700	700	15	60	275+275	285+287+298
14	80	3	60	15	1000	60	700	800	500	19	30	280+280	290+292+303
15	80	3	60	15	1100	40	800	600	600	24	45	285+285	280+282+293
16	80	4	30	20	900	50	900	800	500	19	45	285+285	280+282+293
17	80	4	30	20	1000	60	700	600	600	24	60	275+275	285+287+298
18	80	4	30	20	1100	40	800	700	700	15	30	280+280	290+292+303
19	90	2	60	20	900	60	800	600	700	19	30	285+285	285+287+298
20	90	2	60	20	1000	40	900	700	500	24	45	275+275	290+292+303
21	90	2	60	20	1100	50	700	800	600	15	60	280+280	280+282+293
22	90	3	30	25	900	60	800	700	500	24	60	280+280	280+282+293
23	90	3	30	25	1000	40	900	800	600	15	30	285+285	285+287+298
24	90	3	30	25	1100	50	700	600	700	19	45	275+275	290+292+303
25	90	4	45	15	900	60	800	800	600	15	45	275+275	290+292+303
26	90	4	45	15	1000	40	900	600	700	19	60	280+280	280+282+293
27	90	4	45	15	1100	50	700	700	500	24	30	285+285	285+287+298

Ortogonal dizilerin 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 şey diğer bütün faktörler için de geçerlidir. Bu durum Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te açıkça görülmektedir.

Tablo 5.4 Faktör Seviyelerinin Deney Planında (L_{27}) Dağılımı

| Deney No | FAKTÖRLER | | |

elemanlar periyodik olarak çeşitli eğitim ve testlere tabi tutularak yetiştirilmektedirler; bir başka deyişle, zaman zaman kalibre edilmektedirler. Üretilen parçalar görünüm açısından incelenmesi, geçer/geçmez şeklinde yapılmaktadır. Değerlendirme sonuçları metrik değerlere (0 ve 1) dönüştürülerek (Tablo 5.6) sayısal olarak hesaplama, inceleme ve analizlere uygun hale getirilmektedir.

Her deneyde üç yanıt (kalite karakteristiği) için 10'ar veri olmak üzere toplam 810 (=27*10*3) veri elde edilmiş ve söz konusu karakteristiklere ait veriler Tablo 5.5, Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmiştir. Bu verilere dayanarak, her bir yanıtın ortalama, standard sapma ve değişim aralığı değerleri deney bazında hesaplanmıştır.

Tablo 5.5 Ağırlık Verileri

Deney No	AĞIRLIK VERİLERİ										AĞIRLIK İÇİN			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOP1	ORT1	SS1	R1
1	8,64	8,65	8,64	8,64	8,64	8,65	8,64	8,64	8,64	8,64	86,42	8,64	0,004	0,01
2	8,63	8,63	8,64	8,64	8,62	8,62	8,61	8,61	8,61	8,63	86,24	8,62	0,012	0,03
3	8,58	8,61	8,64	8,60	8,59	8,58	8,58	8,60	8,59	8,59	85,96	8,60	0,018	0,06
4	8,60	8,64	8,66	8,60	8,68	8,61	8,59	8,60	8,60	8,73	86,31	8,63	0,046	0,14
5	8,62	8,63	8,66	8,67	8,64	8,63	8,64	8,63	8,63	8,62	86,37	8,64	0,016	0,05
6	8,63	8,62	8,62	8,66	8,62	8,63	8,63	8,63	8,80	8,69	86,53	8,65	0,056	0,18
7	8,70	8,82	8,63	8,68	8,62	8,63	8,64	8,60	8,63	8,67	86,62	8,66	0,063	0,22
8	8,60	8,61	8,62	8,71	8,61	8,60	8,63	8,61	8,60	8,60	86,19	8,62	0,033	0,11
9	8,66	8,66	8,66	8,67	8,65	8,65	8,64	8,64	8,64	8,64	86,51	8,65	0,011	0,03
10	8,64	8,68	8,63	8,64	8,67	8,64	8,63	8,63	8,62	8,62	86,40	8,64	0,020	0,06
11	8,62	8,61	8,61	8,62	8,62	8,62	8,62	8,62	8,63	8,64	86,21	8,62	0,009	0,03
12	8,65	8,63	8,73	8,63	8,63	8,67	8,65	8,63	8,62	8,63	86,47	8,65	0,033	0,11
13	8,67	8,67	8,71	8,66	8,67	8,68	8,66	8,66	8,68	8,74	86,80	8,68	0,026	0,08
14	8,63	8,64	8,64	8,64	8,64	8,63	8,63	8,63	8,63	8,64	86,35	8,64	0,005	0,01
15	8,63	8,62	8,62	8,60	8,65	8,61	8,62	8,61	8,66	8,59	86,21	8,62	0,021	0,07
16	8,58	8,57	8,60	8,58	8,68	8,75	8,58	8,57	8,63	8,65	86,19	8,62	0,059	0,18
17	8,65	8,64	8,63	8,65	8,66	8,64	8,63	8,63	8,62	8,64	86,39	8,64	0,012	0,04
18	8,62	8,60	8,62	8,61	8,63	8,64	8,64	8,62	8,60	8,60	86,18	8,62	0,015	0,04
19	8,61	8,76	8,59	8,57	8,63	8,66	8,65	8,69	8,64	8,67	86,47	8,65	0,054	0,19
20	8,76	8,63	8,69	8,71	8,64	8,65	8,65	8,65	8,63	8,67	86,68	8,67	0,041	0,13
21	8,64	8,64	8,71	8,64	8,60	8,62	8,63	8,65	8,68	8,69	86,50	8,65	0,034	0,11
22	8,63	8,68	8,73	8,64	8,63	8,63	8,61	8,62	8,62	8,63	86,42	8,64	0,036	0,12
23	8,60	8,61	8,65	8,59	8,60	8,67	8,63	8,64	8,59	8,61	86,19	8,62	0,027	0,08
24	8,62	8,62	8,60	8,62	8,62	8,62	8,62	8,61	8,60	8,62	86,15	8,62	0,008	0,02
25	8,64	8,66	8,64	8,65	8,68	8,76	8,73	8,66	8,70	8,65	86,77	8,68	0,041	0,12
26	8,64	8,66	8,68	8,63	8,60	8,58	8,59	8,61	8,63	8,59	86,21	8,62	0,033	0,10
27	8,61	8,64	8,62	8,59	8,61	8,60	8,62	8,61	8,64	8,60	86,14	8,61	0,016	0,05

Tablo 5.6 Görünüm Verileri

Deney No	GÖRÜNÜM İÇİN NİTEL VERİLER										GÖRÜNÜM İÇİN METRİK VERİLER										METRİK VERİLER İÇİN			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOP2	ORT2	SS2	R2
1	H	H	H	H	H	H	E	H	H	H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.10	0.316	1
2	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
3	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
4	H	H	H	H	H	H	H	H	E	E	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0.20	0.422	1
5	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
6	H	H	H	H	H	H	H	E	H	H	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0.10	0.316	1
7	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
8	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
9	E	E	E	E	E	E	E	H	E	E	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9	0.90	0.316	1
10	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
11	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
12	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.10	0.316	1
13	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
14	E	H	H	H	E	H	H	H	H	H	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0.20	0.422	1
15	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
16	H	H	H	H	E	E	E	E	E	E	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6	0.60	0.516	1
17	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
18	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
19	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
20	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
21	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
22	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0
23	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
24	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0
25	E	H	H	H	H	H	H	H	H	H	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.10	0.316	1
26	H	H	E	H	H	H	H	H	H	H	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.10	0.316	1
27	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1.00	0.000	0

E: Geçer (1) H: Geçmez (0)

5.2.4.1 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}, $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri sırasıyla Bölüm 4'teki (4.11), (4.12) ve (4.13) eşitlikleri kullanılarak

hesaplanmışlardır. Örnek olarak, 1 nolu deneye ait hesaplanmış değerler aşağıda verilmektedir. Deney için söz konusu üç yanıtın 1 nolu deneydeki normalleştirilen kalite kayıpları aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$C_{11} = \frac{L_{11}}{L_1^*} = \frac{2.38*10^{-7}}{5.33*10^{-5}} = 4.47*10^{-3},$$

$$C_{21} = \frac{L_{21}}{L_2^*} = \frac{10.0000}{10.0000} = 1.0000 \text{ ve}$$

$$C_{31} = \frac{L_{31}}{L_3^*} = \frac{2.55*10^{-4}}{2.53*10^{-3}} = 0.10072$$

bulunur.Burada;

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

Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kalite kaybı ise (4.12) eşitliğinden yararlanarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$TNQL_1 = w_1C_{11} + w_2C_{21} + w_3C_{31} = 1*0.00447 + 3*1.00000 + 2*0.10072$$
$$= 3.2059$$

Burada;

$TNQL_1$: 1 nolu deney için normalleştirilen toplam kalite kaybını ifade etmektedir.

Farklı ağırlıklara göre hesaplanan yirmiyedi deney kombinasyonuna ait TNQLj değerleri Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmektedir.

5.2.4.2 Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranının Belirlenmesi

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. TNQL'nın daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir. w_1=1, w_2=3 ve w_3=2 için çok yanıtlı sinyal gürültü oranını hesaplamak için, (4.13) eşitliğinin kullanılacağı yukarıda belirtilmişti. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı değeri eşitlikte yerine konularak 1 nolu deney için performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı,

$$MRSN_1 = -10\log_{10}(TNQL_1)$$

$$= -10\log_{10}(3.2059)$$

$$= -5.060$$

olarak bulunur.

Tablo 5.7 Boyut Verileri

Deney No	BOYUT										BOYUT İÇİN			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOP3	ORT3	SS3	R3
1	46.79	46.06	47.52	47.15	47.37	46.82	45.42	47.62	46.57	47.82	469.14	46.91	0.749	2.40
2	46.47	46.52	46.15	46.32	46.39	46.22	46.63	46.54	46.10	46.20	463.54	46.35	0.183	0.53
3	45.46	45.47	45.37	45.46	45.47	45.47	45.52	45.38	45.51	45.51	454.62	45.46	0.051	0.15
4	46.67	46.58	46.64	46.04	46.40	46.24	45.94	46.14	45.60	45.71	461.96	46.20	0.380	1.07
5	45.13	45.19	45.24	45.26	45.20	45.18	45.17	45.23	45.23	45.14	451.97	45.20	0.043	0.13
6	48.02	47.28	46.91	46.40	47.79	46.26	47.95	45.73	46.95	48.58	471.87	47.19	0.902	2.85
7	45.46	45.49	45.19	45.38	45.16	45.16	45.26	45.20	45.24	45.32	452.86	45.29	0.122	0.33
8	48.16	50.19	48.55	46.16	48.43	49.81	48.35	49.49	48.40	49.47	487.01	48.70	1.141	4.03
9	45.90	45.88	45.96	45.94	45.62	45.95	45.86	46.10	45.87	45.93	459.01	45.90	0.120	0.48
10	45.40	45.34	45.34	45.39	45.38	45.38	45.30	45.30	45.32	45.27	453.42	45.34	0.044	0.13
11	47.14	46.80	46.83	47.84	46.90	46.71	47.48	47.39	47.20	47.24	471.53	47.15	0.355	1.13
12	46.34	46.27	45.48	45.84	46.36	46.56	45.80	46.30	46.57	46.35	461.87	46.19	0.358	1.09
13	49.35	47.86	47.74	49.25	48.82	47.94	49.26	49.29	49.26	47.27	486.04	48.60	0.808	2.08
14	45.61	46.12	46.36	46.66	45.79	46.55	46.12	45.94	46.18	45.99	461.32	46.13	0.326	1.05
15	45.11	45.02	45.03	45.05	45.10	45.07	45.07	45.05	45.10	45.04	450.64	45.06	0.031	0.09
16	45.95	45.92	45.84	46.00	45.53	45.48	45.62	45.77	45.39	45.63	457.13	45.71	0.213	0.61
17	45.15	45.48	45.42	45.30	45.56	45.48	45.47	45.57	45.35	45.46	454.24	45.42	0.127	0.42
18	49.61	47.63	47.13	50.10	49.21	47.59	47.72	49.17	50.38	49.26	487.80	48.78	1.162	3.25
19	45.62	45.81	45.62	45.68	45.77	45.58	45.73	45.89	45.83	45.19	456.72	45.67	0.197	0.70
20	45.48	45.36	45.54	45.58	45.40	45.43	45.53	45.48	45.37	45.53	454.70	45.47	0.077	0.22
21	49.64	47.64	47.72	50.37	48.63	47.41	49.77	47.91	47.92	47.99	485.00	48.50	1.049	2.96
22	45.17	45.30	45.27	45.23	45.12	45.19	45.14	45.04	45.03	45.22	451.71	45.17	0.090	0.27
23	48.88	49.58	48.08	50.27	49.46	48.10	48.20	48.60	47.06	48.97	487.20	48.72	0.920	3.21
24	47.08	46.73	46.82	46.78	46.68	46.19	46.62	47.54	47.15	47.02	468.61	46.86	0.363	1.35
25	45.56	51.60	50.02	54.17	48.86	47.67	47.15	50.68	49.00	47.77	492.48	49.25	2.479	8.61
26	46.42	46.09	45.88	46.42	46.28	46.16	46.29	46.42	46.34	46.48	462.78	46.28	0.186	0.60
27	45.17	45.23	45.24	44.99	45.25	45.20	45.24	45.23	45.14	45.19	451.88	45.19	0.078	0.26

Benzer şekilde bulunan diğer bütün deneylere ait L_{ij}, C_{ij}, $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri Tablo 5.8'de verilmektedir. Tablo 5.8'den de açıkça görüldüğü gibi aynı kombinasyonda farklı ağırlıklar (w_i) için farklı $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri bulunmuştur. Bunlar sırasıyla Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da açıkça görülmektedir. Tablo 5.11'de deneyde kullanılan faktör/seviye kombinasyonlarına göre hesaplanan ortalama kalite karakteristik değerleri ve bunlara ait yanıtlar verilmektedir. Ağırlıklar değiştikçe $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri de önemli derecede değişmektedir.

