

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK YANITLI PROBLEMLERİN OPTİMİZASYONUNDA
TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI VE ALKOLLÜ
İÇKİLER SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS

Endüstri Müh. İlknur GENCEL

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kasım BAYNAL

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

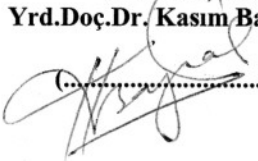
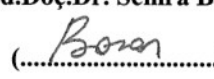
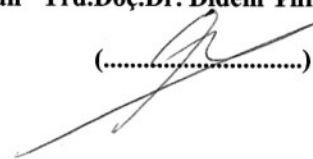
**ÇOK YANITLI PROBLEMLERİN OPTİMİZASYONUNDA
TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI VE ALKOLLÜ
İÇKİLER SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Müh. İlknur GENÇEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Haziran 2007

Tezin savunulduğu Tarih: 19 Temmuz 2007

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Yrd.Doç.Dr. Kasım Baynal	Yrd.Doç.Dr. Semra Boran	Yrd.Doç.Dr. Didem Yılmaz
 (.....)	 (.....)	 (.....)

KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünya çapında kalite çalışmalarında kalite tekniklerinin kullanımı her geçen gün gittikçe yaygınlaşırken yeni tekniklerin geliştirilmesi de bir zorunluluk haline gelmiştir. Artık amaç, istenen aralıklarda üretim yapmaktan çok, hedefe en yakın değerlerde üretim yapmaktır. Türkiye’de 1980’li yılların sonunda başlayan ve git gide önem kazanan kalite faaliyetleri arasında, dünyada geniş uygulama örneklerini gördüğümüz kalite teknikleri çok az uygulanmaktadır. Bu çalışma kalite tekniklerinden gelişmeye yönelik olarak nasıl faydalanılabileceği konusuna yönelik bir örnek uygulamayı hedefleyerek gerçekleştirilmiştir.

Kaliteyi sürekli geliştirmek, ürün mükemmelliği yoluyla rekabet ortamında pazar payı elde etmek için uygulanacak en akıllıca yoldur. Kaliteyi geliştirmek için yapılan çalışmaların en önemli adımlarından biri, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini kontrol edilebilen faktörlerin ayarlanmasıyla azaltmak, mamul ve prosesi değişkenlik kaynaklarına karşı güçlü (robust) yapmaktır.

Yapılan bu tez çalışması, sürekli kalite geliştirme anlayışını benimseyen Taguchi Yöntemi’nden yararlanarak bir ürünün daha kaliteli üretilmesi için, üretim faktörlerinin en iyi seviyelerinin bulunmasına yöneliktir. Uygulama, hangi faktörlerin etkilediği net olarak bilinen ama bunların seviyelerinin net tespit edilemediği bir proses olan fermentasyon prosesi üzerinde yapılmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Kasım Baynal’a, tez çalışmam esnasında desteğini hiç esirgemeyen değerli hocam Sayın Arş. Gör. Ümit Terzi’ye, firmada uygulama çalışmasını yapma aşamasında kıymetli zamanlarını ayıran ARGE departmanı çalışanlarına ve fermentasyon ünitesi ekibine, sonsuz hoşgörülerinden dolayı aileme ve bu çalışmam sırasında tüm sıkıntılarımı paylaşan Sayın Fehmi Gümüşel’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
İNGİLİZCE ÖZET	ix
1. GİRİŞ	1
2. KALİTE KAVRAMI, GELİŞİMİ VE KULLANILAN TEKNİKLER	3
2.1. Kalite Kavramı ve Değişen Tanımı	3
2.2. Kalite Kontrol Sistemi ve Gelişimi	5
2.2.1. Toplam kalite kontrol	7
2.3. Kalite Güvence Sistemi	7
2.4. Toplam Kalite Yönetimi	8
2.4.1. TKY'nin temel özellikleri	9
2.5. Kalite Mühendisliği ve Kalite Geliştirmenin Önemi	10
2.5.1. Kalite mühendisliğine genel bakış	10
2.5.2. Kalite geliştirme ve önemi	11
2.6. Kalite Maliyetleri	13
3. DENEY TASARIMI	16
3.1. Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı	17
3.2. Deney Tasarımının Tarihçesi	19
3.3. Deney Tasarımının Önemi ve Aşamaları	19
3.3.1. DeneYlerin tasarımı nın önemi	19
3.3.2. DeneYlerin tasarım yöntemlerinin ortak dili	21
3.3.3. Deney tasarımı nın aşamaları	24
3.3.3.1. Problemin durumu ve tanıtımı	25
3.3.3.2. Faktörlerin belirlenmesi ve seviyelendirilmesi	27
3.3.3.3. Sonuç değişkenlerin seçimi	27
3.3.3.4. Deney tasarım yönteminin seçimi	28
3.3.3.5. DeneYlerin yürütülmesi	28
3.3.3.6. DeneYlerin analizi (ANOVA (Analysis of Variance))	29
3.3.3.7. Sonuçlar ve tavsiyeler	31
3.4. Deney Tasarım Yöntemleri	31
3.4.1. Klasik yöntemler	32
3.4.1.1. Tek faktörlü deneYler	32
3.4.1.2. Çok faktörlü deneYler	33
3.4.1.3. Tam faktöriyel deneYler	34
3.4.1.4. Kesirli faktöriyel deneYler	37
3.4.2. Shainin yaklaşımı	42
4. TAGUCHİ YÖNTEMİ	45
4.1. Taguchi Yönteminin Kısa Tarihi	45
4.2. Taguchi'ye Göre Kalite Kavramı ve Felsefesi	46

4.3. Taguchi Yönteminin Getirdiği Yenilikler	50
4.4. Kalite Mühendisliği Kavramı	53
4.5. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi	54
4.5.1. Çevrim içi kalite kontrol.....	54
4.5.2. Çevrim dışı kalite kontrol	55
4.6. Ürün ve Proses Tasarımına Taguchi Yaklaşımı	57
4.6.1. Sistem tasarımı.....	59
4.6.2. Parametre tasarımı.....	59
4.6.2.1. Tasarım eniyileme problemi	60
4.6.2.2. Parametre tasarım deneyinin genel yapısı	63
4.6.2.3. Faktörlerin sınıflandırılması	66
4.6.2.3.1. Kontrol faktörleri.....	66
4.6.2.3.2. Gürültü faktörleri	67
4.6.2.3.3. Gürültü faktörlerine karşı kalite önlemleri	68
4.6.2.4. Parametre tasarım probleminin sınıflandırılması.....	69
4.6.2.4.1. Statik parametre tasarım problemi	70
4.6.2.4.2. Dinamik parametre tasarım problemi.....	71
4.6.2.5. Performans istatistiği ve S/N oranı	72
4.6.3. Tolerans tasarımı.....	75
4.7. Taguchi Yaklaşımının Diğer Araçları.....	76
4.7.1. Kayıp fonksiyonu.....	76
4.7.2. Ortogonal diziler	80
4.7.2.1. 2 ⁿ serisi ortogonal dizinler	82
4.7.2.2. 3 ⁿ serisi ortogonal dizinler	83
4.7.3. Serbestlik derecesi.....	83
4.7.4. Doğrusal grafikler	85
4.7.5. Üçgensel tablolar.....	85
4.8. Taguchi Yönteminin Uygulama Adımları.....	87
4.8.1. Çalışma ekibinin kurulması	89
4.8.2. Amaçların belirlenmesi	90
4.8.3. Performans karakteristiklerinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi.....	91
4.8.4. Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve sınıflandırılması.....	92
4.8.5. Kontrol ve gürültü faktörlerinin seviyelerinin belirlenmesi	92
4.8.6. Potansiyel etkileşimlerin belirlenmesi	93
4.8.7. Uygun ortogonal dizilerin seçilerek atamaların yapılması.....	93
4.8.8. Taguchi kayıp fonksiyonu ve performans istatistiklerin belirlenmesi	94
4.8.9. Deneyin hazırlanması	95
4.8.10. Deneylerin yapılması ve kontrol faktörlerinin eniyi değerlerinin bulunması	95
4.8.11. Doğrulama değerlendirilmesi deneyinin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi	99
4.9. Taguchi Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	100
4.10. Taguchi Yöntemine Eleştiriler.....	103
5. ÇOK YANITLI PROBLEMLER	105
5.1. Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü	107
5.1.1. Kalite kaybını hesaplama	108
5.1.2. Çok yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) oranını belirleme.....	109
5.1.3. Eniyi faktör/seviye kombinasyonunu belirleme	110

5.1.4. Doğrulama deneyinin yapılması	112
6. TAGUCHİ YÖNTEMİ'NİN ALKOLLÜ İÇKİLER SEKTÖRÜ'NDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMADA FERMANTASYON PROSESİ ÜZERİNDE UYGULANMASI.....	114
6.1. Uygulamanın Yapıldığı Firma Hakkında Genel Bilgi	114
6.2. Etil Alkol Üretimi ve Fermantasyon Prosesi Hakkında Genel Bilgi	114
6.2.1. Etil alkol üretimi	114
6.2.2. Fermentasyonla alkol eldesi	115
6.2.2.1. Alkol fermantasyonunu etkileyen faktörler	116
6.2.2.2. Kuru üzümünden alkol eldesi	119
6.2.2.3. Fermentasyon ürünleri.....	123
6.3. Taguchi Yönteminin Uygulanması	124
6.3.1. Problemin belirlenmesi ve çalışma ekibinin kurulması	124
6.3.2. Faktör ve seviyelerin belirlenmesi	125
6.3.3. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi	126
6.3.4. Deneyin uygulanması ve verilerin analizi	128
6.3.4.1. Kalite kaybının hesaplanması	131
6.3.4.2. Çok yanıtı sinyal gürültü oranının belirlenmesi.....	134
6.3.4.3. Eniyi faktör/seviye kombinasyonunun belirlenmesi	136
6.3.5. Doğrulama deneyi	138
7. SONUÇ	141
KAYNAKLAR.....	142
EKLER.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	150

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kalite kontrol sistemi	6
Şekil 2.2. TKY’de tamamlanmış organizasyonel sistem	8
Şekil 2.3. Kalitenin verimliliği geliştirme yolları.....	12
Şekil 2.4. Deming’ in üretimi bir sistem olarak görüşü	13
Şekil 3.1. Taguchi deney tasarım modeli.....	18
Şekil 3.2. Problemin çözümüne yönelik olan deneysel tasarım aşamaları	25
Şekil 3.3. Değişim azaltma konusunda Shainin yaklaşımı	44
Şekil 4.1. Kalite karakteristiklerinin hedef değerden sapması	49
Şekil 4.2. Kalite mühendisliği bileşenleri	53
Şekil 4.3. Taguchi metodunun sistematigi	57
Şekil 4.4. Bir ürün prosesinin blok diyagramı.....	60
Şekil 4.5. Parametre tasarım deneyi planının bir örneği	64
Şekil 4.6. Gürültü faktörlerinin etkisi	67
Şekil 4.7. Statik parametre tasarım probleminin blok diyagramı	70
Şekil 4.8. Dinamik parametre tasarım probleminin blok diyagramı	71
Şekil 4.9. Kontrol probleminin blok diyagramı	72
Şekil 4.10. Geleneksel kalite kontrol yaklaşımında kayıplar	76
Şekil 4.11. Taguchi yaklaşımında kayıplar	77
Şekil 4.12. Amaç fonksiyonuna göre Taguchi kayıp fonksiyonları	79
Şekil 4.13. L ₈ doğrusal grafikleri.	85
Şekil 4.14. Taguchi yöntemi ve DOE yöntemi	102
Şekil 5.1. Taguchi yöntemi’nde çok yanıtlı problemler için eniyileme prosedürü ..	112
Şekil 6.1. Kuru üzüm işleme ünitesi	122
Şekil 6.2. Fermentasyon ünitesi.....	122
Şekil 6.3. Yanıtların birbirine karşı olan önem dereceleri	133
Şekil 6.4. Yanıtların aldığı ağırlık değerleri 1.....	133
Şekil 6.5. Yanıtların aldığı ağırlık değerleri 2.....	134
Şekil 6.6. Faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri.....	137