Tablo 5.8 Ölçülen Verilerden Hesaplanan Ortalamalar ve L_{ij}, C_{ij} $TNQL_j$, $MRSN_j$ Değerleri

Deney No	AĞIRLIK				METRK				BOYUT				AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	1:3:2 için		1:2:2 için		2:6:3 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}	$TNQL_j$	$MRSN_j$	$TNQL_j$	$MRSN_j$	$TNQL_j$	$MRSN_j$
1	86,42	8,64	0,004	0,01	1	0,10	0,316	1	469,14	46,91	0,749	2,40	2,38E-07	1,00E+01	2,55E-04	0.00447	1.00000	0.10072	3.2059	-5,060	2.2059	-3,436	6.3111	-8,001
2	86,24	8,62	0,012	0,03	0	0,00	0,000	0	463,54	46,35	0,183	0,53	1,85E-06	-	1,56E-05	0.03479	-	0.00617	-	-	-	-	-	-
3	85,96	8,60	0,018	0,06	10	1,00	0,000	1	454,62	45,46	0,051	0,15	4,57E-06	0,00E+00	1,26E-06	0.08584	0.00000	0.00050	0.0868	10,613	0.0868	10,613	0.1732	7,615
4	86,31	8,63	0,046	0,14	2	0,20	0,422	1	461,96	46,20	0,380	1,07	2,85E-05	4,44E+00	6,75E-05	0.53469	0.44444	0.02666	1.9213	-2,836	1.4769	-1,694	3.8160	-5,816
5	86,37	8,64	0,016	0,05	10	1,00	0,000	1	451,97	45,20	0,043	0,13	3,59E-06	0,00E+00	9,14E-07	0.06741	0.00000	0.00036	0.0681	11,667	0.0681	11,667	0.1359	8,668
6	86,53	8,65	0,056	0,18	1	0,10	0,316	1	471,87	47,19	0,902	2,85	4,22E-05	1,00E+01	3,65E-04	0.79169	1.00000	0.14426	4.0802	-6,107	3.0802	-4,886	8.0162	-9,040
7	86,62	8,66	0,063	0,22	10	1,00	0,000	1	452,86	45,29	0,122	0,33	5,33E-05	0,00E+00	7,21E-06	1.00000	0.00000	0.00285	1.0057	-0,025	1.0057	-0,025	2.0085	-3,029
8	86,19	8,62	0,033	0,11	0	0,00	0,000	0	487,01	48,70	1,141	4,03	1,51E-05	-	5,49E-04	0.28340	-	0.21675	-	-	-	-	-	-
9	86,51	8,65	0,011	0,03	9	0,90	0,316	1	459,01	45,90	0,120	0,48	1,62E-06	1,23E-01	6,85E-06	0.03039	0.01235	0.00270	0.0728	11,377	0.0605	12,183	0.1430	8,448
10	86,40	8,64	0,020	0,06	10	1,00	0,000	1	453,42	45,34	0,044	0,13	5,36E-06	0,00E+00	9,60E-07	0.10062	0.00000	0.00038	0.1014	9,940	0.1014	9,940	0.2024	6,938
11	86,21	8,62	0,009	0,03	0	0,00	0,000	0	471,53	47,15	0,355	1,13	1,03E-06	-	5,67E-05	0.01937	-	0.02238	-	-	-	-	-	-
12	86,47	8,65	0,033	0,11	1	0,10	0,316	1	461,87	46,19	0,358	1,09	1,43E-05	1,00E+01	6,02E-05	0.26817	1.00000	0.02376	3.3157	-5,206	2.3157	-3,647	6.6076	-8,200
13	86,80	8,68	0,026	0,08	0	0,00	0,000	0	486,04	48,60	0,808	2,08	8,85E-06	-	2,76E-04	0.16616	-	0.10903	-	-	-	-	-	-
14	86,35	8,64	0,005	0,01	2	0,20	0,422	1	461,32	46,13	0,326	1,05	3,73E-07	4,44E+00	4,98E-05	0.00700	0.44444	0.01967	1.3797	-1,398	0.9352	0,291	2.7397	-4,477
15	86,21	8,62	0,021	0,07	10	1,00	0,000	1	450,64	45,06	0,031	0,09	6,11E-06	0,00E+00	4,84E-07	0.11482	0.00000	0.00019	0.1152	9,385	0.1152	9,385	0.2302	6,379
16	86,19	8,62	0,059	0,18	6	0,60	0,516	1	457,13	45,71	0,213	0,61	4,74E-05	7,41E-01	2,17E-05	0.89007	0.07407	0.00857	1.1294	-0,529	1.0554	-0,234	2.2503	-3,522
17	86,39	8,64	0,012	0,04	10	1,00	0,000	1	454,24	45,42	0,127	0,42	1,92E-06	0,00E+00	7,83E-06	0.03606	0.00000	0.00309	0.0422	13,742	0.0422	13,742	0.0814	10,894
18	86,18	8,62	0,015	0,04	0	0,00	0,000	0	487,80	48,78	1,162	3,25	3,23E-06	-	5,67E-04	0.06068	-	0.22385	-	-	-	-	-	-
19	86,47	8,65	0,054	0,19	10	1,00	0,000	1	456,72	45,67	0,197	0,70	3,89E-05	0,00E+00	1,87E-05	0.73140	0.00000	0.00738	0.7461	1,272	0.7461	1,272	1.4849	-1,717
20	86,68	8,67	0,041	0,13	10	1,00	0,000	1	454,70	45,47	0,077	0,22	2,27E-05	0,00E+00	2,85E-06	0.42655	0.00000	0.00112	0.4288	3,677	0.4288	3,677	0.8565	0,673
21	86,50	8,65	0,034	0,11	0	0,00	0,000	0	485,00	48,50	1,049	2,96	1,51E-05	-	4,68E-04	0.28444	-	0.18474	-	-	-	-	-	-
22	86,42	8,64	0,036	0,12	10	1,00	0,000	1	451,71	45,17	0,090	0,27	1,75E-05	0,00E+00	3,99E-06	0.32855	0.00000	0.00158	0.3317	4,793	0.3317	4,793	0.6618	1,793
23	86,19	8,62	0,027	0,08	0	0,00	0,000	0	487,20	48,72	0,920	3,21	1,00E-05	-	3,56E-04	0.18790	-	0.14067	-	-	-	-	-	-
24	86,15	8,62	0,008	0,02	0	0,00	0,000	0	468,61	46,86	0,363	1,35	9,73E-07	-	5,99E-05	0.01827	-	0.02366	-	-	-	-	-	-
25	86,77	8,68	0,041	0,12	1	0,10	0,316	1	492,48	49,25	2,479	8,61	2,22E-05	1,00E+01	2,53E-03	0.41597	1.00000	1.00000	5.4160	-7,357	4.4160	-6,450	9.8319	-9,926
26	86,21	8,62	0,033	0,1	1	0,10	0,316	1	462,78	46,28	0,186	0,60	1,45E-05	1,00E+01	1,62E-05	0.27204	1.00000	0.00641	3.2849	-5,165	2.2849	-3,589	6.5633	-8,171
27	86,14	8,61	0,016	0,05	10	1,00	0,000	1	451,88	45,19	0,078	0,26	3,65E-06	0,00E+00	2,98E-06	0.06861	0.00000	0.00118	0.0710	11,490	0.0710	11,490	0.1408	8,515

Bazı deney kombinasyonlarında farklı ağırlıkların önemli bir değişmeye neden olmadığı (3, 5, 7, 10, 15, 19, 20, 22, 27 nolu deneyler ve 1:3:2 ile 1:2:2 ağırlıkları için) görülmektedir (Tablo 5.9 ve Tablo 5.10). Tablo 5.11'den de görüldüğü gibi bir çok kombinasyonun uygun kombinasyonlar olmadığı açıktır (- veya negatif değerli satırlar). Bu kombinasyonlarda görünüm kalite karakteristiğine ait ortalamalar ya sıfır (0) ya da çok küçük bir değerdir. Bu da söz konusu deney kombinasyonu için üretilen ürünlerin çok azının kabu edilebilir olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.9 Farklı Ağırlıklara Göre Hesaplanan TNQL Değerleri

Deney No	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	1:3:2 için	1:2:2 için	2:6:3 için
	L1j	L2j	L3j	C1j	C2j	C3j	TNQLj	TNQLj	TNQLj
1	2,38E-07	1,00E+01	2,55E-04	0.00447	1.00000	0.10072	3.2059	2.2059	6.3111
2	1,85E-06	-	1,56E-05	0.03479	-	0.00617	-	-	-
3	4,57E-06	0,00E+00	1,26E-06	0.08584	0.00000	0.00050	0.0868	0.0868	0.1732
4	2,85E-05	4,44E+00	6,75E-05	0.53469	0.44444	0.02666	1.9213	1.4769	3.8160
5	3,59E-06	0,00E+00	9,14E-07	0.06741	0.00000	0.00036	0.0681	0.0681	0.1359
6	4,22E-05	1,00E+01	3,65E-04	0.79169	1.00000	0.14426	4.0802	3.0802	8.0162
7	5,33E-05	0,00E+00	7,21E-06	1.00000	0.00000	0.00285	1.0057	1.0057	2.0085
8	1,51E-05	-	5,49E-04	0.28340	-	0.21675	-	-	-
9	1,62E-06	1,23E-01	6,85E-06	0.03039	0.01235	0.00270	0.0728	0.0605	0.1430
10	5,36E-06	0,00E+00	9,60E-07	0.10062	0.00000	0.00038	0.1014	0.1014	0.2024
11	1,03E-06	-	5,67E-05	0.01937	-	0.02238	-	-	-
12	1,43E-05	1,00E+01	6,02E-05	0.26817	1.00000	0.02376	3.3157	2.3157	6.6076
13	8,85E-06	-	2,76E-04	0.16616	-	0.10903	-	-	-
14	3,73E-07	4,44E+00	4,98E-05	0.00700	0.44444	0.01967	1.3797	0.9352	2.7397
15	6,11E-06	0,00E+00	4,84E-07	0.11482	0.00000	0.00019	0.1152	0.1152	0.2302
16	4,74E-05	7,41E-01	2,17E-05	0.89007	0.07407	0.00857	1.1294	1.0554	2.2503
17	1,92E-06	0,00E+00	7,83E-06	0.03606	0.00000	0.00309	0.0422	0.0422	0.0814
18	3,23E-06	-	5,67E-04	0.06068	-	0.22385	-	-	-
19	3,89E-05	0,00E+00	1,87E-05	0.73140	0.00000	0.00738	0.7461	0.7461	1.4849
20	2,27E-05	0,00E+00	2,85E-06	0.42655	0.00000	0.00112	0.4288	0.4288	0.8565
21	1,51E-05	-	4,68E-04	0.28444	-	0.18474	-	-	-
22	1,75E-05	0,00E+00	3,99E-06	0.32855	0.00000	0.00158	0.3317	0.3317	0.6618
23	1,00E-05	-	3,56E-04	0.18790	-	0.14067	-	-	-
24	9,73E-07	-	5,99E-05	0.01827	-	0.02366	-	-	-
25	2,22E-05	1,00E+01	2,53E-03	0.41597	1.00000	1.00000	5.4160	4.4160	9.8319
26	1,45E-05	1,00E+01	1,62E-05	0.27204	1.00000	0.00641	3.2849	2.2849	6.5633
27	3,65E-06	0,00E+00	2,98E-06	0.06861	0.00000	0.00118	0.0710	0.0710	0.1408

Tablo 5.10 Farklı Ağırlıklara Göre Hesaplanan MRSN Değerleri

Deney No	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	1:3:2 için	1:2:2 için	2:6:3 için
	L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	$MRSN_j$	$MRSN_j$	$MRSN_j$
1	2,38E-07	1,00E+01	2,55E-04	0.00447	1.00000	0.10072	-5,060	-3,436	-8,001
2	1,85E-06	-	1,56E-05	0.03479	-	0.00617	-	-	-
3	4,57E-06	0,00E+00	1,26E-06	0.08584	0.00000	0.00050	10,613	10,613	7,615
4	2,85E-05	4,44E+00	6,75E-05	0.53469	0.44444	0.02666	-2,836	-1,694	-5,816
5	3,59E-06	0,00E+00	9,14E-07	0.06741	0.00000	0.00036	11,667	11,667	8,668
6	4,22E-05	1,00E+01	3,65E-04	0.79169	1.00000	0.14426	-6,107	-4,886	-9,040
7	5,33E-05	0,00E+00	7,21E-06	1.00000	0.00000	0.00285	-0,025	-0,025	-3,029
8	1,51E-05	-	5,49E-04	0.28340	-	0.21675	-	-	-
9	1,62E-06	1,23E-01	6,85E-06	0.03039	0.01235	0.00270	11,377	12,183	8,448
10	5,36E-06	0,00E+00	9,60E-07	0.10062	0.00000	0.00038	9,940	9,940	6,938
11	1,03E-06	-	5,67E-05	0.01937	-	0.02238	-	-	-
12	1,43E-05	1,00E+01	6,02E-05	0.26817	1.00000	0.02376	-5,206	-3,647	-8,200
13	8,85E-06	-	2,76E-04	0.16616	-	0.10903	-	-	-
14	3,73E-07	4,44E+00	4,98E-05	0.00700	0.44444	0.01967	-1,398	0,291	-4,376
15	6,11E-06	0,00E+00	4,84E-07	0.11482	0.00000	0.00019	9,385	9,385	6,379
16	4,74E-05	7,41E-01	2,17E-05	0.89007	0.07407	0.00857	-0,529	-0,234	3,522
17	1,92E-06	0,00E+00	7,83E-06	0.03606	0.00000	0.00309	13,742	13,742	10,894
18	3,23E-06	-	5,67E-04	0.06068	-	0.22385	-	-	-
19	3,89E-05	0,00E+00	1,87E-05	0.73140	0.00000	0.00738	1,272	1,272	-1,717
20	2,27E-05	0,00E+00	2,85E-06	0.42655	0.00000	0.00112	3,677	3,677	0,673
21	1,51E-05	-	4,68E-04	0.28444	-	0.18474	-	-	-
22	1,75E-05	0,00E+00	3,99E-06	0.32855	0.00000	0.00158	4,793	4,793	1,793
23	1,00E-05	-	3,56E-04	0.18790	-	0.14067	-	-	-
24	9,73E-07	-	5,99E-05	0.01827	-	0.02366	-	-	-
25	2,22E-05	1,00E+01	2,53E-03	0.41597	1.00000	1.00000	-7,337	-6,450	-9,926
26	1,45E-05	1,00E+01	1,62E-05	0.27204	1.00000	0.00641	-5,165	-3,589	-8,171
27	3,65E-06	0,00E+00	2,98E-06	0.06861	0.00000	0.00118	11,490	11,490	8,515

Tablo 5.11 Deney Kombinasyonları ve Bunlara Ait Ortalama ve Yanıt Değerleri

Deney No	FAKTÖRLER													AĞIRLIK		GÖRÜNÜM		BOYUT		1:3:2 için	1:2:2 için	2:6:3 için
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	ORT1	SS1	ORT2	SS2	ORT3	SS3	MRSNj	MRSNj	MRSNj
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8,64	0,004	0,10	0,316	46,91	0,749	-5,060	-3,436	-8,001
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8,62	0,012	0,00	0,000	46,35	0,183	-	-	-
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8,60	0,018	1,00	0,000	45,46	0,051	10,613	10,613	7,615
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	8,63	0,046	0,20	0,422	46,20	0,380	-2,836	-1,694	-5,816
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	8,64	0,016	1,00	0,000	45,20	0,043	11,667	11,667	8,668
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	8,65	0,056	0,10	0,316	47,19	0,902	-6,107	-4,886	-9,040
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	8,66	0,063	1,00	0,000	45,29	0,122	-0,025	-0,025	-3,029
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	8,62	0,033	0,00	0,000	48,70	1,141	-	-	-
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	8,65	0,011	0,90	0,316	45,90	0,120	11,377	12,183	8,448
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	8,64	0,020	1,00	0,000	45,34	0,044	9,940	9,940	6,938
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	8,62	0,009	0,00	0,000	47,15	0,355	-	-	-
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	8,65	0,033	0,10	0,316	46,19	0,358	-5,206	-3,647	-8,200
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	8,68	0,026	0,00	0,000	48,60	0,808	-	-	-
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	8,64	0,005	0,20	0,422	46,13	0,326	-1,398	0,291	-4,377
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	8,62	0,021	1,00	0,000	45,06	0,031	9,385	9,385	6,379
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	8,62	0,059	0,60	0,516	45,71	0,213	-0,529	-0,234	-3,522
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	8,64	0,012	1,00	0,000	45,42	0,127	13,742	13,742	10,894
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	8,62	0,015	0,00	0,000	48,78	1,162	-	-	-
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	8,65	0,054	1,00	0,000	45,67	0,197	1,272	1,272	-1,717
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	8,67	0,041	1,00	0,000	45,47	0,077	3,677	3,677	0,673
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	8,65	0,034	0,00	0,000	48,50	1,049	-	-	-
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	8,64	0,036	1,00	0,000	45,17	0,090	4,793	4,793	1,793
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	8,62	0,027	0,00	0,000	48,72	0,920	-	-	-
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	8,62	0,008	0,00	0,000	46,86	0,363	-	-	-
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	8,68	0,041	0,10	0,316	49,25	2,479	-7,397	-6,450	-9,926
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	8,62	0,033	0,10	0,316	46,28	0,186	-5,165	-3,589	-8,171
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	8,61	0,016	1,00	0,000	45,19	0,078	11,490	11,490	8,515

5.2.4.3 Eniyi Faktör/Seviye Kombinasyonun Belirlenmesi

w_1=0.5, w_2=1.5 ve w_3=1.0 ağırlıkları için MRSNj değerleri hesaplanarak Tablo 5.12'de verilmiştir. MRSN çok yanıtlı problemler için performans istatistiği olarak kullanılmıştır. Deneyde bu performans ölçüsünün enbüyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bunların yardımıyla; faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörlerin daha önemli ve bu faktörlere ait hangi seviyenin daha iyi olduğu bulunur. Bütün faktörlerin seviye değerleri belirlenir. Her kontrol faktörü için MRSN'de en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için eniyi seviye anlamına gelmektedir. Buradan hareketle; eniyi faktör/seviye kombinasyonuna ulaşılmaktadır.

Tablo 5.12 w_1=0.5, w_2=1.5 ve w_3=1.0 Ağırlıkları İçin MRSN Değerleri

Deney No	FAKTÖRLER													AĞIRLIK		GÖRÜNÜM		BOYUT		0,5:1,5:1 için
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	ORT1	SS1	ORT2	SS2	ORT3	SS3	MRSNj
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8.64	0.00	0.10	0.316	46.91	0.749	-2.049
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8.62	0.01	0.00	0.000	46.35	0.183	-
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8.60	0.02	1.00	0.000	45.46	0.051	13.623
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	8.63	0.05	0.20	0.422	46.20	0.380	0.174
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	8.64	0.02	1.00	0.000	45.20	0.043	14.677
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	8.65	0.06	0.10	0.316	47.19	0.902	-3.097
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	8.66	0.06	1.00	0.000	45.29	0.122	2.986
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	8.62	0.03	0.00	0.000	48.70	1.141	-
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	8.65	0.01	0.90	0.316	45.90	0.120	14.387
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	8.64	0.02	1.00	0.000	45.34	0.044	12.951
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	8.62	0.01	0.00	0.000	47.15	0.355	-
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	8.65	0.03	0.10	0.316	46.19	0.358	-2.195
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	8.68	0.03	0.00	0.000	48.60	0.808	-
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	8.64	0.01	0.20	0.422	46.13	0.326	1.613
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	8.62	0.02	1.00	0.000	45.06	0.031	12.396
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	8.62	0.06	0.60	0.516	45.71	0.213	2.482
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	8.64	0.01	1.00	0.000	45.42	0.127	16.752
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	8.62	0.02	0.00	0.000	48.78	1.162	-
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	8.65	0.05	1.00	0.000	45.67	0.197	4.282
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	8.67	0.04	1.00	0.000	45.47	0.077	6.688
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	8.65	0.03	0.00	0.000	48.50	1.049	-
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	8.64	0.04	1.00	0.000	45.17	0.090	7.803
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	8.62	0.03	0.00	0.000	48.72	0.920	-
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	8.62	0.01	0.00	0.000	46.86	0.363	-
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	8.68	0.04	0.10	0.316	49.25	2.479	-4.326
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	8.62	0.03	0.10	0.316	46.28	0.186	-2.155
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	8.61	0.02	1.00	0.000	45.19	0.078	14.500

Tablo 5.12'deki MRSNj değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanarak Tablo 5.13'te verilmiştir. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerine ait değerler sırasıyla A_{S1}, A_{S2} ve A_{S3} olsun. Bunlar; aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

A_{S1}= (-2.049+0+13.623+0.174+14.677-3.097+2.986+0+14.387)/9 = 4.522

A_{S2}= (12.951+0-2.195+0+1.613+12.396+2.482+16.752+0)/9 = 4.889

A_{S3}= (4.282+6.688+0+7.803+0+0-4.326-2.155+14.500)/9 = 2.977

Bunların içinden en büyük değere sahip olan seviye, eniyi seviye olarak seçilir. Buna göre A faktörü için eniyi seviye 2. seviyedir. Benzer şekilde bütün faktörlerin seviye değerleri Tablo 5.12 yardımıyla hesaplanır. Bu hesaplamaların sonucunda Tablo 5.13 oluşturulmuş ve tabloda her faktörün hangi seviyede MRSN'de enbüyük değeri sağladığını görmek olanaklı olmaktadır. Buna göre söz konusu ağırlıklar için eniyi faktör/seviye kombinasyonu $A_2B_3C_3D_2E_3F_3G_1H_1I_2J_3K_1L_3M_1$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi başlangıç kombinasyonundan ($A_2B_2C_2D_2E_2F_2G_2H_2I_2J_2K_2L_2M_2$) çok farklı bir kombinasyon elde edilmiştir. Anlamlı farklı ağırlıklar için analiz sonucunda bulunan kombinasyondaki önemli faktörler pek fazla değişmemektedir.