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Kalite maliyet bileşenleri.....	14
Tablo 3.1. Varyans analizi tablosu	30
Tablo 3.2. Bir faktör bir kerede denenen yedi faktörlü deney tasarım matrisi	33
Tablo 3.3. Yedi faktörlü tam faktöriyel deney tasarım matrisi	36
Tablo 3.4. İki seviyeli iki faktör deney tasarım matrisi	36
Tablo 3.5. Faktör sayısına bağlı olarak etkileşim adetleri	38
Tablo 3.6. 2^3 tam faktöriyel tasarım matrisi.....	39
Tablo 3.7. 2^3 kesirli faktöriyel matrisi.....	40
Tablo 3.8. Değişmiş 2^3 kesirli deney matrisi	40
Tablo 3.9. 2^3 deney matrisinin karıştırma uygulanmış şekli	42
Tablo 4.1. Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri.....	56
Tablo 4.2. Varyasyon yaratan gürültü faktörlerine karşı önlemler ve bunların üretim sisteminde kullanılması	69
Tablo 4.3. $L_8(2^7)$ ortogonal dizini	81
Tablo 4.4. $L_{12}(2^{11})$ ortogonal kolonu	82
Tablo 4.5. Etkileşimler için serbestlik derecesi hesapları	84
Tablo 4.6. $L_{27}(3^{13})$ için üçgensel tablo.....	86
Tablo 6.1. Kontrol faktörleri ve seviye değerleri	126
Tablo 6.2. Seçilen ortogonal dizi.....	127
Tablo 6.3. L_9 ortogonal dizisi için deney koşulları.....	127
Tablo 6.4. Aldehit verileri.....	129
Tablo 6.5. Ester verileri	129
Tablo 6.6. Metenol verileri.....	129
Tablo 6.7. N-Proponal verileri.....	130
Tablo 6.8. İso-Bütanol verileri	130
Tablo 6.9. İso-Aminoalkol verileri	130
Tablo 6.10. Derece verileri.....	131
Tablo 6.11. Hesaplanan kalite kayıp değerleri	131
Tablo 6.12. Hesaplanan normalleştirilen kalite kayıp değerleri.....	132
Tablo 6.13. Ağırlıklara göre hesaplanan MRSN değerleri	135
Tablo 6.14. Deney kombinasyonu ve bunlara ait ortalama, standart sapma ve yanıt değerleri.....	135
Tablo 6.15. Faktörlerin MRSN üzerindeki ana etkileri	136
Tablo 6.16. Doğrulama deneyi verileri	139
Tablo 6.17. Normalleştirilen kalite kayıplarına göre hesaplanan TNQL ve MRSN değerleri.....	140

SEMBOLLER

y	: sonuç değişkeni
x	: faktör
k	: faktör sayısı
n	: etkileşimde yer alan faktör sayısı
\approx	: karıştırılmış olan etkilerin ölçümü
Δ	: sapma
θ	: kontrol faktörleri
ω	: gürültü faktörleri

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ANOVA	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
ARGE	: Araştırma Geliştirme
ASI	: American Supplier Institute
ASQC	: Amerikan Kalite Kontrol Derneği (American Society of Quality Control)
ÇYP	: Çok Yanıtlı Problemler
DOE	: Deneş Tasarımı (Desing of Experiment)
KED	: Kontrol Edilemeyen Değişkenler
KD	: Kontrol Edilebilen Değişkenler
KG	: Kalite Güvence
KKF	: Kalite Kayıp Fonksiyonu
LTB	: Larger the Better (Daha büyük daha iyi)
MRSN	: Çok Yanıtlı Sinyal Gürültü Oranı (Multi Response Signal Noise)
MSD	: Ortalama Kareli Sapma
MSS	: Çok Durumlu Sistem(Multi-State System)
NTB	: Nominal the Best (Nominal en iyi)
PT	: Parametre Tasarımı
QFD	: Quality Function Deployment (Kalite Fonksiyon Dağılımı)
SPC	: İstatiksel Proses Kontrolü (Statistical Proses Control)
STB	: Smaller the Better (Daha küçük daha iyi)
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
TNQL	: Normalleştirilen Toplam Kalite Kaybı (Total Normalized Quality Loss)
TY	: Taguchi Yöntemi
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti

ÇOK YANITLI PROBLEMLERİN OPTİMİZASYONUNDA TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI VE ALKOLLÜ İÇKİLER SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

İlknur GENCEL

Anahtar Kelimeler: Kalite Geliştirme, Deneysel Tasarım, Taguchi Yöntemi, Çok Yanıtlı Problemler, Fermentasyon Prosesi

Özet: Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre değişkenlerinin artmasına paralel, faktöriyel olarak büyüdüğü için çoğu zaman maliyet ve zaman açısından pratikte uygulanabilirliğini tümüyle yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda çok daha az denemeli ve en az klasik olanı kadar iyi sonuç veren deney dizileri (ortogonal dizi) geliştirmiş ve deneysel tasarımın imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. Ortogonal diziler faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önerirler. Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmaları çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır. İstatistiksel deneysel tasarım Taguchi 'nin kalite sisteminde çevrim dışı kalite kontrol içinde yer almaktadır.

Bu çalışmada, kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin en iyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan Taguchi Yöntemlerini çok yanıtlı problemlerin eniyilenmesinde kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliğini ortaya koymak 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 hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde çok yanıtlı problemler ve bunların eniyilenmesi için bir prosedür açıklanmaktadır. Çalışmanın beşinci bölümünde ise endüstriyel 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.

TAGUCHI APPROACH IN OPTIMIZATION OF MULTI-RESPONSE PROBLEMS AND AN APPLICATION IN ALCOHOLIC BEVERAGES SECTOR

İlknur GENCEL

Keywords: Quality Improvement, Design of Experiment, Taguchi Methods, Multi-Response Problems, Fermentation Proses

Abstract: As statistical experiments parallel to the increasing product parameters and parameter variation, most of the time loses its use in practise with respect to cost and time. However Taguchi has developed experiment arrays (orthogonal array) likely to its classical forms with less number of tests and has made experiment design accepted by the manufacturing sector. Orthogonal arrays advice changing factor levels at the same time instead of changing one at a time. Taguchi addresses quality in two main areas: on -line and off-line quality control. In Taguchi quality system statistical experimental design is in off-line quality control.

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 improve the quality.

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, brief information about 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.

BÖLÜM: 1. GİRİŞ

Sınırlı miktardaki veri kümesinden, bir takım incelemeler sonunda çeşitli bilimsel yorumlar getirebilmek için kullanılan istatistik biliminin kullanım alanı, zaman ve maliyet açısından getirdiği avantajlar sayesinde giderek artmaktadır. Geçmişte kalite dendiğinde aklımıza muayene kavramı gelmekteydi. Fakat kalite alanında gerçekleştirilen ilerlemeler ile muayene faaliyetleri, kalite kavramıyla birlikte anılmaktan çıkmış, son çare olarak başvurulabilecek, işletmeler açısından maliyetleri arttıracak ve arzulanmayan bir yöntem şekline dönüşmüştür. 1900'lü yılların başından itibaren ortaya konan kalite kavramlarının birçoğu istatistiksel temellere dayanmaktadır. Bu nedenle, günümüzde istatistik, kalitenin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Dünyadaki pazar yapılarının değişmesine paralel olarak, rekabet anlayışının da değişmesi ülkelerin ekonomik, teknolojik ve bilimsel alanlarda gerçekleştirdikleri faaliyetleri etkilemiştir. Bu durumda üreticiler müşteri istek ve beklentilerini en üst düzeyde karşılamak, yani ürününü yüksek kalite ve düşük maliyetle üretebilmek için belli arayışlar içerisinde olmak zorunda kalmıştır. Bu arayışlarının başında uluslararası standartlarla belirlenmiş ürünü ve üretim sistemini oluşturmak gelir.

Gerçekte dünya çapında hedef Toplam Kalite Yönetimi olsa da Kalite Güvencesi bu amaç için atılması gereken bir ön adımdır. Kalite Güvence Sisteminin şirket bazında oturulması başlangıçta belli maliyetler gerektirse de, kaliteyi sağlamak amacıyla sistem tarafından öngörülen istatistiksel çalışmaların yapılmasında, kalite araç ve tekniklerinin uygulanarak hata analizlerinin yapılması ve problemlerin çözülmesi iç ve dış hata oranlarında azalmaya olanak sağlar.

Modern kalite kontrolde sistemin amacı, tüketici tercihlerini karşılamak için ürünleri tasarlamak ve ürünü ekonomik olarak üretmektir. Modern kalite kontrol teknikleri bitmiş ürünler üzerine odaklanmayıp daha çok hatalı ürünlerin oluşmasını önlemeye

yönelik çalışmaları içermektedir. Bu da, işletmelerin verimliliklerini arttırmak ve rekabet avantajlarını yükseltmeye yönelik olarak, kalitenin sadece üretim hattında değil, ürün ve süreç tasarım aşamalarında da doğru bir şekilde planlanması gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Taguchi'nin önerdiği deney düzenleri, faktör düzeylerini istatistiksel deney düzenlerindeki gibi teker teker değiştirmek yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu yaklaşım, istatistiksel deney tasarımına yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, endüstri uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya koymuş ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deneysel tasarım yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur.

Bu çalışmada, çok yanıtlı bir problemin eniyilenmesi amaçlanmaktadır. Bunun için geniş uygulama alanına sahip olan TY'nden yararlanılarak, istenilen ürün kalitesi için en iyi üretim koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Uygulama Alkollü İçkiler Sektörü'nde faaliyet gösteren bir firmada yapılmıştır. Problem olarak, rakı hammaddesi olan sumanın istenen speklerde çıkmamasından dolayı fermente maişenin oluşumunda etkisi olan fermantasyon süreci ele alınmıştır. Ürün ve prosesteki varyasyonlara karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi değerleri belirlenerek, söz konusu varyasyonlar en aza düşürülmeye çalışılmıştır. Ürünün performans karakteristiğini etkilediği düşünülen dört kontrol edilebilen faktör belirlenerek, L_9 ortogonal dizisine atanmış ve önemli kontrol edilemeyen faktörlerin olmadığı varsayılarak, deneyler yürütülmüştür. Her deney kombinasyonu toplam 126 veri analiz edilerek eniyi üretim koşullarını veren faktör/seviye kombinasyonu belirlenmiştir. Belirlenen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan doğrulama deneyinde örnek ürünler üretilerek, bunlara ait veriler ile başlangıç faktör/seviye kombinasyonuna göre üretilen ürünlere ait veriler analiz edilerek, karşılaştırma ve yorumlar yapılmıştır.

BÖLÜM: 2. KALİTE KAVRAMI, GELİŞİMİ VE KULLANILAN TEKNİKLER

2.1. Kalite Kavramı ve Değişen Tanımı

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 kullanılabilir. 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].