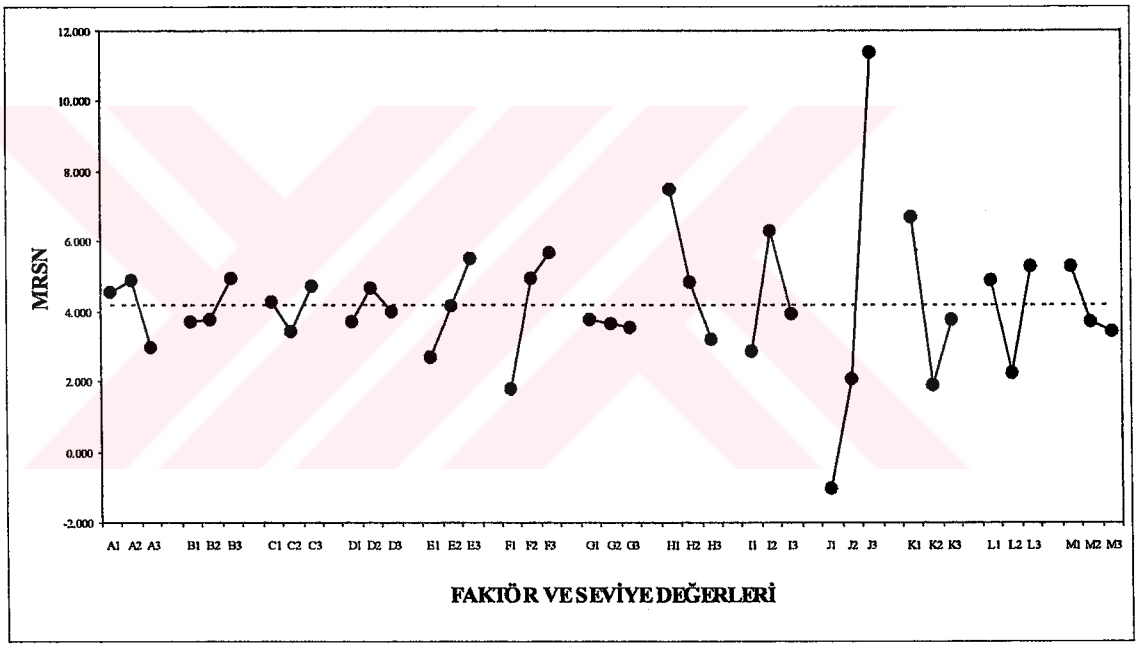
Tablo 5.13 Faktörlerin MRSN Oranı Üzerindeki Ana Etkileri

FAKTÖRLER	MRSN 'de Ana Etkiler SEVİYELER S1	S2	S3	Maks-Min
A	4.522	4.889	2.977	1.912
B	3.700	3.730	4.958	1.258
C	4.290	3.392	4.706	1.314
D	3.710	4.662	3.992	0.952
E	2.700	4.175	5.513	2.812
F	1.761	4.957	5.671	3.910
G	3.775	3.626	3.548	0.228
H	7.506	4.839	3.207	4.299
I	2.861	6.296	3.952	3.435
J	-1.052	2.065	11.375	12.428
K	6.707	1.903	3.778	4.804
L	4.882	2.233	5.273	3.040
M	5.282	3.692	3.414	1.869

FAKTÖRLER	MRSN 'de Ana Etkiler (Sıralı) SEVİYELER S1	S2	S3	Maks-Min
J	-1.052	2.065	11.375	12.428
K	6.707	1.903	3.778	4.804
H	7.506	4.839	3.207	4.299
F	1.761	4.957	5.671	3.910
I	2.861	6.296	3.952	3.435
L	4.882	2.233	5.273	3.040
E	2.700	4.175	5.513	2.812
A	4.522	4.889	2.977	1.912
M	5.282	3.692	3.414	1.869
C	4.290	3.392	4.706	1.314
B	3.700	3.730	4.958	1.258
D	3.710	4.662	3.992	0.952
G	3.775	3.626	3.548	0.228

Her faktörün seviyelerindeki değişmeler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir

sıralama yapıldığında faktörler J, K, H, F, I, L, E, A, M, C, B, D ve G şeklinde sıralanırlar. Bunlardan J, K, H, F, I, L ve E faktörlerinin yanıt üzerinde daha önemli (büyük) bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu faktörlerin seviyeleri değiştiğinde yanıtta da önemli bir değişme meydana gelmektedir (Şekil 5.6). Örneğin J faktörünün S1'deki ortalama etkisi –1.052 dB ile enküçük iken, S3'teki ortalama etkisi 11.375 dB ile enbüyük çıkmaktadır. İkisi arasındaki fark (S3-S1) 12.428 dB'dir. Bu da oldukça büyük bir farktır ve bu durum Şekil 5.6'da açıkça görülmektedir. Faktör seviyelerine göre hesaplanan enbüyük ile enküçük değerler arasındaki farklara göre sıralandığında faktörlerin önem dereceleri ortaya çıkarmaktadır (Tablo 5.13).



Şekil 5.6 Faktörlerin MRSN Üzerindeki Etkileri

MRSN'de çok önemli etkiye sahip olmayan faktörlerin seviye değerleri arasında önemli bir fark yoktur. Örneğin G faktörü için S1, S2 ve S3 seviye değerleri sırasıyla 3.775, 3.626 ve 3.548'dir. Bunlar birbirine oldukça yakın değerlerdir ve Şekil 5.6'da açıkça görülmektedir. Yani G faktörünün S1, S2 veya S3 seviyesinde bulunması yanıtlar için önemli değildir. Çünkü G faktörünün üç seviyesinden hangisinde bulunursa bulunsun yanıtlar üzerindeki etkisi hemen hemen aynıdır ve enbüyük ile enküçük değerleri arasındaki fark çok küçüktür (3.775-3.548=0.228).

Kontrol edilebilen faktörlerinin ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerine (yanıtlarına) ait ortalamalar üzerindeki ana etkiler sırasıyla Tablo 5.14, Tablo 5.15 ve Tablo 5.16'da özetlenmiştir. Tabloların sağ tarafında ise ortalamalar üzerindeki etkilerin önemine göre sıralanmıştır. Tablolardan kalite karakteristiklerinin ortalamaları üzerinde hangi faktörlerin daha büyük etkiye sahip oldukları açıkça görülebilmektedir. Bu tablolardaki veriler yardımıyla yanıtların ortalamaları üzerindeki etkiler Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'teki gibi çizilerek, görsel olarak ifade edilmektedir.

Tablo 5.14 Faktörlerin Ağırlık Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri

Ağırlık Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler					Ağırlık Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler(Sıralı)				
FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min	FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min
	S1	S2	S3			S1	S2	S3	
A	8.6344	8.6367	8.6400	0.0056	L	8.6522	8.6378	8.6211	0.0311
B	8.6378	8.6378	8.6356	0.0022	C	8.6244	8.6378	8.6489	0.0244
C	8.6244	8.6378	8.6489	0.0244	E	8.6489	8.6322	8.6300	0.0189
D	8.6344	8.6411	8.6356	0.0067	J	8.6422	8.6333	8.6356	0.0089
E	8.6489	8.6322	8.6300	0.0189	M	8.6333	8.6422	8.6356	0.0089
F	8.6367	8.6333	8.6411	0.0078	F	8.6367	8.6333	8.6411	0.0078
G	8.6344	8.6378	8.6389	0.0044	D	8.6344	8.6411	8.6356	0.0067
H	8.6333	8.6378	8.6400	0.0067	H	8.6333	8.6378	8.6400	0.0067
I	8.6378	8.6389	8.6344	0.0044	A	8.6344	8.6367	8.6400	0.0056
J	8.6422	8.6333	8.6356	0.0089	K	8.6344	8.6400	8.6367	0.0056
K	8.6344	8.6400	8.6367	0.0056	G	8.6344	8.6378	8.6389	0.0044
L	8.6522	8.6378	8.6211	0.0311	I	8.6378	8.6389	8.6344	0.0044
M	8.6333	8.6422	8.6356	0.0089	B	8.6378	8.6378	8.6356	0.0022

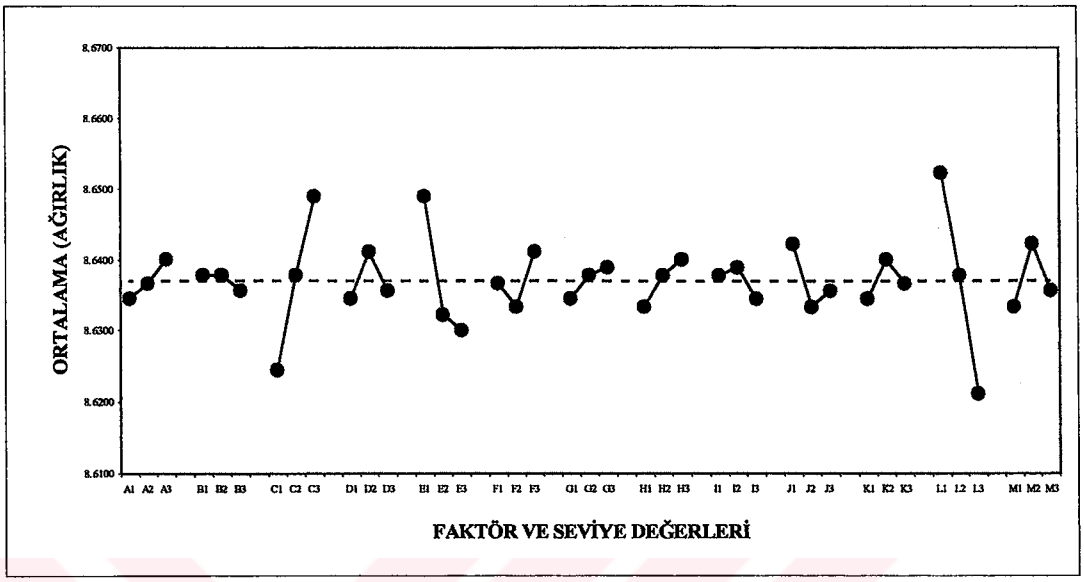
Tablo 5.14, 5.15 ve 5.16 ile Şekil 5.2, 5.3 ve 5.4'ten de görülebileceği gibi C faktörünün MRSN, görünüm ve boyut ortalamaları üzerinde küçük bir etkiye sahipken, ağırlık kalite karakteristiğinin ortalaması üzerinde önemli bir etkiye; D faktörü de MRSN, ağılık ve boyut yanıtlarının ortalamaları üzerinde nispeten küçük bir etkiye sahipken görünüm kalite karakteristiğinin ortalaması üzerinde önemli bir etkiye ve benzer şekilde M faktörü de sadece boyut ortalaması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla C, D ve M faktörleri sırasıyla ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için ayarlama faktörleri olarak seçilebilirler.

Tablo 5.15 Faktörlerin Görünüm Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri

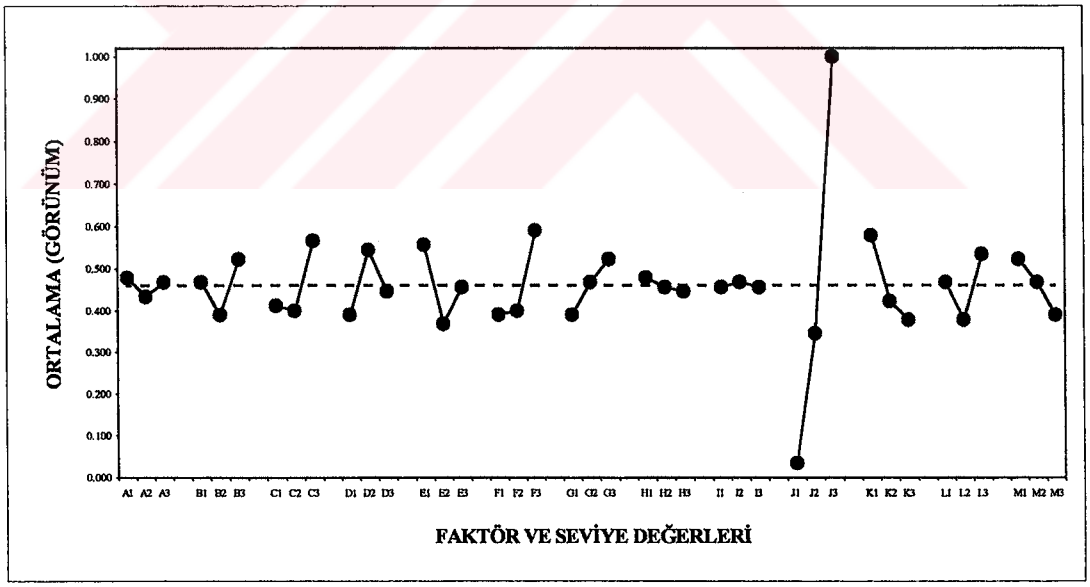
Görünüm Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler					Görünüm Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler(Sıralı)				
FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min	FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min
	S1	S2	S3			S1	S2	S3	
A	0.4778	0.4333	0.4667	0.0444	J	0.0333	0.3444	1.0000	0.9667
B	0.4667	0.3889	0.5222	0.1333	F	0.3889	0.4000	0.5889	0.2000
C	0.4111	0.4000	0.5667	0.1667	K	0.5778	0.4222	0.3778	0.2000
D	0.3889	0.5444	0.4444	0.1556	E	0.5556	0.3667	0.4556	0.1889
E	0.5556	0.3667	0.4556	0.1889	C	0.4111	0.4000	0.5667	0.1667
F	0.3889	0.4000	0.5889	0.2000	D	0.3889	0.5444	0.4444	0.1556
G	0.3889	0.4667	0.5222	0.1333	L	0.4667	0.3778	0.5333	0.1556
H	0.4778	0.4556	0.4444	0.0333	B	0.4667	0.3889	0.5222	0.1333
I	0.4556	0.4667	0.4556	0.0111	G	0.3889	0.4667	0.5222	0.1333
J	0.0333	0.3444	1.0000	0.9667	M	0.5222	0.4667	0.3889	0.1333
K	0.5778	0.4222	0.3778	0.2000	A	0.4778	0.4333	0.4667	0.0444
L	0.4667	0.3778	0.5333	0.1556	H	0.4778	0.4556	0.4444	0.0333
M	0.5222	0.4667	0.3889	0.1333	I	0.4556	0.4667	0.4556	0.0111

Tablo 5.16 Faktörlerin Boyut Ortalaması Üzerindeki Ana Etkileri

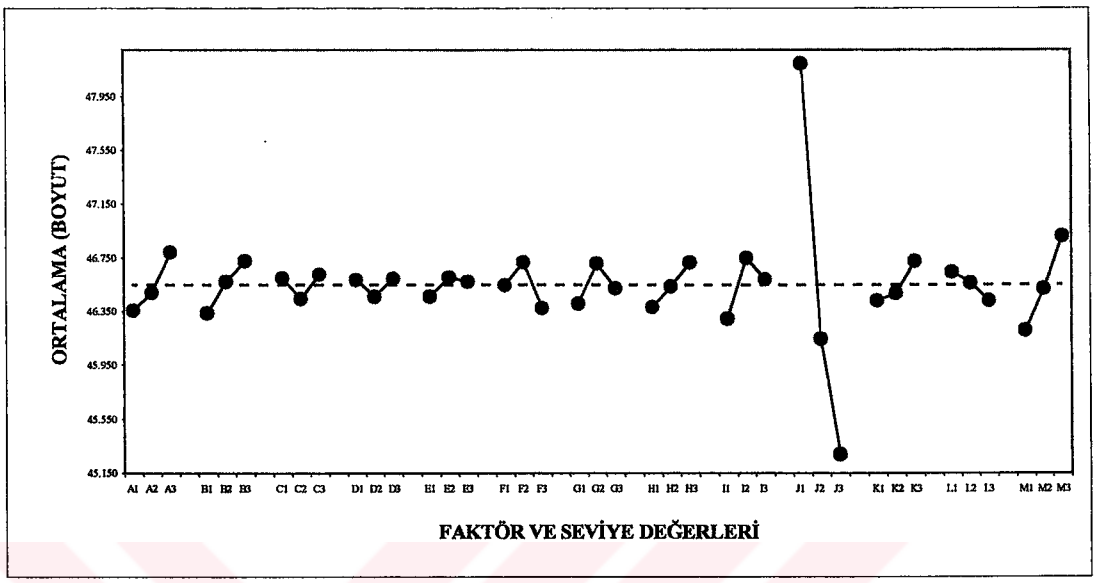
Boyut Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler					Boyut Ortalaması Üzerindeki Ana Etkiler (Sıralı)				
FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min	FAKTÖRLER	SEVİYELER			Maks-Min
	S1	S2	S3			S1	S2	S3	
A	46.356	46.487	46.790	0.434	J	48.200	46.143	45.289	2.911
B	46.338	46.570	46.724	0.154	M	46.209	46.513	46.910	0.701
C	46.598	46.443	46.622	0.179	I	46.296	46.749	46.588	0.453
D	46.581	46.460	46.591	0.131	A	46.356	46.487	46.790	0.434
E	46.460	46.602	46.570	0.142	F	46.544	46.717	46.371	0.346
F	46.544	46.717	46.371	0.346	H	46.381	46.534	46.717	0.336
G	46.406	46.708	46.519	0.302	G	46.406	46.708	46.519	0.302
H	46.381	46.534	46.717	0.336	K	46.427	46.481	46.724	0.298
I	46.296	46.749	46.588	0.453	L	46.644	46.559	46.429	0.216
J	48.200	46.143	45.289	2.911	C	46.598	46.443	46.622	0.179
K	46.427	46.481	46.724	0.298	B	46.338	46.570	46.724	0.154
L	46.644	46.559	46.429	0.216	E	46.460	46.602	46.570	0.142
M	46.209	46.513	46.910	0.701	D	46.581	46.460	46.591	0.131



Şekil 5.7 Faktörlerin Ağırlık Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri



Şekil 5.8 Faktörlerin Görünüm Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri



Şekil 5.9 Faktörlerin Boyut Yanıtı Ortalaması Üzerindeki Etkileri

5.2.5 Doğrulama Deneyi

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden yirmişer parça alınmış ve bunların ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerine ait veriler Tablo 5.17'de verilmektedir. Her iki faktör/seviye kombinasyonuna göre ayrı ayrı elde edilen bu verilerden ağırlık, görünüm ve boyuta ilişkin ortalama, varyans, değişim aralığı (Range) 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 bulunmuş; Tablo 5.18 ve Tablo 5.19'da verilmiştir. Verilerden de görülebileceği gibi iki farklı üretim koşulunda üretilen parçaların değerleri arasında çarpıcı bir farklılık vardır. Bu fark hesaplanan parametrelerde de kendisini göstermektedir. Ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için standard sapma

ve değişim aralığı başlangıç üretim koşulları için sırasıyla (0.107, 0.07); (0.308, 1); (2.399, 6.77) ve deney sonucunda belirlenen üretim koşulları söz konusu parametreler

Tablo 5.17 Doğrulama Deneyi Verileri

	AĞIRLIK																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	8.66	8.6	8.6	8.59	8.6	8.6	8.61	8.6	8.6	8.6	8.61	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.59
**	8.56	8.54	8.54	8.54	8.55	8.55	8.58	8.56	8.59	8.57	8.54	8.56	8.56	8.57	8.58	8.57	8.56	8.58	8.55	8.55
	GÖRÜNÜM																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	BOYUT																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	45.99	46.3	46.7	45.83	46.78	48.05	45.37	50.48	49.3	50.35	51.43	51.20	51.77	51.28	52.14	51.17	51.46	50.87	51.09	51.58
**	44.71	44.73	44.75	44.74	44.76	44.76	44.77	44.79	44.84	44.82	44.76	44.75	44.75	44.78	44.81	44.82	44.80	44.85	44.83	44.80

* :$A_2B_2C_2D_2E_2F_2G_2H_2I_2J_2K_2L_2M_2$ (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu verileri)
**:$A_2B_3C_1D_3E_3F_2G_3H_2I_2J_3K_1L_3M_1$ (Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu verileri)

için de sırasıyla (0.063, 0.05); (0.000, 0); (0.039, 0.10) olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen faktör/seviye kombinasyonu, üç kalite karakteristiği için de çok daha iyi bir durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 5.21).

Tablo 5.18 Normallleştirilen Maliyetlere Göre TNQL ve MRSN Değerleri

KOMBİNASYON	AĞIRLIK			GÖRÜNÜM			BOYUT			AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	0.5:1.5:1.0 için	
	ORT1	SS1	R1	ORT2	SS2	R2	ORT3	SS3	R3	L1j	L2j	L3j	C1j	C2j	C3j	TNQKj	MRSNj
*	8.60	0.107	0.07	0.10	0.308	1	49.46	2.399	6.77	1.547E-04	0.050	2.354E-03	1.00	1.00	1.00	3.000	-4.771
**	8.56	0.063	0.05	1.00	0.000	0	44.78	0.039	0.10	5.417E-05	0.005	7.606E-07	0.35	0.10	0.00	0.325	4.876

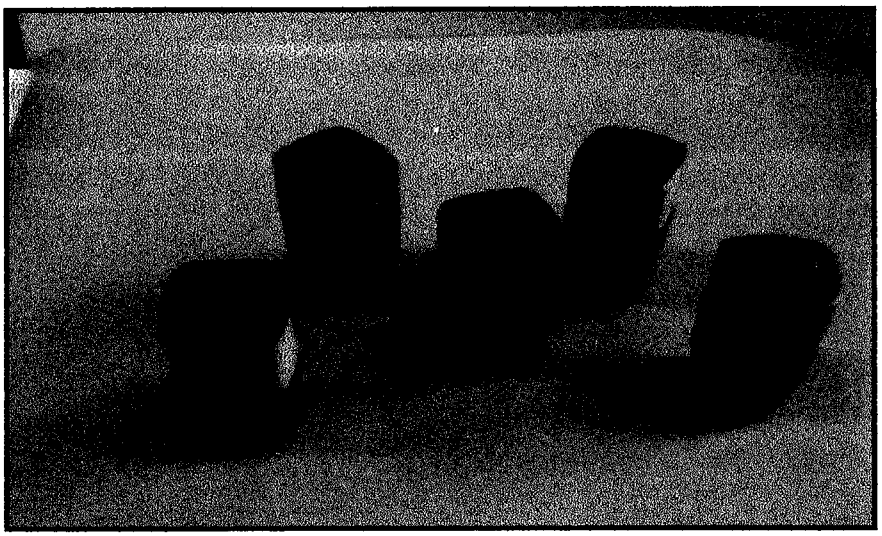
* :$A_2B_2C_2D_2E_2F_2G_2H_2I_2J_2K_2L_2M_2$ (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu)
**:$A_2B_3C_1D_3E_3F_2G_3H_2I_2J_3K_1L_3M_1$ (Deney sonucunda elde edilen faktör-seviye kombinasyonu)

Ancak burada önemle belirtilmelidir ki; başlangıç koşullarında üretim yapılırken, ürün istenilen toleranslarda çıkana dek üretim parametreleri değiştirilmekte ve bu arada çok sayıda ikinci kalite veya hurda ortaya çıkarmaktadır. Tablo 5.17'deki başlangıç üretim koşullarında üretim yapılırken herhangi bir parametre değeri değiştirilmemiştir. Dolayısıyla verilerin pek çoğu müşteriye gönderilemeyecek kadar kalitesizdir ve hurdaya ayrılmaktadır. Resim 5.2'den de görüldüğü gibi üretilen ürünlerin baş kısımlarında bir deformasyon meydana gelmektedir. Bu da beraberinde bombelik ve parlaklık oluşturmaktadır. Üründe bombelik olmasa da parlaklık varsa yine ürün müşteriye gönderilememekte; bunlar ikinci kalite olarak ayrılmakta ve iç pazarda satılmaya çalışılmaktadır.



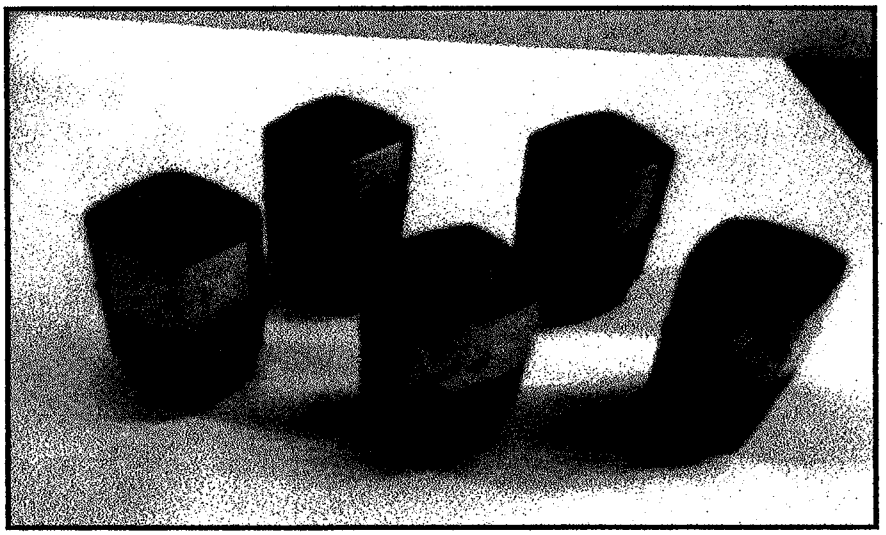
Resim 5.2 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Hatalı Ürünler

Operator deneyimine dayanarak, belirli faktörlerin seviyelerini değiştirmekte ve problemi çözülmeye çalışılmaktaydı. Bu deneme yanılma yöntemi, kabul edilebilir ürün üretilene kadar devam etmekteydi. Bu esnada çok sayıda hurda veya ikinci kalite ürün üretilmekte ve önemli bir maliyeti beraberinde getirmekteydi. Onay verilenler de tam istenilen kalite karakteristiklerine sahip değildirler (Resim 5.3).