Genichi Taguchi ise ürün kalitesi için alışılmamış bir tanım yapmaktadır [3]. "Ürünün gerçek fonksiyonları ile neden olduğu kayıplardan başka, ürün sevk edildikten sonra toplumda neden olduğu en az kayıptır". Taguchi "kayıp" kavramı ile aşağıdaki iki kategoriyi ifade etmektedir:

- 1) Fonksiyonun değişkenliği ile neden olunan kayıp,
- 2) 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 [4].

Kalite hiçbir zaman tesadüfen elde edilmez, uzun ve yoğun çalışmalar sonucunda elde edilir. Kalite kavramının tarihi geçmişte Mısırlılara ve Romalılara kadar uzanır. Tarihi eserlerin bugüne kadar çok az zararla hatta bozulmadan gelmiş olmaları o devirlerde yaşayan insanların kaliteye verdikleri önemin bir göstergesidir.

Kalite kavramı özellikle İkinci Dünya savaşı sonrasında Japonlar tarafından büyük ilgi görmüştür. Atom bombası ile yerle bir olan Japonya'nın gelişen dünyada kendini kabul ettirebilmesi için kaliteli ve ucuz ürünler üretmesi şarttı. Bunu en kısa sürede gerçekleştirmek isteyen Japon işadamları Amerika'dan kalite konusunda kendini yetiştirmiş olan bilimadamlarını ülkelerine davet etmişler ve onların verdikleri seminerleri mühendisleri ile beraber büyük bir ilgi ile dinlemişlerdir. Amerikalı Deming ve Juran'ın seminerleri sonrasında Japonlar kalite anlayışını benimsemişler ve iş dünyasında sosyal yapılarına uyacak şekilde uygulamışlardır. Kalite konusunda Japonların başarıları zamanla artmış ve bu konudaki ilerlemelerinin sebebi olarak Amerikalılar Deming ve Juran'i suçlamışlardır. Oysa Deming ve Juran'a göre Japonların kalite çalışmaları konusunda hızla ilerlemelerinin temel sebebi kalite kavramının öneminin özellikle işadamları tarafından çok iyi anlaşılmış ve kabul edilmiş olmasıdır [5].

Kalitenin tanımı geçmişten günümüze oldukça büyük değişim göstermiştir. Önceleri kalite "spesifikasyonlara uygunluk" olarak tanımlanırken günümüzde kalite kavramının temeli spesifikasyonlar değil müşteridir. Kalite müşteri memnuniyeti ile eşdeğerdir. Kalite hareketini ilk başlatan Shewart'dır. Shewart 1931 yılında Toplam Kalite Kontrolün açık tanımını vermiş ve nasıl ölçülüp kontrol edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Shewart parçalar, insanlar, beceriler ve proses parametreleri arasındaki değişkenliği yaşam biçimi olarak benimsemiş ve İstatistiksel Proses Kontrol tekniklerini kullanarak daha iyi anlaşılabilirlik ve kontrol sağlanabileceğini savunmuştur [6].

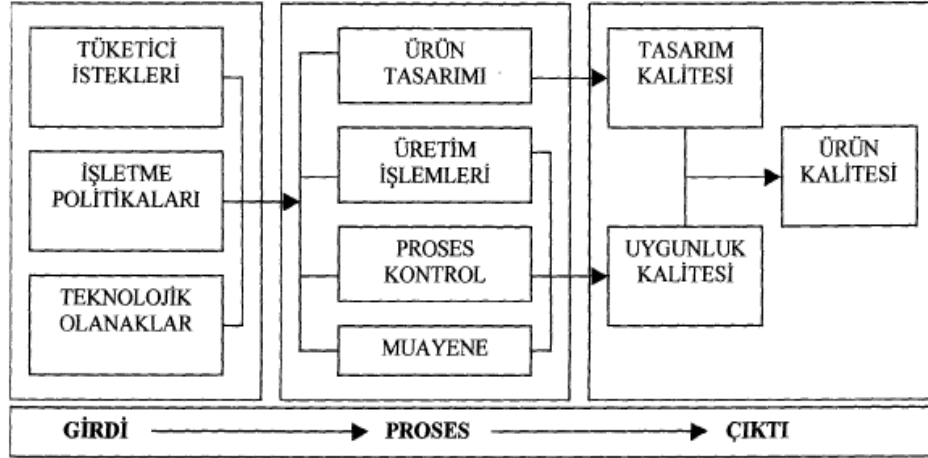
Kalite konusunda bu güne kadar yapılan çalışmalara rağmen kalite kavramına tam olarak tanım getirilememiş ve her bilimadamı kendi çalışmaları doğrultusunda kaliteyi tanımlamıştır. Buradan da anlaşıldığı gibi kalite göreceli bir kavram olup tanımı kişilerin yaşam koşullarına ve değer yargılarına göre değişmektedir ve özellikle zamana bağlı olarak değişmektedir. Sonuçta kalite müşteri odaklı bir kavram olarak ele alınırsa müşterilerin kaliteyi seviyelendirirken üzerinde durdukları yedi kriterin açıklanması ile kalite doğrudan anlam kazanacak ve bu kavramlardaki değişikliklerde kalite üzerine yapılan çalışmaların çıkış noktasını oluşturacaktır[5].

1. Performans :Üründen üretici tarafından beklenen karakteristikler, yani ilk spesifikasyon karakteristikleridir.
2. Özellik: Ürünün ikincil karakteristikleri, yani temel fonksiyonlarıdır.
3. Güvenilirlik: Ürünün belirli zaman içinde bozulmadan kalma olasılığı.
4. Uygunluk: Ürün tasarımı ve karakteristiklerinin önceden belirlenmiş standartlarla eşleşmesi durumu.
5. Dayanıklılık: Ürün ömrünün ekonomik ve teknik olarak ölçüsü.
6. Servis: Servis hızı, tamir ustalığı ve nezaket.
7. Estetik: (Sübjektif boyut) Ürünün görünümü, sesi, tadı veya kokusu müşteri tarafından belirlenmiş bu kriterlere müşterinin verdiği cevaplar sonunda kalite kavramı anlam ve boyut kazanır.

2.2. Kalite Kontrol Sistemi ve Gelişimi

Önceleri şirketlerde kaliteden söz edildiği zaman ilk akla gelen ürün kalitesi idi. Bu amaçla üretilen ürünün kalitesi imal edenler tarafından hem üretilip hem de kontrol ediliyordu. Daha sonraları bir işi yapanın kendi yaptığı işi doğru olarak kontrol etmesinin çok zor olduğu anlayışının benimsenmesi ile bu işi yapmak için üreten kişilerin dışında bir başkası görevlendirilmiştir. Bu görevli sağlam ürünlerden hatalı olanları ayırmakla görevlendirilmiş ve ürünler bu kontrolden sonra sevk edilmişlerdir. Kalite Kontrol (KK) faaliyetleri bu uygulamalar ile başlamıştır. Kalite kontrol; belirlenen spesifikasyonlara uygun olarak üretim yapan ve bunu gerçekleştirebilmek için istatistiki teknikleri kullanan bir anlayıştır. Bu anlayış daha sonra gelişerek yerini yeni uygulamalara bırakmıştır [6].

Kalite Kontrol sisteminde tüketici istekleri, işletme politikaları ve teknolojik olanaklar girdiyi; ürün tasarımı, üretim işlemleri, proses kontrol ve muayene dönüşüm prosesini; tasarım ve uygunluk kalitesinden oluşan ürün kalitesi de çıktıyı oluşturur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Kalite kontrol sistemi [1]

Kalite Kontrol sistemi, belirli bir ürünün istenilen kalite düzeyine en ekonomik şekilde ulaşılması amacına yönelik teknik ve yönetsel faaliyetlerden oluştuğuna göre bu amaca ulaşabilmek için kalitenin önce planlanması, sonra kontrol altına alınması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu aşama modern kalite sisteminin faaliyetlerini ortaya koymaktadır[1].

Kalite Planlama: Ürün kalitesinin ne olacağını saptanmasına ilişkin kararları kapsamaktadır. Stratejik Planlama (Politikalar) ve Taktik Planlama (Standartlar 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 "bilgi" bölümlerinden oluşmakta ve üretimle etkileşim içinde bulunmaktadır.

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 "eniyelerine" ve mevcut olanakların geliştirilmesi veya değiştirilmesi suretiyle kalite düzeyinde gelişme sağlayan "teknolojik gelişme" sistemlerinden oluşmaktadır.

2.2.1. Toplam kalite kontrol

Kalite kontrolden bir sonraki asama Toplam Kalite Kontrol (TKK) anlayışıdır. Toplam Kalite Kontrol anlayışında kalite kontrole ek olarak firma organizasyonunda yer alan diğer bölümlerinde kalite çalışmalarına katılımının sağlanmış olmasıdır. Yönetim kadrosunun üretim ve kontrol kadrosuna katılma konusundaki ilk atılımı Toplam Kalite Kontrol anlayışı ile sağlanmıştır. Bu anlayışla kalitenin sadece üretkenlerin değil, aynı zamanda yönetenlerin sorumluluğu olduğu ortaya çıkmıştır. Toplam Kalite Kontrol tasarım, imalat, pazarlama, satış ve diğer bölümlerarası ikili bilgi alışverişinin zorunluluğuna inanan bir felsefeyi savunur. Toplam Kalite Kontrol anlayışında daha iyiye ulaşmak için kalite araç ve tekniklerinin kullanımı yaygındır[6].

2.3. Kalite Güvence Sistemi

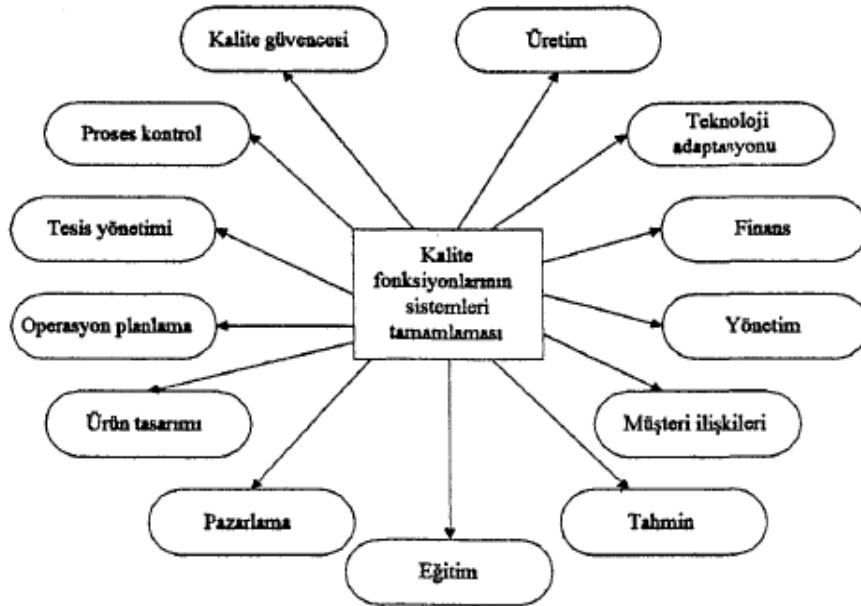
Kalite kontrol; hatalı olanların ayrıldığı ve proses sürecinde spesifikasyonlara uygun üretim için kontrollerin yapıldığı anlayışken, Kalite Güvencesi (KG) ise; yönetim, üretim ve servis döngüsünde kalite kontrolün sağlanması ve bunun var olan kalite standartlarına göre belgelenmesini içine alır. Kalite Güvencesi ile firmalardaki kalite anlayışına standartlar girmiştir. Ürün kalitesinin bu standartlara göre belgelenmesi ile firma kalitesi güvence altına alınmış olur [6].

1980'li yıllarda ortaya çıkan Kalite Güvencesi, planlanan hedeflere uygun olarak üretimi kontrol ederek doğrulamanın yanı sıra, kalite işlevlerinin uygun olarak yerine getirileceğinin ve getirildiğinin belgelerle kanıtlanmasıdır. Kalite Güvence Sistemi ise, Kalite Kontrol ve Kalite Güvence işlemlerinin yerine getirilebilmesi için gereken kalite yönetiminin idari ve teknik ilişkiler bütünüdür.

Kalite Kontrol ile Kalite Güvence kavramları arasında en önemli fark, birincisinin ürün üzerinde, ikincisinin ise üretim sistemi üzerinde odaklanmasıdır. Başka bir ifade ile fark, üründe kalite özellikleri ve sistemde kalite özelliklerinin sağlanması ile açıklanabilir [8].

2.4. Toplam Kalite Yönetimi

Son yıllarda en sık duyduğumuz kavram olan Toplam Kalite Yönetimi(TKY) ise bu kavramların hepsini içinde barındıran bir yapıya sahiptir. TKY, kalitenin standartlara ve spesifikasyonlara uygunluk olarak yapılan geleneksel tanımının ötesinde bir anlam içerir. Kalite, kullanıcının yada müşterinin tatmin olma derecesi olup, bu da ürünün kullanıma uygunluğu ile ilgilidir. Toplam kaliteye ulaşıp ulaşılmadığını müşteri belirler. Toplam kalite için toplam müşteri tatmini gerekir, bu da işletme organizasyonu içinde bölümler, birimler ve fonksiyonlar olarak tanımlanan içsel müşterilerle, işletme dışı alıcılar, müşteriler yada kullanıcılar olarak tanımlanan dışsal müşterilerin gereksinimlerinin tatminidir[8].



Şekil 2.2: TKY’de tamamlanmış organizasyonel sistem [6]

Toplam Kalite Yönetimi anlayışında lider, yapıcıdan çok düşünen rolünde olmalıdır. Yöneticilerde aranması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir [6].

1. Liderler stratejilerini iyi belirlemeli,
2. Müşteri üzerine yoğunlaşmalı
3. İşçi katılımını sağlamalı,
4. Çalışanların eğitimini sağlamalı
5. Kalite hakkında iletişim kurabilecek seviyede olmalı,
6. Kalite prosesi ve kalite araçları için gerekli malzemeyi temin etmelidir.

Toplam Kalite Yönetiminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Hurda, yeniden işleme ve ekstra işçiliğini azaltır.
2. Araştırma geliştirme çalışmalarının maliyetlerini, envanter seviyelerini ve ekstra sermaye harcamalarını düşürür.
3. Kullanılan teçhizat ve malzemelerin verimliliğini artırır.
4. Müşteri şikayetleri, garanti ve tüketici sorumluluğu azalır.

2.4.1. TKY'nin temel özellikleri

TKY'nin özellikleri kısaca aşağıda açıklanmaktadır [9]

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.

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 anlaşılmalı 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 seviye 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.

2.5. Kalite Mühendisliği ve Kalite Geliştirmenin Önemi

2.5.1. Kalite mühendisliğine genel bakış

Kalite mühendisliği, bir üründe kalitenin tasarlanma sürecini ve üretimden önce potansiyel kalite sorunlarının belirlenmesini işaret eder. Kalite mühendisliği ürün ve hizmetlerde kalitenin değerlendirilmesi ve tasarımı için planlar, işlemler ve yöntemler ile ilgilenir. Kalite mühendisliğine daha fazla önem verilmesi için gereksinim günümüz ürünlerinin eskiye göre daha karmaşık olmasından kaynaklanmaktadır[10].

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

Ürün tasarımcıları tasarımlarında çok zaman ürünün maliyetini ve üretilebilme yeteneğini düşünmeden hareket ederler. Üretim ve tasarım mühendisliği arasındaki koordinasyon eksikliği bir çok üretim sorunlarına neden olur. Uygun olmayan toleransların kullanılması da ciddi üretim sorunlarına ve çok fazla standartlara uymayan ürün üretimine yol açar. Tüm bu ve buna benzer nedenlerden dolayı tasarım, üretim ile karşılıklı iletişim halinde çalışmalıdır.

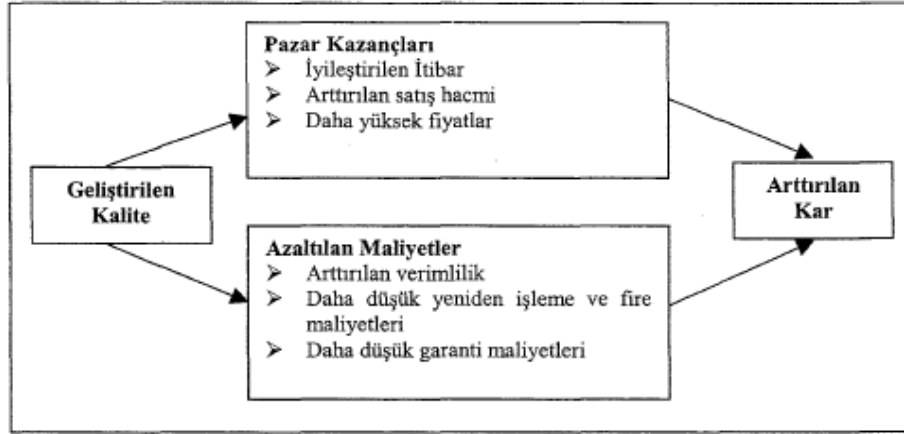
Kalite güvenliğinden sorumlu kişiler bu koordinasyonu sağlamada birinci derecede önemlidir. Kalite mühendisleri spesifikasyonlara uygun üretilebilen ürün geliştirmede tasarımcılara yardımcı olurlar. Tasarım standartlarını üretim ile en iyi ilişkilendiren ve üretimde en çok sorunla karşılaşılan bölümleri bilen kalite mühendisleri tasarım maliyetleri ile kalite maliyetlerini karşılaştırarak dengeyi sağlamaya çalışırlar. Kalite mühendisleri hurda, tamir ve hizmet kayıtlarını en iyi bilen kişilerdir. Süreç yetenek analizi ile de üretim araçlarının istenilen üretim yeteneğine sahip olup olmadığı belirlenir. Kalite mühendisliği sadece maliyet ve pazarlama açısından değil yasal açıdan da önemlidir. Kullanılan üründen kaynaklanan yaralanmalar ya da ölümlerde işletmenin sorumluluğu göz önüne alınırsa, ürün tasarımı daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle, ürün sorumluluğu ürünün tasarımından itibaren dikkate alınmalıdır.

2.5.2. Kalite geliştirme ve önemi

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[2].

Pazar Payı ve Maliyetler: Şekil 2.3, kalitenin geliştirilmesi ile pazar payı artışı ve maliyet tasarrufu sağlayabileceğini gösterir. İkisi de karlılığı etkileyebilir. Aynı şekilde, kalite standartlarına bağlı kalmak, daha az hatalı ve daha düşük servis maliyetleri demektir. Bir klima üreticilerinin analizi de, kalite ile verimliliğin pozitif ilişkili olduğu gösterilmiştir. 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 artırılmış pazar payı potansiyeli düşünüldüğünde, toplam maliyetler en küçük 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.

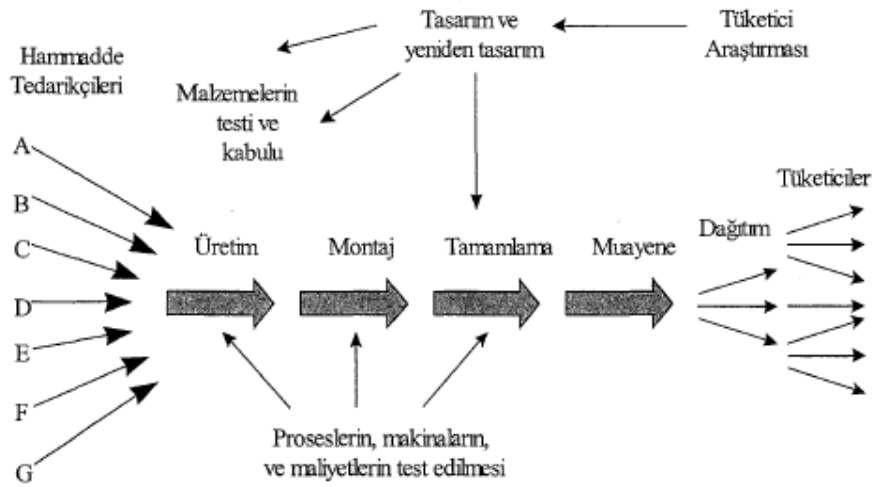


Şekil 2.3: Kalitenin verimliliği geliştirme yolları [2]

Ürün Sorumluluğu: Mahkemeler, tasarımı, üretimi veya dağıtımını yapılan kusurlu ürün veya hizmetlerin kullanımından kaynaklanan tazminat veya hasarlara bağlı olarak işletmeleri artan şekilde sorgulamaktadır. 1972 Müşteri Ürün Güvenlik Kanunu, ürün standartlarını belirlemiş ve uygulamıştır. Bu standartları karşılayamayan ürünler cezalandırılmıştır. Doğum hatalarına kazara neden olan ilaçlar, kansere yol açan izolasyon maddeleri veya çarpışma nedeniyle patlayan

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

Uluslararası Kabul Görme: Bu teknoloji çağında kalite, üretim ve operasyonlar yönetimi kadar uluslararası 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. 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.



Şekil 2.4: Deming' in üretimi bir sistem olarak görüşü

2.6. Kalite Maliyetleri

Yapılan hataları düzeltmek ve yeniden doğru olarak yapmak için gereğinden fazla zaman ve para harcanmaktadır. Günümüz koşullarında ise, firmaların para ve zaman kaybetmeye tahammülleri yoktur. Kalite maliyetleri; önleme maliyetleri, ölçme ve değerlendirme maliyetleri ve başarısızlık maliyetlerinin toplamı şeklinde ifade edilir[12]. Tablo 2.1'de kalite maliyet bileşenleri gösterilmiştir.

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

Tablo 2.1: Kalite maliyet bileşenleri

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

Kalite maliyetlerinin belirlenip analiz edilmesiyle aşağıdaki yararlar sağlanabilir [13].

1. Kaliteye yönelik programların ve kontrol çalışmalarının etkinliğine ilişkin değerlendirmeler yapılması sağlanır.
2. Uygulanan program ve projelerde gerekli düzenlemeler yönlendirilir.
3. Ürünlerin gerçek maliyetlerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak fiyatlandırılması sağlanır.
4. Sorunların varlığı ve çözüm önceliklerinin belirlenmesi sağlanır.
5. Dış alımların daha sağlıklı yapılmasına katkıda bulunur.
6. Kaliteye yönelik çalışmaların işletme içinde düzenli bir biçimde dağılması sağlanır.
7. Muhasebe açısından, bütçelemenin daha duyarlı yapılmasına yardımcı olur.
8. Yöneticiler ile diğer personel arasında iyi ve anlaşılabilir bir iletişim kurulur.
9. Öngörülen proje ve yatırımlara yönelik veriler oluşturulur.