Resim 5.3 Başlangıç Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Ürünler

Yapılan çalışma sonucunda belirlenen faktör/seviye kombinasyonuna göre üretilen parçalar ise mükemmele yakındır (Resim 5.4). Üründe bombelik ve parlaklık tamamen ortadan kaldırılmış ve mat bir görünüm elde edilmiştir. Ayrıca üretilen bütün parçalarda bu kalite sağlanmıştır. Çalışma ekibinden biri olan üretim müdürü, elde edilen kalite karşısında, *çok şaşırdığını ve heyecanlandığını* dile getirerek düşüncelerini ifade ederken deneyin sonucunun çarpıcılığını da vurgulamıştır. Bunlar sayısal olarak da ortaya konmuştur (Tablo 5.21).



Resim 5.4 Deney Sonrası Belirlenen Faktör/Seviye Kombinasyonuna Göre Üretilen Ürünler

Normallleştirilen kayıplar hesaba katılarak başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme 4.876-(-4.771)= 9.647 dB'dir.

Tablo 5.19 Kayıplara (Lij) Göre TNQL ve MRSN Değerleri

KOMBİNASYON	AĞIRLIK			GÖRÜNÜM			BOYUT			AĞIRLIK	GÖRÜNÜM	BOYUT	0.5:1.5:1.0 için	
	ORT1	SS1	R1	ORT2	SS2	R2	ORT3	SS3	R3	L1j	L2j	L3j	TNQKj	MRSNj
*	8.60	0.107	0.07	0.10	0.308	1	49.46	2.399	6.77	1.547E-04	0.050	2.354E-03	0.0774	11.111
**	8.56	0.063	0.05	1.00	0.000	0	44.78	0.039	0.10	5.417E-05	0.005	7.606E-07	0.0075	21.233

* : $A_2B_2C_2D_2E_2F_2G_2H_2I_2J_2K_2L_2M_2$ (Deneyden önceki faktör-seviye kombinasyonu)
** : $A_2B_3C_1D_3E_3F_2G_3H_2I_2J_3K_1L_3M_1$ (Deney sonucunda elde edilen faktör-seviye kombinasyonu)

Normallleştirilen kayıplar hesaba katılmadan başlangıç üretim koşullarına göre 21.233- 11.111= 10.122 dB'lik bir iyileştirme yapılmıştır. Her iki durumda bulunan iyileştirme miktarı birbirine çok yakındır (9.647 ve 10.122).

Tablo 5.20 Ortalama ve Hedef Değer(8.5 gr)e Göre Standard Sapma Hesaplamak İçin Ağırlık Veri Tablosu

	AĞIRLIK VERİLERİ																				AĞIRLIK		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	ORT1	SS1	R1
*	8.66	8.6	8.6	8.59	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.61	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.59	8.60	0.0142	0.07
**	8.56	8.54	8.54	8.54	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.54	8.56	8.56	8.57	8.58	8.57	8.56	8.58	8.55	8.55	8.56	0.0152	0.05
***	0.16	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.107	0.07
****	0.04	0.04	0.04	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.06	0.063	0.05

* : Başlangıç koşullarına göre üretilen parçaların ağırlıkları
** : Deney sonucu elde edilen faktör-seviye kombinasyonunu göre üretilen parçaların ağırlıları
*** : Başlangıç koşullarına göre üretilen parçaların ağırlıları ile hedef değer (8.5 gr) arasındaki fark
****: Deney sonucu elde edilen faktör-seviye kombinasyonunu göre üretilen parçaların ağırlıları ile hedef değer (8.5 gr) arasındaki fark

Kalite karakteristikleri düzeyinde de iyileştirmeler hesaplanarak Tablo 5.21'de özetlenmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi doğrulama deneyinin sonuçları oldukça

çarpıcıdır. Özellikle görünüm ve boyut kalite karakteristikleri için bu sonuç, daha rahat ifade edilebilir. Tablodaki siyal gürültü (SN) oranı aşağıdaki formülle bulunmuştur:[1]

$$SN = -10 \log_{10}\left(\frac{s^2}{\bar{y}^2}\right) \qquad (5.3)$$

Tablo 5.17 ve Tablo 5.20'deki verilerden yardımıyla hesaplanmış ortalama ve standard sapma değerleri (5.3) eşitliğinde yerine konularak üç yanıt için de SN oranları bulunmuş ve iki farklı üretim koşulu için net iyileştirme (varyasyon azaltma) ortaya çıkmıştır. Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda, üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB^2 (varyansta %11 iyileştirme),

Tablo 5.21 Doğrulama Deneyi Sonuçları

		Başlangıç Kombinasyonu Değerleri	Eniyi Kombinasyon Değerleri	İyileşme (dB)
Ağırlık	SN	38.28	42.63	4.35
	Ortalama	8.60	8.56	
	Varyans	0.011	0.004	
Görünüm	SN	-9.77	60.00	69.77
	Ortalama	0.1	1.0	
	Varyans	0.094864	0.000001	
Boyut	SN	26.28	61.20	34.92
	Ortalama	49.46	44.78	
	Varyans	5.755201	0.001521	

[1] Lee-Ing Tong, Chao-Ton Su, Chung-Ho Wang, "The Optization of Multi-Response Problems in the Taguchi Method", **Int.J. of Quality &Reliability Management**, Vol.14, No.4, 1997, 367-380, s.370

[2] Telekomünikasyon sistemlerinde bir sinyal bir noktadan başka bir noktaya transmisyon edilirken bir çok işlemlerden geçebilir. Bu sinyal kimi zaman kat kat amplifikasyona tabi tutulur kimi zamanda zayıflamalara uğrar. Bu iletişim hattı üzerinde bulunan katların (amplifikatörler, filtreler, kablolar vb.) bir kazançları veya kayıpları olur. Bu kazanç ve kayıplar Desibel (dB) ile ifade edilir. Desibel iki güç arasındaki oranın logaritmik ifadesidir. Daha belirgin bir ifadeyle çıkış gücünün giriş gücüne oranının 10 tabanına göre logaritmasının 10 ile çarpımıdır.

Güç Kazancı :

$$\text{Gain (dB)} = 10.\log \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Giriş gücü}}$$

Sonuç olarak çıkışın girişe olan oranında çıkan desibel değeri pozitif ise kazanç, negatif ise kayıp vardır denilir.Kazanç birimi olarak desibel amplifikatörlerde ve filtrelerde kullanıldığı gibi elektronik gürültü ölçümlerinde, ses şiddetinde, iki ayrı sinyalin izalosyon ölçümlerinde vb kullanılır. Anlaşılacağı gibi bu değer mutlak bir ölçüm değeri değil Logaritmik oransal bir ölçüdür.

görünümünde 69.77 dB (varyansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (varyansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır. Bu durum, özellikle görünüm için, Resim 5.5'te de açıkça görülmektedir

5.3 Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

Deney sonucunda önemli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bazıları şunlardır:

- Görünümü iyileştirmek amacıyla kalıbın her iki yanına ayrı ayrı kalıp ısıtıcı (thermoregulator) bağlanarak gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimine neden olmaktaydı. Deney sonrası ikinci kalıp ısıtıcı devreden çıkarılarak, söz konusu gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimi ortadan kaldırılmıştır.



Resim 5.5 Deney Öncesi ve Deney Sonrası Üretilen Ürünlerin Karşılaştırılması

- Sık sık ayar değiştirmek ve buna bağlı olarak ikinci kalite ve hurdanın ortaya çıkması. Deneyden sonra faktörlerin seviye değerlerinin (ayarlarının) değiştirilmesi gereğini ortadan kaldırılmıştır. 1999-2002 tarihleri arasında üretilen yıllık ortalama kırkbin (40000) adet ürünün %39.5'i birinci kalite ve geri kalan %60.5'i de ikinci kalite olarak gerçekleşmiştir. Bu da ikinci kalite ürünün çok önemli bir boyutta

olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapılan iyileştirme açısından çok önemli bir ölçü oluşturmaktadır.

- Görünüm bozukluğunun nedeni olarak kalıp kirlenmesi görüldüğünden kalıbın sık sık sökülerek temizlenmesi sorunudur. Aslında kalıbın temizlenme periyodu yüzbin (100000) adet ürün iken her beşbin (5000) ürün ürettikten sonra kalıp sökülerek temizlenmekteydi. Deney sonucu elde edilen iyileştirme, bu problemi de ortadan kaldırmış ve makinanın normal periyotta temizlenmesi yolunu açmıştır. Buna göre kalıbın sökülüp temizlenmesi işlemi 20'den 1'e (5000/100000) düşmüş olmaktadır.

- Deney öncesi veriler ve doğrulama deneyi sonunda elde edilen veriler yardımıyla hesaplanmış olan ortalama ve standard sapma değerleri ile üç yanıt için de SN oranları bulunmuş ve iki farklı üretim koşulu için net iyileştirme (varyasyon azaltma) ortaya konmuştur. Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda, üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB (varyansta %11 iyileştirme), görünümünde 69.77 dB (varyansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (varyansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır.

Sonuçlardan da görüldüğü gibi Taguchi Yöntemi ile kalitede önemli iyileştirmeler gerçekleştirilebilmektedir. Önemli olan bu ve benzeri yöntemleribilmek, çalışan elemanlara öğreterek, ürün/proseslerin geliştirilmesinde ve problemlerin çözümünde etkin ve yaygın olarak kullanılmalarını sağlamaktır.

SONUÇ

Günümüzün acımasız rekabet ortamında hayatta kalabilmek için daha kaliteli ve daha düşük maliyetli üretim yapma zorunluğu ortaya çıkmıştır. Kaliteyi sağlamak ve geliştirmek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.

Klasik deneysel tasarımın uygulanmasında çok sayıda deney yapma zorunluluğu nedeniyle, endüstriyel ortamda pek kabul görmemekte ve mühendislik problemlerinin çözümünde pek kullanılmamaktadır. Deney tasarımına dayanan Taguchi yönteminin uygulanmasında ise derin bilimsel ve istatistiksel bilgiye gerek duyulmaması, ayrıca klasik deneysel tasarıma göre bu yöntemin göreceli olarak anlaşılması ve uygulanmasının daha basit olması; uygulamada da iyi sonuçlar vermesi nedeniyle mühendislik problemlerinin çözümünde üretim mühendisleri tarafından tercih edilmektedir. Taguchi yönteminin kullanılması diğer istatistiksel deney tasarımı yaklaşımlarına tercih edilmesinin bir çok nedeni vardır; bunlardan sadece üçü şunlardır:

1- Deney zamanını kısaltmak,
2- Maliyeti azaltmak,
3- Taguchi deney tasarımı, klasik deneysel tasarımın aksine ikiden büyük seviyeli faktör içeren ve karışık seviyeli tasarımları da inceleyebilmektedir.

Taguchi yöntemi, istatistiksel ve matematiksel olarak basit olmasından dolayı deneysel tasarım uygulamalarında yeni olan işletmelerde uygulanabilinecek en iyi yöntemlerden biridir. Taguchi yöntemi, deneylerin gerçekleştirilmesinde sistematik bir yaklaşım sağlamakta ve çok sayıda faktör (parametre) enaz deneme sayısıyla incelenebilmektedir. Taguchi yönteminin klasik yöntemlerden daha iyi olmasının diğer bir nedeni de, deney sırasında gürültü faktörlerinin dikkate alınmasından dolayı robust tasarımın gerçekleştirilmesidir. Taguchi yöntemi ürün/proses performansında sürekli gelişmeyi sağlayabilmek için iyi bir başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Taguchi yöntemi, gerçekte eniyi faktör/seviye kombinasyonunu vermeyebilir; ancak deney için seçilen faktör ayar seviyelerinden hangisinin en iyisi olduğunu saptamaktadır.