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

BÖLÜM: 3. DENEY TASARIMI

Bir ürünün kalitesi; tasarım, uygunluk ve kullanım kalitesi olmak üzere üç yönde oluşmaktadır. Ürünün performansındaki varyasyon bu üç aşamadan kaynaklanmakta, varyasyonları enküçükmek 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 çıkılabilmektedir. Çünkü proses ne kadar duyarlı ayarlanırsa ayarlanırsın, yanlış tasarım nedeniyle proseste oluşabilecek temel bozukluklar giderilemez. Ancak üretim prosesine tam kontrol söz konusuysa ürün tasarımı gibi üretilebilir. Ürün ve proses tasarımı aşamalarında uygulanacak bir kalite kontrolü ile ürünün üretilebilirliğini ve güvenilirliğini geliştirmek, kullanım maliyetlerini azaltmak olanaklı olabilmektedir. Ürün ve proses tasarımı geliştirmeye yönelik yöntemler maliyet arttırmadan üretim kusurlarını azaltmaktadır[14].

Deney, genel anlamda bir veya daha fazla sayıda belirli bir konuda sınırlandırılmış soruları yanıtlamayı hedefleyen işlem şekli olarak tanımlanır. Deney tasarımı, belirlenmiş bir tasarım matrisine göre süreç üzerinde etkili olması muhtemel süreç değişkenleri değerlerinin sistematik olarak değiştirilerek, bir deney veya bir takım sıralı deneylerin gerçekleştirilmesi yöntemidir [12].

Deney tasarımında amaç, herhangi bir konu üzerinde düşünülen problem ile ilgili en fazla sayıda bilgiyi mümkün olduğunca zaman, para ve deney malzemelerini en ekonomik şekilde kullanarak sağlamak ve kalite karakteristiğini etkileyen en önemli değişkenleri bulmaktır. Belirlenen hedeften olabilecek sapma, kalite kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle ürün; ürün ve süreç tasarımı sırasında en uygun şekilde tasarlanmalıdır. Bu iki aşamanın en önemli adımı şüphesiz parametre tasarımıdır.

Parametre tasarımı aşamasında, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin ürünün performansına olan etkilerini belirlemek için kullanılan en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Burada amaç, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en aza indirecek şekilde süreci ayarlamaktır. Bu çeşit ürün yada süreç tasarımı ile, sağlam (robust) ürün elde edilir. Deney tasarımı, çevrim dışı kalite kontrolün en etkin aracıdır [15].

Deney tasarımı ile değişik koşullar altında elde edilen sonuçlar aşağıdakilere ulaşabilmek amacı ile değerlendirilir; [16]

1. Test edilen değişkenlerin içinde etkili olanların tanımlanması
2. Belli bir aralıkta değişkenlerin çeşitli düzeylerinin etkilerinin ölçülmesi
3. Sürecin mevcut durumda işleyişinin daha iyi anlaşılması
4. Bir takım etkenlerin ve etkileşimlerin karşılaştırılması

Deney tasarımı yönteminin ürün ve süreç geliştirme çevriminin başlangıcında uygulanması aşağıdakiler gibi birçok fayda sağlar; [16]

- a. İyileştirilmiş süreç çıktıları
- b. Nominal veya hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılması
- c. Toplam geliştirme süresinin düşürülmesi
- d. Toplam maliyetin azaltılması

3.1. Kalite Geliştirmede Deney Tasarımı

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.

Ürün veya proses geliştirme;

1. Sistem tasarımı,
2. Parametre tasarımı,
3. 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 (outer) diziyeye yerleştirilerek incelendiği Şekil 3.1 'deki deney tasarım modelinin kullanılması önerilmektedir. [14]

Deney No	İç Dizi						Veriler						Performans İstatistiği
	A	B	C	.	.	K	Y ₁₁	Y ₁₂	.	.	.	Y _{1k}	
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 3.1: Taguchi deney tasarım modeli

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;

1. Kontrol faktörleri,
2. Düzeltme faktörleri,
3. Etkisiz faktörler

Deneyler sonunda elde edilen performans değerleri ve performans istatistiği (Sinyal/Gürültü (S/N) 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 dönüştürdüğü 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 değişkenliği azaltmaktır.

3.2. Deney Tasarımının Tarihçesi

Deney tasarımı 1920'lerde Sir Ronald Fisher tarafından tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Kısa sürede Amerika tarımında üretimin geliştirilmesi için yoğun biçimde kullanılmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider duruma gelmesinde büyük katkısı olmuştur. Sonraları kimya ve ilaç endüstrisinde de kullanılmış olmasına rağmen, imalat sektöründe uygulamaları oldukça yenidir. Amerika'da imalat sektörünün bu yöntemi yeniden keşfetmesi 1980'den sonra Japon kalite kontrol uygulamalarının incelenmesinden sonra başlamıştır. Deney tasarımı Japonya'da Dr. Genichi Taguchi liderliğinde, imalat sektöründe kalitenin geliştirilmesi için çok etkin bir biçimde uygulanmıştır. Deney tasarımı yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, Taguchi, endüstri uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkıda bulunmuştur [17].

3.3. Deney Tasarımının Önemi ve Aşamaları

3.3.1. Deneylerin tasarımının önemi

Tasarım bugün sadece estetik açıdan ele alınan ve sadece ürüne ait bir kavram olmaktan çıkmış ve müşteri istekleri doğrultusunda gerek fonksiyonel gerekse estetik açıdan ürüne en iyi özellikleri sağlayacak ürün ve üretim sisteminin beraber tanımlandığı bir kavram haline gelmiştir. Tasarım kavramının bu şekilde estetik

tasarımından mühendislik tasarımına geçişi, tasarımda mühendislik bilgilerinin öncelikli yer tuttuğunu göstermektedir.

"Kalite ürünle birlikte tasarlanmalıdır" anlayışı ile varolan veya yeni geliştirilen ürün/üretim sistemlerinde müşteri isteklerini karşılayacak ürünleri üretebilmek için gerekli ürün kalite karakteristiklerine ulaşmak için sistemli çalışmak şarttır.[18]

Ürün veya üretim sisteminde belirlenen problemlerin çözümüne yönelik değişik kalite geliştirme çalışmaları yapılabilir ancak bu çalışmalar belirli bir sistematik içinde kalite araç ve tekniklerini kullanılmadan gerçekleştirilirse, istenen amaca ulaşmak oldukça uzun zaman alabilir. Bu yüzden üründe veya üretim sisteminde belirlenen problemlerin çözümüne yönelik olarak birtakım araştırmalar yapılır. Bu araştırmalarda öngörülen deneylerin anlaşılır ve üzerinde yorum yapılabilir olması için uzun süren ön çalışmalarla alt yapısı hazırlanmalı ve iyi tasarlanmalıdır. Ürünün ve/veya üretim sisteminin performansını etkileyen faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesi ile başlayan bu ön hazırlık. safhasında beyin fırtınası, balık kılıcı ve hata ağacı gibi kalite araçlarının kullanılması gereklidir.

Yapılan ön hazırlıklar genelde deneyin oluşum mekanizmasına da yansiyarak değişik deneysel tasarım yöntemlerinin oluşmasına neden olur. Bu deneysel tasarım yöntemleri temelde aynı amaca hizmet etmekle birlikte sonuca en kısa sürede ve maksimum kazançla ulaşabilmek için gerek ön çalışma gerekse deney matrisinin oluşturulmasında farklı yollar izlemektedir.

Deneysel tasarım yöntemlerinin amacı incelenen sistemdeki değişimlerin nedenlerini araştırmaya ve bu değişimleri ortadan kaldırmaya veya değişimlere karşı sistemi güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. Deneysel tasarım yöntemlerinde sistemi etkileyen tüm faktörler ele alındığı için normalde sistemdeki bir faktörü düzeltmekle elde edilebilecek fayda yerine, bir kaç faktörde küçük değişiklikler yaparak toplamda daha çok fayda sağlanabilir.

Müşteri memnuniyetsizliği ve/veya kalitenin zayıflığı nedeniyle oluşan ekonomik kaybı ortadan kaldırmak için, incelenen sistemdeki değişimleri azaltmak gereklidir.

Kalite yetersizliğinin neden olduğu bu kayıp, satış fiyatının % 10-25 ini doğrudan harcar. Bunu aşmanın yolu ürünün ve prosesin doğru tasarımından geçmektedir[19].

Yukarıda belirtildiği gibi üretilen ürün/proses de oluşacak değişimler, hem müşteri memnuniyetsizliğine yol açtığı için, hem de düşük kalitenin kaybettirdiği pazar payının etkisi ile ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Değişimin temelde altı kaynağı vardır. Bunlar aşağıdaki maddelerle ifade edilebilir; [20]

- a. Zayıf yönetim
- b. Yetersiz ürün/proses spesifikasyonları
- c. Zayıf bileşen spesifikasyonları
- d. Yetersiz kalite sistemi
- e. Yetersiz tedarikçi malzemeleri
- f. Operatör hatası

3.3.2. Deneylerin tasarım yöntemlerinin ortak dili

Deneyisel tasarım yöntemlerinde problem ister yeni ürün veya üretim sisteminin tasarlanması, ister var olanların geliştirilmesine yönelik çalışmalarda ortak bir dilin kullanılması hem deney tasarımını hem de istatistiki analizleri kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bazı deneyisel tasarımlarda, deneyi tasarlayan ve sonuçların analizini gerçekleştirenlerin farklı kişiler olması bu durumu zorunlu hale getirmektedir.

Gerek bilinçsiz olarak tasarlanmış deneylerde ve gerekse sistematik deney tasarımlarında kullanılan terimlerin anlaşılabilirliğinin sağlanması, deney tasarımlarının verimliliğini artırmaktadır. Araştırma geliştirme çalışmalarında önemli olan sistematik ve düzenli olarak çalışmaktır. Bu yüzden herşeyden önce deneylerin hangi değişkenlerle ve hangi şartlarda yapılacağını ve sonuçta hangi değişkenin ölçülmesinin gerekli olduğunu bilmek gerekmektedir.

Deneyisel tasarım yöntemlerinde daha öncede belirtildiği gibi deney matrisleri farklı olmasına rağmen kullanılan ortak dil genelde aynıdır. Ancak tasarımcıların bazı kavramlar üzerinde daha hassasiyetle durmaları deneyoluşum felsefesinde temel ayrımları ortaya çıkarmaktadır.

Deneylerde kullanılan ortak kavramlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.[11]

Sonuç Değişkeni (y): Deneylerde gözlemlenen, ölçülen değer yani deneyin çıktısıdır. Sonuç değişken bazen bağımlı değişken, bazen proses performansının ölçümü bazen ise bir kalite karakteristiğidir. Deneyler bir veya daha fazla çıkış değişkenine yani kalite karakteristiğine sahip olabilirler.

Faktör (x): Kontrol edilebilen parametrelere faktör denir. Bağımsız veya güncel değişken olarak da adlandırılır. Deneylerde kontrollü olarak sonuç değişken üzerinde etkilerini gözlemlemek için devamlı değiştirilirler. Faktörler kalitatif veya kantitatif olabilirler. Kalitatif faktörler sürekli skalada ölçülen faktörler olup sıcaklık örnek olarak verilebilir. Kantitatif faktörler ise sürekli skalada ölçülemezler; örnek olarak hammadde tedarikçileri verilebilir. Kantitatif faktörler için değer aralıkları, nasıl ölçülmesi gerektiği, deney esnasında kontrol edilebilecek seviyeler, önceden belirlenmelidir.

Gürültü Faktörü (z): Bazen geri plan değişkeni veya bloklama değişkeni olarak da adlandırılır. Bu değişkenler; deneylerde sonuç değişkeni etkilerler ama faktör olarak ele alınmazlar. Tipik geri plan değişkenleri; zaman, operatör, kalıptaki boşluk ve donanım türü olarak sayılabilir.

Deney Birimi: Deneyde kullanılan malzemelerin en kk miktarıdır. rnek olarak yığınlar, malzemenin bir kilogramı, bir insan veya 10 m² verilebilir. Diğer bir ifade ile malzemenin imalat aşamasında veya serviste bir denemedeki miktarıdır.

Seviye: Deneydeki kalitatif veya kantitatif faktörlerin özel seçenekleri veya verilen değerleridir.

İşlem/Deneme/alışma: Deneysel tasarım terminolojisinde faktör seviyelerinin sonuç değişken üzerine etki eden belirli bileşimlerine denir. Kimyasal bileşiğin kazancına etki eden faktörlerin fırın sıcaklığı ve hammaddenin satıcıları olduğu varsayılırsa, buna bağlı olarak bu iki faktörün değişik seviyelerinin ele alındığı kombinasyonların her biri bir denemedir.

Etki: Faktörün bir seviyeden öteki seviyeye değişmesi durumunda sonuç değişken üzerinde görülen değişimdir.

Etkileşim: Etkilerin lineer olmaması durumudur.

Özellikle sonuç değişkenler, faktörler ve geri plan değişkenleri arasındaki ayırım deney planlamada oldukça önemlidir. Faktörler ve geri plan değişkenleri sebep olarak ve sonuç değişkenleri ise etki olarak ele alınırsa bu ayırım kolaylaşır.

Tekrar deneyler, iki veya daha fazla denemenin faktör-seviye bileşimleri ve deney şartları aynı olacak şekilde yapılmasıdır. Tekrar deneyler kontrol edilen şartlarda deneysel hataların yani deneysel birimlerdeki değişiminin öneminin tahmininin belirlenmesini sağlar. Deneysel tasarım yapıldığında deneyi yapan tekrar deneylerin yapılıp yapılmadığından emin olmalıdır. Tekrar deneylerden alınan sonuçların standart sapması kontrol edilemeyen ölçüsel hata değişikliklerini tahmin etmede kullanılır. Tekrar deneyler yapılmamışsa kontrol edilemeyen deney hatalarını ölçmek için bir veya daha fazla etkileşim sıfır farz edilmelidir. Tekrar deneylerin yapılması ekstra maliyet getirir. Eğer tasarım dengede ise her faktör-seviye bileşimi aynı sayıda tekrarlanmış demektir [18].

Deneysel hata, istatistiklerde gözlemlerdeki anlamlı farkları saptamanın temelidir. Hangi etkileşimlerin veya faktörlerin sonuç üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu saptamada referans olarak hizmet verir. Tekrar deneyler ortalama standart sapmayı azaltarak kararlılığı artırır. [18]

Tekrarlama, ise tüm deneylerin ve/veya bir kısmının deney şartlarının değişik kurulmuş şekliyle yapılmasıdır. Tekrarlamanın karar vermedeki fonksiyonu önemlidir. Tekrarlamanın artması ile deneylerde elde edilen sonuçlar arttığından kullanılan birimlerin (malzemelerin miktarı) çeşidi artar, geniş koşullar altında sonuç elde edilmeye çalışılır [18].

Bloklar, deney tasarımında benzer olarak işlenen deneysel birimlerin gruplarıdır. Bloklar geri plan değişkenleri olarak tanımlanabilir. Bloklama ile sonuç değişkeninin

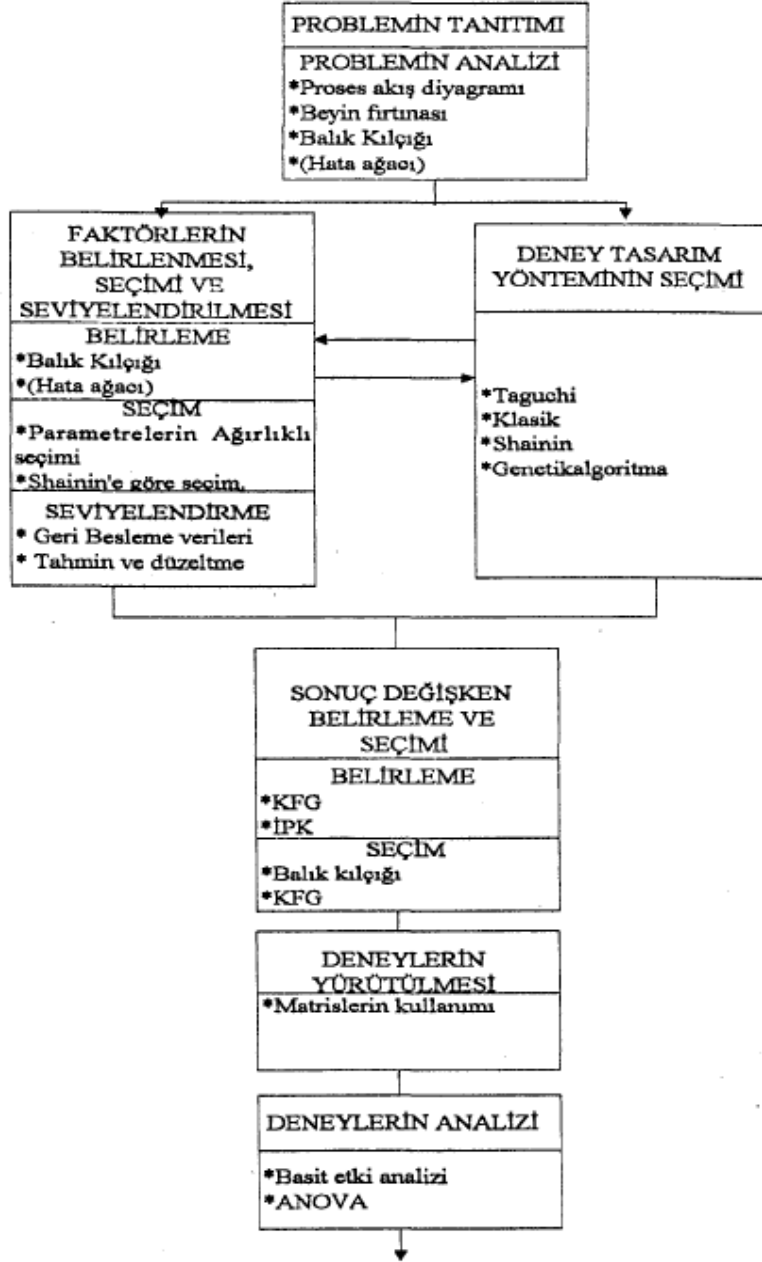
değişimi tüm deneydeki değişimden daha az beklenir. Örneğin bir defada test edilen ve üretilen deneysel birimlerin diğer defadaki periyotlarda üretilen deneysel birimlerden daha az değişmesi beklenebilir [11].

Deneylerin üçüncü özelliği bloklama veya lokal kontroldür. Bu deneysel araçta amaç, benzer deney birimlerini gruplar veya bloklar içinde düzene koyarak bloklar arası değişkenlikten kaynaklanan deneysel hataları elimine etmektir. Bir firmada yapılan motivasyon programında, memurların performansının değerlendirilmesi, şirkette aynı geçmişe ve tecrübeye sahip olanları bloklayarak yapılır ve eğitim programının etkisi bloklar halinde ele alınır. Bu tür deneyler bloklar arasındaki farkı saptamamıza yardımcı olur. Bloklar aynı birimleri içerdiğinden eşite yakın şartlar altında işlemlerin karşılaştırılmasına izin verir. Bloklama deney şartları ve deney malzemesinin heterojenliğini önler. Değişimin diğer kaynakları mevcutsa değişik tasarım alternatifleri (Latin Kare gibi) değişikliği bloklamak için kullanılır. Bloklama, bloklararası değişiklik blok içindekinden fazla ise, verimlidir [18].

3.3.3. Deney tasarımının aşamaları

Deneysel tasarım konusu bir bütün olarak temelde tüm tasarım uygulamalarındaki yaklaşımla eşdeğer olarak problemin çözümüne yönelik adımları içerir. Sistematize olarak gerçekleştirilen deneysel tasarım çalışmalarında deneylerdeki faktörlerin ve seviyelerinin kombinasyonları farklı şekillerde ele alınsa da yaklaşım aynıdır. Problemin çözümüne yönelik olan deneysel tasarım çalışmaları Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yedi adımdan oluşmaktadır.[5]

1. Problemin durumu ve tanıtımı,
2. Faktörlerin ve seviyelerinin seçimi,
3. Sonuç değişkenlerin seçimi,
4. Deneysel tasarım yönteminin seçimi,
5. Deneylerin yürütülmesi,
6. Verilerin analizi



Şekil 3.2: Problemin çözümüne yönelik olan deneysel tasarım aşamaları

3.3.3.1. Problemin durumu ve tanıtımı

Deney tasarımı prosesin anlaşılır, ölçülen sonuç değişkenin kantitatif, kararlı ve anlamlı olmasının yanında amaç ve ilkelerin açık olarak belirlenmiş olması

gereklidir. Amaç, en son ulaşılmaması istenen hedefdir. İlke ise, görevin nasıl gerçekleştirilebileceğini gösteren yöntemdir [20].

Deneylerin tasarımının gereklerini tam olarak yerine getirmek ve belirlenen amaca ulaşabilmek için ön şart, problemin tam ve doğru olarak belirlenmesidir. Problem sistemde ve/veya üründe, ürünü kullanan müşteri veya üretici tarafından belirlenen bir hata veya eksiklik olabileceği gibi rekabet gücünü artırmak için ürün ve üretim sisteminde yapılması istenen bir araştırma geliştirme faaliyeti de olabilir. Problemin tanıtımından sonra hazırlık safhasında önemli olan diğer bir konuda problemin analizidir. Problemin analizi için öncelikle gerek üretim sistemi ve gerekse ürünün özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Deney tasarımı sürecinde kullanılan dilin tam ve doğru olarak ortaya konulması ve probleme anlamlı olarak dahil edilmesi için proses akış şemasının ortaya konması şarttır. Aksi takdirde önemli parametreler önemsenmeyebileceği gibi, sonuç değişkenlerde yanlış veya hatalı seçilebilir. Bu adım parametre optimizasyonunun hatası veya başarısı için karar adımıdır ve tüm deney tasarımının anahtar aktivitesi olarak özellikle önemsenmelidir. Bu önemli adımla deney tasarım prosesinin % 80'i oluşturulmuş olur [21].

Homing-in yöntemlerinde belirlenen kriterlere göre etkili faktörlerin seçimi gerçekleştirilir. Özel homing-in yönteminin seçimi değişik kriterlere bağlıdır. Örneğin deneylerin tasarımında problemin analizi safhasında 30 parametre tespit edilmiş olsun. Bu parametreler homing-in yöntemlerinde belirlenen kriterlere bağlı olarak tüm aktiviteler gerçekleştirildikten sonra dörde indirilebilir. Homing-in yöntemleri deneyleri gerçek sayısına indirmede ve ilk seçimi ortaya koymada kullanılan kaba bir yaklaşımdır [21].

Özetle problemin analizi safhasında belirlenen çok sayıdaki parametre, bu safhada söz konusu yöntemlerin uygulanma farklılıklarında göz önüne alınarak değerlendirilir. Klasik anlayışta ve Taguchi yönteminde genelde deneyi gerçekleştiren kişilerin inisiyatifi doğrultusunda bir nevi ağırlıklı ortalamaları alınarak en önemli

parametreler seçilir. Shainin parametre azaltma konusunda daha farklı bir homing-in yönteminden faydalanarak parametreleri azaltma yoluna gitmiştir.