Bütün bunlarla birlikte Taguchi yöntemi bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir:Yöntemin deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle ilgili olarak bilgi

verememesi ve seçilen seviyelerden farklı bir seviyede daha iyi bir sonuca varılacak dahi olsa bu seviyeleri önerememektedir. Yine parametre tasarımı aşamasında iç dizide bulunan kontrol faktörleri ile dış diziye atanan gürültü faktörleri arasındaki olanaklı etkileşimlerin öngörülmek istenmesi, serbestlik derecesini büyüttüğünden bazı önemli etkilerin öngörülmesini engellemektedir. Parametre tasarımında faktör ve seviye sayılarının artması da ortogonal dizilerin kullanımını sınırlandırmaktadır.

Çalışmanın uygulaması Takosan A.Ş:'de yapılmıştır. Üretimde karşılaşılan problem, ürünün (far kumanda kolu şapkası) baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklık olarak ele alınmıştır. Bunların giderilmesinin yanısıra ürünün ağırlık ve boyutunun da hedef değerlerde veya hedef değer yakınlarında gerçekleştirilerek; söz konusu ürünün ağırlık, görünüm ve boyut kalite karakteristiklerini (yanıtlarını) eniyilemek çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Çalışmada ürün üzerinde etkili olduğu düşünülen kontrol edilebilen faktörler ve bunların seviyeleri belirlenerek, bunların içerisinden en önemlileri olduğu düşünülen onüç faktör seçilmiştir. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesi ile incelenmiş ve deneyler $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizine uygun bir yapıda; yirmiyedi deney yapılarak yürütülmüştür. Her deneyde üç yanıt için 10'ar veri olmak üzere toplam 810 (=27*10*3) veri elde edilmiştir. Bu verilere dayanarak, 0.5:1.5:1.0 ağırlıkları için eniyi faktör/seviye kombinasyonu $A_2B_3C_3D_2E_3F_3G_1H_1I_2J_3K_1L_3M_1$ olarak bulunmuş; buna göre eniyi faktör/seviye değerleri aşağıda verilmiştir.

A:Kurutma Sıcaklığı (°C)	80
B:Kurutma Süresi (saat)	4
C:Geri Basınç (bar)	60
D:Vida Hızı (devir/dakika)	20
E:Enjeksiyon Basıncı (bar)	1100
F:Enjeksiyon Hızı (mm/saniye)	60
G:Tutma Basıncı 1 (bar)	700
H:Tutma Basıncı 2 (bar)	600
I :Tutma Basıncı 3 (bar)	600
J :Soğutma Süresi (saniye)	24
K:Kalıp Sıcaklığı (°C)	30
L :Ocak Sıcaklığı (T1+T2) (°C)	285+285
M:Ocak Sıcaklığı (T3+T4+T5) (°C)	280+282+293

Deney analizinden elde edilen kombinasyona göre bir doğrulama deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda önemli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir:

- Doğruma deneyinde üretilen parçaların ağırlığında 4.35 dB (varyansta %11 iyileştirme), görünümünde 69.77 dB (varyansta %714 iyileştirme) ve boyutunda da 34.92 dB'lik (varyansta %133 iyileştirme) bir iyileştirme sağlanmıştır

- Görünümü iyileştirmek amacıyla kalıbın her iki yanına ayrı ayrı kalıp ısıtıcı (thermoregulator) bağlanarak gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimine neden olmaktaydı. Deney sonrası ikinci kalıp ısıtıcı devreden çıkarılarak, söz konusu gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimi ortadan kaldırılmıştır.

- Sık sık yaşanılan makina ayarlarını değiştirmek ve buna bağlı olarak ikinci kalite ve hurdanın ortaya çıkması da önemli bir problem oluşturmaktaydı. Çalışma sonucu elde edilen faktörlerin/seviye kombinasyonu ile makinanın ayarlarının değiştirilmesi gereği ortadan kaldırılmıştır. 1999-2002 tarihleri arasında üretilen yıllık ortalama kırkbin (40000) adet ürünün %39.5'i birinci kalite ve geri kalan %60.5'i de ikinci kalite olarak gerçekleşmiştir. Bu da ikinci kalite ürünün çok önemli bir boyutta olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapılan iyileştirme açısından çok önemli bir ölçü olmaktadır.

- Görünüm bozukluğunun nedeni olarak kalıp kirlenmesi görüldüğünden kalıbın sık sık sökülerek temizlenmesi problemidir. Deney sonucu elde edilen iyileştirme, bu problemi de ortadan kaldırmış ve makinanın normal periyotta temizlenmesi yolunu açmıştır. Buna göre kalıbın sökülüp temizlenmesi işlemi 20'den 1'e (5000/100000) düşmüş olmaktadır.

Sonuç olarak, Taguchi yöntemlerinin uygulanması çok önemli ve yararlı iyileştirmeler sağlamaktadır. Dolayısıyla işletmeler bunu dikkate alarak, çalışanlarına bu yöntemlerin öğretilmesi sağlanmalı, kalite geliştirme faaliyetlerinde ve problemlerinin çözümünde yaygın bir şekilde uygulanmalıdılar.

KAYNAKÇA

Acar, Nesime : "Kalite Fonksiyonu Göçerimi-Kalite Evi", **Verimlilik**, Özel Sayı, MPM Yayını, Ankara, 1995, s.117-132

Akao, Yojı : **Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design**, Productivity Press, 1990

Akın, Besim : **ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde İstatistik Proses Kontrol – İPK – Teknikleri**, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1996

Anjum, M.Farooq : "Response Surface Methodology :A Neural Network Approach Theory And Methodology", **European Journal of Operation Research,** 1997: **101**, pp. 65-73

Antony, J. : "Simultaneous Optimisation of Multiple Quality Characteristics in Manufacturing Processes Using Taguchi's Loss Function", **Int.J.of Adv. Manuf. Technology**, 17: 2001, pp.134-138

Aydın, M.Emin : "Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Segman Sanayiinde Bir Uygulama", **Standard**, Ekim 1994

Barker, Thomas B. : "Quality Engineering by Design: Taguchi's Philosophy", **Quality Progress**, December 1986, pp.32-42

Benton, W.C. : "Statistical Process Control and the Taguchi Method: A Comparative Evaluation", **Int.J.Prod.Res.**, Vol.29, No.9, 1991, pp.1761-1770

Blosch, Marcus; Antony, Jiju : "Experimental Design and Compure-Based Simulation: A Case Study With the Royal Navy", **Managing Service Quality**, Vol.9,No.5, 1999, pp.311-319

Boran, Semra : "Hata Şekli ve Etkileri Analizinin Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlenmesi Olanağı", YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996, İstanbul

Box, George E.P.; Bisgaard, Soren : "The Scientific Context of Quality Improvement", **Quality Progress**, June 1987, pp.54-61

Cengiz, Yaşar Baki; Yayla A. Yeşim : "Rekabet Üstünlüğü İçin Modern Yaklaşımlar", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

Connor, A.M. : "Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods", **Journal of Engineering Design**, Vol.10, No.4, 1999, pp.377-390

Çelik, Cafer : "Kalite Geliştirmede Tasarım Eniyileme Problemine Taguchi Yöntemlerinin Uygulanmasında Sistematik Bir Yaklaşım", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Anadolu Ünivesitesi, Fen Bilimleri Enst., 1993

Çelik, Cafer : "Tasarımda Yönlendirilmiş Tasarım Teknikleri", **Endüstri Mühendisliği**, Cild.7, sayı.6, 1996

Çelik, Cafer; Burnak, Nimetullah : "Kalite Anlayışındaki Gelişmeler ve Kalite Güvence Sistemi", **Endüstri Mühendisliği**, Cilt 6, sayı 4, 1995

Çelik, Cafer; Burnak, Nimetullah : "A systematic Approach to the Solution of the Design Optimization Problem" , **Total Quality Management**, Feb 98, Vol.9, No.1

Çelik, Cafer; Burnak, Nimetullah : "Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, Cilt.5, sayı.5, 1994, s.9-17,

Çelik, Cafer; Şen, Sadri : "Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Tasarım Eniyilemede Taguchi Yönteminin Kullanımı ve Bir Uygulama", **Endüstri Mühendisliği**, Cild.10, sayı.2, 1999, s.3-9

Day, Roland G. : **Kalite Fonksiyonu Yayılımı: Bir Şirketin Müşterileri ile Bütünleştirilmesi**, Çev.Marshall Boya ve Vernik San. AŞ, İstanbul, 1998

Disney, J.; Bendell, A. : "Taguchi Methods", **Managing Quality**, Sec. Ed. Edited By Barrie G. Dale, New York:Printice-Hall, 1994

Doğan, Üzeyme : **Kalite Yönetimi ve Kontrolu**, İstiklal Matbaası, İzmir, 1991

Fıkırkoca, Meryem : "Tasarımda Kalite ve Problem Çözme Yaklaşımı", **9. Ulusal Kalite Kongresi:Toplam Kalite Yönetimi ve Kamu Sektörü,**İstanbul, 21-22 Kasım 2000

Georgilakis, P.; Hatziargyriou, N.; Paparigas, D.; Elefsiniotis, S. : "Effective Use of Magnetic Materials in Transformer Manufacturing", **Journal of Materials Processing Technology**, 108:2001, pp.209-212

Hamada, M.; Wu, C.F.J. : "Response", **Technometrics**, May 1990:159-162, Vol.32, No.2

Heizer, Jay; Render, Barry : **Production and Operations Management: Strategic and Tactical Decisions**, Printice-Hall,Inc., New Jersey, 4th ed., 1996

Hsieh, Kun-Lin; Tong, Lee-Ing : "Optimization of Multiple Quality Responses Involving Qualitative and Quantitative Characteristics in IC Manufacturing Using Neural Networks", **Computers in Industry**, 46, 2001, pp.1-12

Huang, Ming-Chih; Tai, Ching-Chih : "The Effective Factors in the Warpage Problem of an Infection-Molded Part with a Thin Shell Feature", **Juornal of Materials Processing Technology**, 110,2001, pp.1-9

Hubele, N. Faris; B., Terrence; Baweja, Gurshaman; Hong, Suck-Chul; Chu, Rey : "Using Experimental Design to Assess the Capability of a System", **Journal of Quality Technology**, Vol.26, No.1, January 1994, pp.1-11

Ishikawa, Kaoru, : **Toplam Kalite Kontrol**, KalDer Yayınları, No.7, İstanbul,1996

Jayaram, J.S.R.; Ibrahim, Yaakop : "Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model", **Int.Juornal of Quality Science**, Vol.2, No.3, 1997, pp.199-205

Jayaram, J.S.R; Ibrahim, Y. : "Multiple Response Robust design and Yield Maximization", **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.16, No.9, 1999, pp.826-837

Kackar, Raghu N. : "Off-Line Quality Control, Parametre Design and the Taguchi Method", **Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method**, Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, pp.51-77

Kackar, Raghu N. : "Taguchi's Quality Philosphy: Analysis and Commentary", **Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method**, Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, 3-21

Kağnıcıoğlu, C. Hakan : "Üretim Öncesi Kalite Kontrolunda Taguchi Yöntemi ve Kükürdioksit Giderici Sitrat Yöntemine Uygulanması", Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1998

Kantarcı, Hazım : **Toplam Kalite Yönetimi**, Marmara Üniversitesi Yayını,1999

Kao, Imin; Gong, Chunhe : "Robot-Based Computer-Integrated Manufacturing as Applied in Manufacturing Automation", **Robotics&Computer-Integrated Manufacturing**, Vol13, No.2, 1997, pp.157-167,

Kavrakoğlu, İbrahim : **Kalite: Kalite Güvencesi ve ISO 9000**, KalDer Yayınları, Rekabetçi Yönetim Dizisi No.1, 2.Basım İstanbul, 1996

Kavrakoğlu,İbrahim : **Toplam Kalite Yönetimi**, KalDer Yayınları, No.2, 2.Basım, İstanbul,1994