3.3.3.2. Faktörlerin belirlenmesi ve seviyelendirilmesi

Kalite üzerine etkili parametrelerin seçilip indirgenmesinden sonraki aşama bu parametre/faktör seviyelerinin belirlenmesidir. Faktör kavramı esas olarak kontrol edilebilen faktörler için kullanılan bir kavramdır. Faktörlerin sınıflandırılması değerlendirme kriterlerine bağlı olarak yapılır. Genelde oluşturulan, balık kılıçığı faktörlerin tümünü içerir ama değerlendirme kriterlerine bağlı olarak deney tasarımına katılır. Sistemi etkileyen ve kontrol edilmesi çok güç veya olanaksız olan parametreler ise kontrol edilemeyen faktör adını alırken deneysel tasarımlarda amaç, bu kontrol edilemeyen değişkenleri kontrol altına almak yerine, bu faktörlerden sistemi en az etkilenir hale getirmek, yani güçlendirmektir. Bu tür bir çözüm gerek ucuz, gerekse daha kolay olması nedeniyle tercih edilir.

Seçilen faktörler için seviyelerin belirlenmesinde yeni geliştirilen bir ürün veya proses için bilimsel verilerden çıkarılacak ip uçlarından faydalanılabileceği gibi daha önce var olan ve geliştirilmesi istenen ürün veya proseslerde bilimsel verilerin yanı sıra deneyimlerden de faydalanılması gerekmektedir.

3.3.3.3. Sonuç değişkenlerin seçimi

Deney tasarımında ön hazırlık kadar önemli olan bir aşamada sonuç değişkenlerin seçimidir. Sonuç değişkeni, deneyin çıktısı, sistem veya ürünün kalite karakteristiğidir. Kalite karakteristiği seçimi ancak problemin iyi ve doğru olarak anlaşıldığı durumda yani problemin analizi ile mümkündür.

Diğer taraftan yukarıda belirtilen aşamalarda doğru yaklaşımlar kullanılıp, doğru kararlar alınmış olsa da yapılan deneylerde hangi faktörlerin hangi yöntemle ölçülmesi gerektiği de doğru olarak belirlenmemişse, deneylerden anlamlı sonuçlar elde edilip edilmediği bilinemediğinden maliyeti düşürmek yerine sistem veya ürün geliştirme çalışmalarına ek maliyet getirilmiş olur. Doğru belirlenmiş ve doğru

ölçülmüş kalite karakteristiği deney sonucunun doğru olarak analizini ve yorumunu mümkün kılar.

3.3.3.4. Deney tasarım yönteminin seçimi

Deneysel tasarım kavramı yeni geliştirilen bir kavram olmayıp insanoğlunun keşfetmeye ve geliştirmeye olan merakıyla birlikte ortaya çıkmış bir kavramdır. Deneyler önceleri sadece bir faktörün etkisinin incelendiği basit deney yaklaşımından, faktörlerin ve hatta onların seviyelerinin ve etkileşimlerinin incelendiği deney tasarımlarına dönüşmüştür. Deneyi yapan kişi maliyeti, zamanı ve incelediği sistemi göz önüne alarak probleme en uygun deneysel tasarım yöntemini seçmelidir. Deneysel tasarım yöntemlerini parametrelerin optimizasyonuna yönelik olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

1. Klasik yöntemler
 - a. Tek faktörlü
 - b. Tam Faktöriyel
 - c. Kesirli Faktöriyel
2. Shainin yöntemi
3. Taguchi yöntemi

Deney tasarım yönteminin seçimi, anlaşılır ve verimli sonuçlar elde etmek açısından oldukça önemlidir. Ürün ve/veya proses geliştirme amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda amaç, gerek maliyet gerekse teknolojik açıdan gerçekleştirilebilir kaliteli tasarımı elde etmektir. Yüksek kalite ve düşük maliyete ulaşmanın yolu deney tasarım yönteminin doğru seçilip uygulanması ile sağlanabilir. Deneysel tasarım yönteminin seçiminde karar organı deneyi tasarlayan kişidir. Hedeflerine en uygun yaklaşımı seçmekte özgürdür.

3.3.3.5. Deneylerin yürütülmesi

Klasik anlayışta deney matrisinin oluşturulması aşamasında keskin ve karmaşık uygulamalar benimsenmiştir. Bazı hallerde klasik anlayışta varolan ve analizde

kullanılan matematiksel yaklaşımın karmaşıklığı nedeniyle deneyi tasarlayan ve analizini gerçekleştiren kişilerin farklı olması, deney tasarımında hata olasılığını artırmaktadır. Klasik yöntemleri uygulamak için gerekli sürelerin uzun olmasının yanı sıra uzman personel gereksinimi söz konusu yöntemlerin güçlükleri arasındadır. Daha sonra ortaya çıkmış olan Taguchi ve Shainin yöntemleri ise deney matrisinin oluşumundan çok, ön hazırlık safhası üzerinde çok zaman harcamışlar ve özellikle iyi anlaşılabilir ve doğru analiz edilen sistemlerde deney tasarımının çok daha kolay yapılabileceğini savunmuşlar ve bireysel çalışmadan çok grup çalışması üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Deneylerin oluşturulması aşaması, seçilen deney tasarım yöntemine göre işlemlerin gerçekleştirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada seçilen yöntemle ilgili olarak faktörler ve onların etkileşimleri de ele alınır. Deney oluşumu seçilen yöntem kurallarına uyulmadan gerçekleştirilirse yanlış sonuçlar elde etme olasılığı yüksektir. Daha önceden belirlenen faktörler ve etkileşimleri seçilen deney tasarım yönteminde söz konusu deney matrisine yerleştirilir ve matristeki işlem sırasına göre deneyler gerçekleştirilerek sonuç değişken ölçülür.

3.3.3.6. Deneylerin analizi (ANOVA (Analysis of Variance))

ANOVA, deneysel verileri yorumlamada ve karar vermede kullanılan bir istatistik yöntemidir. Sir Ronald Fisher tarafından 1930'da tarımsal deneylerin sonuçlarını değerlendirmek üzere geliştirilmiştir. ANOVA, test edilen grupların ortalama performansındaki değişimi tespit etmek için kullanılan karar aracıdır.

Deneylerin analizi aşamasında sonuç değişken veya kalite karakteristiği olarak isimlendirilen bağımlı değişkende görülen varyansın kaynağı incelenir. Bu inceleme çok basit olarak faktörlerin veya etkileşimlerin etkisi hesaplanıp daha sonra bu değerlerin grafiklerle gösterilmesi ile gerçekleştirilebileceği gibi daha karmaşık ama daha anlamlı olan Varyansların Analizi (ANOVA) adı verilen istatistiksel yaklaşımla da gerçekleştirilebilir. Bu noktada tüm deney sonuçları sadece grafik olarak veya sadece faktörlerin tek tek etkisi olarak elde edilir. Buna göre değişik faktörlerin anlamının belirlenmesi varyans analizi ile sağlanır [21].

ANOVA, temelde deneyde kullanılan faktörlerin veya onların etkileşimlerinin deneye katkısının belirlenmesi için sonuç değişkenlerin karelerinin değişik gruplar içinde toplamını ele alır ve toplam varyanslarını belirler. Daha sonrada değişimlerin sisteme katkı yüzdesini hesaplayıp en uygun faktör/parametre tasarımının seçimini mümkün kılar. Sonuç değişkenlerin kareleri; gruplararası karelerin toplamı ve grup içi karelerin toplamı olarak ikiye ayrılır.

ANOVA' da istatistik uygulamalarda faktörlerin prosese veya ürüne katkılarını görmek için üç tip varyans hesaplanır. Karelerin toplamını varyansa (ortalama kare veya MSD) çevirmek için onları serbestlik derecesine bölmek gereklidir (Tablo 3.1) [21].

Tablo.3.1: Varyans analizi tablosu

Varyans Türü	Formül	Anlamı
Toplam Varyans	$\frac{\sum_{i,j} (y_{ij} - \bar{y})^2}{na - 1}$	Toplam ortalamadan gözlemlerin sapmalarının karelerinin ortalaması
Grup İçinde Varyans	$\frac{\sum_{i,j} (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{a(n-1)}$	İlgili grup ortalamalarından gözlemlerin sapma karelerinin ortalaması (havuz değişim)
Gruplararası Varyans	$\left[\frac{\sum_{i,j} (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{a - 1} \right]$	Her gözlemden gözlemlerin sayısı ile toplam ortalamadan grup ortalamasının sapmalarının karelerinin ortalaması.

Serbestlik derecesi (sd); bilginin miktarını öğrenmek için tasarlanan bir sayma yöntemidir. Serbestlik derecesi ile faktörün seviyesi arasındaki ilişki bir problemdeki bilinmeyenlerin sayısı ile denklem adedi arasındaki ilişkiyle eşdeğerdir. Bilinmeyeni bulmak için gerekli denklem sayısı nasıl bilinmeyenin miktarından bir eksik ise serbestlik derecesi de faktörün seviyesinden bir eksiktir.

ANOVA da kullanılan deney tasarım yöntemine ve kontrol edilen faktör sayısına bağlı olarak isim alır ve dörde ayrılır.

1. Koşulsuz ANOVA (No way ANOVA)
2. Tek Koşullu ANOVA (One Way ANOVA)
3. İki Koşullu ANOVA (Two Way ANOVA)
4. Çok Koşullu ANOVA (Multiple ANOVA)

3.3.3.7. Sonuçlar ve tavsiyeler

Her faktör veya faktörlerarası etkileşimin etkilerinin elde edildiği grafikler ve deneylerin analizi sonucunda elde edilmiş veriler yardımı ile, deneyi yapan kişi hangi faktörlerin hangi seviyede ele alınması gerektiğine karar verir ve sonuçta bulunan parametre/faktör kombinasyonunun doğruluğunu kontrol etmek için doğrulama deneyleri yapıp deneyin sonuç değişkeni veya kalite karakteristiği ölçülür. Hangi deney tasarım yöntemi seçilmiş olursa olsun analizin ve sonuçların doğruluğu için deney tasarımının her aşamasının özenle gerçekleştirilmesi gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır.

3.4. Deney Tasarım Yöntemleri

Deneylerin tasarımında araştırılan sisteme etki eden faktörlerin optimum seviyelerini belirlemek ortak amaç olmasına rağmen, uygulama biçimlerindeki farklılık sonuçta değişik yöntemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Uygulama şekillerine göre deneylerin tasarım yöntemleri üç grupta incelenebilir;

1. Klasik Yöntemler
2. Taguchi Yöntemi
3. Shainin Yöntemi

3.4.1. Klasik yöntemler

Klasik deney tasarımlarında ele alınan parametreler kontrol edilebilen faktörlerdir. Klasik deney tasarım yöntemleride uygulamada kendi aralarında dörde ayrılır;

1. Tek faktörlü deneyler (One Factor at a Time)
2. Çok faktörlü deneyler (Multi Factorial)
3. Tam faktöriyel deneyler (Full Factorial)
4. Kesirli Faktöriyel deneyler (Fractional Factorial)

Klasik deney tasarım yöntemleri arasındaki bu ayırımın sebebi faktörlerarası etkileşimlerin deney matrisinde ele alınıp alınmaması esasına dayanır. Bazı deneylerde, yanıt değişkeni ile faktör seviyesi arasındaki etkileşim, başka bir faktör değişiminden de etkileniyor olabilir. Bu gibi durumlarda, iki faktörlü bir etkileşimden söz edilir ki, klasik yöntemle yapılacak bir deney tasarımında, bir faktörün tek bir sabit değeri için, diğer faktörün tüm değerleri tek tek değiştirilerek, sonuç izlenir. Bu gibi durumlarda, çoğunlukla, çok sayıda denemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Taguchi'nin deney tasarımı yöntemi de, bu şekildeki etkileşimlerin söz konusu olduğu tasarımlarda, daha az sayıda deney yaparak sonuca ulaşmaya yönelik bir yöntemdir.