Ke, C.-Y.; Chang, C.-L.; Ju, J.-J.; Huang, D.-R; Huang, R.-S. : "A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator", **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 239, 2002, pp.604-606

Kelly, P.J.; Arnell, R.D. : "Characterization Studies of the Structure Of Al,Zr ve W Coatings Deposited by Closed-Field Unbalanced Magnetron Sputtering", **Surface and Coatings Technology**, 97,1997, pp.595-602

Kim, Kyung Mo; Krishnamurty, Sunder . "A Dominance-Based Design Metric in Multiattribute Robust Design", **Research in Engineering Design**, 12, 2000, pp.235-248

Kim, Sangwoo; Jang, Jyongsik; Kim, Ohyoung : "The Rheological Properties Optimization of Fumed Silica Dispersions Using Statistical Experimental Design and Taguchi method", **Polimer Testing**, 17,1998; pp.225-235

Kobu, Bülent : **Endüstriyel Kalite Kontrolu**, İkinci Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3425, İstanbul, 1987

Kopac, Janes; Bahor, Makro; Sokovic, Mikro : "Optimal Machining Parameters for Achieving the Desired Surface Roughness in Fine Turning of Cold Pre-Formed Steel Workpieces", **Machine Tolls &Manufacture**, 42 (2002), pp.707-716

Köksal, Gülser : "Tekstil Ürünleri İçin Kalite İşlev Konuşlandırma Ve Robust Tasarım", **6. Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997,İstanbul

Kros, John F.; Mastrangelo, C.M. : "Comparing Methods for the Multi-Response Design Problem", **Qual.Reliab.Engng.Int.**, 17, 2001, pp.323-331

Kumar, Ashok; Motwani, Jaideep; Otero, Luis : "An application of Taguchi's Robust Experimental Design Technique to Improve Service Performance", **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.13, No.4, 1996, pp.85-98

Lee, C.L.; Tang,G.R. : "Tolerance Design for Products with Correlated Characteristics", **Mechanism and Machine Theory**, 35,2000, pp.1675-1687

Lee, Kiha; Kim, Jongwon : "Controller Gain Turning of A Simultaneous Multi-Axis PID Control System Using the Taguchi Method", **Control Engineering Practice**, 8,2000, pp.949-958

Lee., C.L.; Tang, G.R. : "Tolerance Design for Products with Correlated Characteristics", **Mechanism and Machine Theory**, 35, 2000, pp.1675-1687

Levitin, Gregory; Lisnianski, Anatoly : "A New Approach to Solving Problems of Multi-State System Reliability Optimization", **Quality and Reliability Engineering International**, 17, 2001, pp.93-104

Lin, J.L.; Wang, K.S.; Yan, B.H.; Tarng, Y.S. : "Optimization of the Electrical Discharge Machining Process Based on the Taguchi Method with Fuzzy Logics", **Journal of Materials Processing Technology**,102, 2000, pp.48-55

Lin, P.K.H.; Sullivan, L.P.; Taguchi, G. : "Using Taguchi Methods in Quality Engineering", **Quality Progress**, September 1990, pp.55-59

Lin, T.Y.; Tseng, C.H. : "Optimum Design for Artificial Neural Networks: An Example in a Bicycle Derailleur System", **Engineering Application of Artificial Intelligence**, 13, 2000, pp.3-14

Lofthouse, Thomas : "The Taguchi Loss Function", **Work Study**, Vol.48, No.6, 1999, pp.218-222

Loncher, Robert H.; Matar, Joseph E. : **Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design**, 1st ed. Chapman and Hall, USA, 1990

McDaniel, William R.; Ankenman, Bruce E. : "Comparing Experimental Design Strategies for Quality Improvement With Minimal Changes to Factor Levels", **Qual.Reliab.Engng.Int.**, 16, 2000, pp.355-362

McMillan, A.R.; Jones, I.A.; Rudd, C.D.; Middleton, V. : "Statistical Study of Environmental Degradation in Resin Transfer Moulded Structural Composites", **Composites**, Part A, 29A, 1998, pp.855-865

Mevik,B.H.; Faergestad, E.M.; Ellekjaer,M.R.;Naes,T. : "Using Raw Material Measurements in Robust Process Optimization", **Chememetrics and Intelligent Laboratory Systems**, 55, 2001, pp.133-145

Miyauchi, Ichiro : **Japonya'da Kalite Yönetimi**, Çev. Salim Atay, MESS Yayın No.301, İstanbul, 1999

Moen, Ronald D.; Nolan, Thomas W.; Provost, Lloyd P. : **Improving Quality Through Planned Experimentation**, Int.ed., Singapore: McGraw-Hill,1991

Mukhopadhyay,Samar K.; Chakraborty, Debopam : "Optimal Process Variance Under Taguchi Loss", **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.12, No.9, 1995, pp.14-29

Myers, R.; Montgomery, D.C. : **Response Surface Methodolgy: Process And Product Optimization Using Designed Experiments**, 1995,USA

Myers, R.H., Jutan, Arthur : "Response Surface Methodology: 1966-1988", **Computers Chem. Engn.** Vo.l21, No.4 1997, pp.441-453

Myers, R.H., Khm'i A. I., Vinning, G. : "Response Surface Alternatives to the Taguchi Robust Parameter Design Approach", **The American Statistician**, May 1992, Vol.46, No.2, pp.131-139

Nair, Vijayan N. : "Taguchi's Parametre Design: Experimental Strategy and Planning Techniques", **Technometrics**, Vol.34, No.2, May 1992, pp.142-146

Onuh, S.O.; Hon, K.K.B. : "Optimising Build Parameters for Improved Surface Finish in Stereolithography",**Int.J.Mach.Tools Manufact.**, Vol.38, No.4, 1998, pp.329-392

Özler, Cenk : "Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 1997

Peace, Glen S. : **Taguchi methods: A Hands-on Approach to Quality Engineering**, Addison-Ewsley Pub.Co.,1991

Peşkircioğlu, Nurettin : "Toplam Kalite Güvebnirliği için Programların Entegre Bir Parçası Olarak Taguchi Yöntemi", **Verimlilik**, Ankara: MPM Yayını,1990/4

Phadke, M.S. : "Quality Engineering Using Design of Experiment", Quality Control, **Robust Design and The Taguchi Method**, Ed.by Khosrow Dehnad, Wadsworth&Brooks, California,1989, pp.31-50

Phillip J.Ross : **Taguchi Techniques for Quality Engineering**, McGraw-Hill Book Co., 1989

Pignatiello, Jr. Joseph J. : "A Overwiew of the Strategy and Tactics of Taguchi", **IIE Transactions**, Vol.20, No.3, Sep 1988, pp.247-254

Raeside, Robert : "Taguchi Experimental Design Techniques to Engineers", **Int. Journal of Quality and Reliability Management**, Vol.12, No.1, 1995, pp.47-52

Reddy, P.B.S.; Nishina, K.; Babu, A.Subash : "Taguchi's Methodology for Multi-Response Optimization: A Case Study in the Indian Plastics Industry", **Int.Journal of Quality & Reliability Management**, Vol.15,No.6, 1998, pp.646-668

Roslund, Jerry L. : "Evaluating Management Objectives With the Quality Loss Function", **Quality Progress**, August 1989, pp.45-49

Rowlands, Hefin; Antony, Jiju; Knoles, Graeme : "An Application of Experimental Design for Process Optimization",**The TQM Magazine**, Vol.12, No.2, 2000, pp.78-83

Ryan, Thomas P. : "Taguchi's Approach to Experimental Design: Some Concerns", **Quality Progress**, 1988, pp.34-36

Schmidt, Michael S.; Meile, Larry C. : "Taguchi Designs and Linear Programming Speed New Product Formulation", **Industries-Electric/Electronic Statistics Design**, Interfaces 19:5 September-October 1989, pp.45-56

Sii, How Sing; Ruxton, Tom; Wang, Jin : "Taguchi Concepts and Their Applications in Marine and Offshore Safety Studies", **Journal of Engineering Design**, Vol.12, No.4, 2001, pp.331-358

Singpurwalla, N. D. : "A Bayesian Perspective on Taguchi's Approach to Quality Engineering and Tolerance Design", **IIE Transactions**, Vol.24, No.5, November 1992, pp.19-27

Snee, Ronald D. : "Creating Robust Work Processes", **Quality Progress**, February 1993, pp.37-41

Şirvancı, Mete : **Kalite İçin Deney Tasarımı:Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları, No.23, 1997

Taguchi, G.; Elsayed,A.Elsayed; Hsiang, Thomas C. : **Quality Engineering in Production Systems**, New York, McGraw-Hill, 1988

Taguchi, Genichi : "Quality Engineering (Taguchi Methods) for the Development of Electronic Circuit Technology", **Microelectronics and Reliability**, Vol.37, No.3, March 1997, pp.534-535

Taptık, Yılmaz; Keleş, Özgül : **Kalite Savaş Araçları**, KalDer Yayınları No.23, İstanbul, 1998

Tong, Lee-Ing; Su, Chao-Ton; Wang, Chung-Ho : "The Optimization Of Multi-Response Problems In The Taguchi Method", **Int.J. of Quality &Reliability Management**, Vol.14, No.4, 1997, pp.367-380

Tribus, Myron; Szonyi, Geza : "An Alternative View of the Taguchi Approach", **Quality Progress**, May 1989

Tsao Chung-Chen, Hocheng Hong : "Comparison of the Tool Life of Tungsten Carbides Coated by Multi-Layer TICN and TIALCN for end Mills Using the Taguchi Method", **Journal of Materials Processing Technology**, 123 (2002), pp.1-4

Tsui, Kwok-Leung : "A Critical Look at Taguchi's Modelling Approach for Robust Design", **Journal of Applied Statistics**, Vol.23, No.1, Feb 1996

Tunner, Joseph : "Is an Out-of-Spec Product Really Out of Spec?", **Quality Progress**, December 1990, pp.57-59

Tzeng, G.S.; Chen, H.G.; Wang, Y.Y.; Wan, C.C. : "Direct Metallization of Teflon-Based Printed Circuit Boards", **Surface and Coatings Technology**, 90, 1997, pp. 71-74

Unal, Resit; Dean, Edwin B. : "Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overwiev", **Annual Conference of the Int. Society of Parametric Analysts**, 1991, pp.1-9

Ünsal, Haluk Sami : "Kalite Fonksiyonu Açınımı", **6.Ulusal Kalite Kongresi: TKY ve Ekonomi Yönetiminde Kalite**, 12-13 Kasım1997, İstanbul

Wang, Reay-Chen; Chen, Chung-Ho : "Designing a Variable Sampling Plan Based on Taguchi's Loss Function", **Journal of Applied Statistics**, Vol.26, No.3, 1999, pp.309-313

Xie, H., Lee, Y.C., Mahajan, R.L., Su, R. : "Process Optimization Using a Fuzzy Logic Response Surface Method", **IEEE Transaction on Compenents Packing and Manufacturing Technology**, Part A, Vol.17, No.2, June 1994, pp.202-211

Yeniay, Mehmet Özgür : "Taguchi Deney Tasarımı Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı", Hacettepe Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 1999

: "Kalite Teknikleri", <http://www.kageme.itu.edu.tr/>, (Çevrimiçi, 20.06.2002)

: "Toplam Kalite Yönetimi",

<http://www.kalder.org/egitim.htm>, (Çevrimiçi, 04.06.2002

ÖZGEÇMİŞ

1966'da Van'da doğdu. İlkokulu Van'da, orta ve lise öğrenimini İstanbul Büyükçekmece Lisesi'nde tamamladı. 1982'de girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü.) İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1986 yılında mezun oldu. 1986-1987 yıllarında kısa bir sürelerle özel sektörde çalıştıktan sonra Ekim 1987'de Yıldız Teknik Üniversitesi (Y.T.Ü.) Kocaeli Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1988 yılında Y.T.Ü. Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 1992 yılında Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak atandı. Farklı bölümlerde Kalite Yönetimi, Kalite Kontrol, İstatistik, Bilgisayar Programlama, Problem Çözme ve Karar Verme Teknikleri derslerini okuttu. 2001 yılında doktorasını tamamlamak üzere İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü'ne geçici bir kadro ile atandı.

Halen İ.Ü. İşletme Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Kasım BAYNAL evli ve üç çocuk babasıdır.