3.4.1.1. Tek faktörlü deneyler

Klasik deney tasarım yöntemleri arasında yer alan bir kerede bir faktör yöntemi deneylerin tasarım yöntemleri içerisinde en eski olan ve çok sık uygulanan yöntemdir. Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneysel tasarım, diğer tasarım yöntemlerinin en basit olanıdır. Bu yaklaşım genelde bilimsel çalışmalarda adım adım her faktörün proses üzerine etkisini belirlemek için kullanılır.

Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deney tasarımında her işlemde yalnızca bir faktör değiştirilip diğerleri sabit tutulur. Yedi faktörlü bir deney matrisi Tablo 3.2. 'de görüldüğü gibi olup ondört deneme gereklidir. Her bir deneme üç defa tekrarlanırsa sonuçta 42 deneme yapmak gereklidir[5].

Tablo 3.2: Bir faktör bir kerede denenen yedi faktörlü deney tasarım matrisi [5]

Deney Sayısı	A	B	C	D	E	F	G	Sayı
1	1	1	1	1	1	1	1	3
2	2	1	1	1	1	1	1	3
3	1	1	1	1	1	1	1	3
4	1	2	1	1	1	1	1	3
5	1	2	1	1	1	1	1	3
6	1	2	2	1	1	1	1	3
7	1	2	2	1	1	1	1	3
8	1	2	2	2	1	1	1	3
9	1	2	2	2	1	1	1	3
10	1	2	2	2	2	1	1	3
11	1	2	2	2	2	1	1	3
12	1	2	2	2	2	2	1	3
13	1	2	2	2	2	1	1	3
14	1	2	2	2	2	1	2	3
TOPLAM								42

Birden fazla faktör varsa bu durumda deneylerin bir kerede bir değişken değiştirilerek yapılması zordur. Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneylerin dezavantajlarından biri mali verimliliğinin olmaması diğeri de faktörlerarası etkileşimlerin belirlenememesidir. Etkileşimler bazı faktörlerin seviyelerinden etkilenen belirli faktörler ve sonuç değişken arasındaki ilişkinin doğal sonuçları olarak tanımlanırlar [16].

Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneylerde bir işlemde yalnızca bir faktör değiştirildiği için deney sonunda o faktörün etkisi doğrudan gözlenir. Bunun sonucu olarak deneylerin analizi safhasında sadece faktörün sonuca olan etkisi grafikte gösterilir.

3.4.1.2. Çok faktörlü deneyler

Birden fazla faktörün yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin, faktör seviyelerinin olası tüm kombinasyonlarının denenecek 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.

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. [9]

3.4.1.3. Tam faktöriyel deneyler

İki veya daha fazla seviyeli ve iki veya daha çok sayıda faktörün tüm kombinasyonlarının ele alındığı deney tasarım yöntemine tam faktöriyel tasarım adı verilir. Tam faktöriyel deney tasarım yöntemlerinde deneylerin tam tekrarı için faktörlerin tüm mümkün bileşimleri gösterilir, İşlem sayısı faktörlerin tümünün seviyelerinin çarpımına eşittir. Örneğin bir televizyon üretiminde televizyon montaj süresi sonuç değişken olarak ele alınırsa operatörün ustalığı (6 seviye), ışıklandırma (3 seviye) ve eğitim programı (4 seviye) olmak üzere etkili faktörlerdir. Bu durumda işlem sayısı $6*4*3 = 72$ dir. Bu durumda faktörlerin sayısı veya seviyeleri arttığında işlem sayısı artar[18].

Tam faktöriyel deney tasarımının avantajı bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deney tasarımında mümkün olmayan faktörlerarası etkileşimleri hesaplama olasılığı vermesidir. Faktörler bağımsız ve etkileşim yoksa çok az deney temel etkileri aynı kararlılıkla göstermek için yeterlidir. Faktöriyel deneyler hangi faktörün önemli olduğunu da gösterir. Tam faktöriyel deney tasarımı tüm mevcut bileşimlerin bulunmasını gerektirir. Bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deney tasarımının aksine tüm deneydeki faktörlere göre deney tipi devamlı olarak değişir ve etkileşimlerin etkilerinin değerlendirilmesine olanak verir[22].

Tam faktöriyel deney tasarımının en büyük dezavantajı deneylerin boyutunun üstel olarak faktör sayısı ve seviyeleri ile artmasıdır. Deneylerin tümünün yapılış maliyeti

çok yüksektir bu durumda tüm işlemlerin tam tekrarının yapılmasına izin verecek yeterince büyük blok bulma olasılığı da önemlidir. Diğer bir dezavantajlı yön ise etkileşimlerin yüksek düzeyli olanlarının açıklanmasındaki zorluktur [16].

Deney şartlarındaki beklenmeyen değişimler faktörlerin etkilerinin hesaplanmasını zorlaştırır. Bu etkilerin azaltılması için deneylerin tesadüfleme, tekrarlama ve bloklama gibi genel özelliklerinin kullanılması gereklidir. Böylece deneyi yapan kişinin ön yargıları veya deney ortamının hata potansiyeli azaltılır. Tam faktöriyel deneyler genelde tesadüfi tam bloklanmamış tasarımlar şeklinde yürütülür. Tesadüfi tam bloklanmış yapıyı kullanmak için blok etkileri ve faktör etkileri arasında etkileşim olmaması şartı aranır. Bloklamanın ilk amacı dış değişiklikleri kontrol etmektir. Bloklar ve faktörler etkileşmiyorsa bloklar diğer bir faktör gibi değerlendirilir ve tam tesadüfi tasarımın kullanılması daha anlamlı olur. [22].

Tam faktöriyel deneylerde amaç, seviyelendirilmiş her faktörün mümkün olan tüm kombinasyonlarını denemektir. Eğer 3 tane faktör var ve bunlar 2 seviyeli ise yapılması gereken işlem sayısı $2^3=8$ dir. Deneylerde belirlenmiş olan faktörlerin sayısı ve seviyelerin artmasına bağlı olarak işlem sayısı da üstel olarak artar. Parametrelerin seviyeleri bilinmiyor buna rağmen parametrelerin tüm olası etkileşimleri belirlenmek isteniyorsa tam faktöriyel deney tasarlanmalıdır. Bu tür deneyler tasarlanmadan önce parametreler homing-in yöntemleri ile indirgenmelidir. Çünkü 2 seviyeli 4 parametre için işlem sayısı 16 iken, iki seviyeli 5 parametre için işlem sayısı 32'dir[21].

Tam faktöriyel tasarımın yedi faktörlü ve iki seviyeli durum için tüm kombinasyonları içeren deney matrisi Tablo 3.3' deki gibidir [23].

Deney matrisinde de görüldüğü gibi iki seviyeli yedi faktör için yapılması gerekli deney sayısı tüm bileşimleri ele alan tam faktöriyel deney tasarımı için 128'dir. Oysa bir kerede bir faktör değiştirilerek oluşturulan deney matrisinde bir tam tekrar, sadece 14 adet deneyle sağlanabiliyordu. Tam faktöriyel deneylerde faktörlerin temel etkilerinin yanısıra tüm mümkün etkileşimlerinin de yer alması hem zaman hem de maliyet yönünden araştırmalara büyük yük getirmektedir.

Tablo.3.3: Yedi faktörlü tam faktöriyel deney tasarım matrisi[23]

				A1				A2			
				B1		B2		B1		B2	
				C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
D1	E1	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
	E2	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
D2	E1	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								
	E2	F1	G1								
			G2								
		F2	G1								

Tam faktöriyel deney tasarım yönteminin uygulanması için gerekli prosedür bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan basit deney tasarımlarından oldukça farklıdır. Prosedürde yer alan adımlar sırasıyla; [21]

1. Ön hazırlık safhası: İncelenecek faktörlerin seçilmesi ve seviyelerinin belirlenmesidir. Belirlenen seviyelerde düşük olan negatif (-) işareti ile ve yüksek olan seviye pozitif (+) işareti ile gösterilir.
2. Tam faktöriyel deney matrisinin oluşumu: Faktör sayısına bağlı olarak tüm mümkün etkileşimler gözönüne alınarak gerçekleştirilir. İki seviyeli iki faktör için mümkün bileşimler Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: İki seviyeli iki faktör deney tasarım matrisi[21]

Deneme	A	B	AB
1	-	-	+
2	-	+	-
3	+	-	-
4	+	+	+

İki seviyeli iki faktör ele alınırsa (A ve B) matrisin birinci sütununa A ve ikinci sütununa B faktörü yerleştirilir ve aralarında tek etkileşim AB olduğu için üçüncü sütunda yer alır. Daha sonra AB etkileşiminin işaretleri A ve B sütunlarındaki işaretler çarpılarak belirlenir.

3. İşlem sırası: Tesadüfleme sonrasında satır numarası 3 olan işlem ilk kez denenir ve sonucu ile birlikte işlem kombinasyonunun birinci satırına taşınır.

4. Tüm işlemler bittikten sonra tekrar deneyleri yapılır.

5. Deney matrisinin oluşumu ve deneylerin yürütülmesi aşamaları sonucunda deneyin analizi aşamasına geçilir. Daha önce deneylerin tasarımı bölümünde sözü edildiği gibi deneylerin analizinde amaç tek tek faktörlerin ve etkileşimlerinin sonuç değişken üzerine katkılarını belirlemek ve en uygun faktör kombinasyonunu seçmektir.

Tam faktöriyel deneylerde basit etki analizinin yanısıra varyans analizi (ANOVA) tekniğinin uygulanması da mümkündür. Basit etki hesabında A faktörünün etkisi; faktörün yüksek seviyesinde elde edilen değerlerin ortalamasından düşük seviyesinde elde edilen değerlerin ortalaması çıkarılarak bulunur. Aynı işlem B ve AB için tekrarlanarak onların da etkileri hesaplanabilir.

ANOVA yardımıyla yapılan hesaplamalar biraz daha karışık ama daha iyi sonuç verir. Deney sonuçları sadece grafik olarak veya sadece tek faktörlerin etkisi olarak elde edilebilir. Buna göre değişik faktörlerin anlamını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) uygulanır. ANOVA da kullanılan tanımlar genelde aynı olmasına rağmen deneyde kullanılan faktörlerin sayısı ve seviyelerine bağlı olarak uygulamaları değişir. Tam faktöriyel deneylerde iki veya daha fazla seviyeli ve iki veya daha fazla faktör kullanıldığı için iki koşullu varyans analizi (two way ANOVA) ve çok koşullu varyans analizi (Multi ANOVA) kullanılır [21].

3.4.1.4. Kesirli faktöriyel deneyler

Tam faktöriyelden farklı olarak kesirli faktöriyel deney tasarımı yönteminin ortaya çıkış sebeplerinin başında maliyet ve zaman kavramları gelmektedir. Tam faktöriyel olarak tasarlanan deneylerde maksimum bilgi kazancı elde edilirken, deneylerin

yürütülmesi sırasında geçen zaman ve harcanan para da maksimum düzeydedir. Bu şartlar bilgi ve maliyet arasındaki dengeyi en iyi şekilde oluşturmak ve bunun devamını sağlamak zorunluluğunu ortaya çıkarır. Ayrıca klasik faktöriyel tasarımlarda gerek deneyin oluşturulmasında ve gerekse analizinde uzman personel gereklidir.

Kesirli faktöriyel deneylerde amaç işlem sayısını azaltmaktır. Bu da incelenen faktörlerden ödün vermeden incelenen etkileşimlerin sayısını azaltarak sağlanabilir. Genelde faktöriyel tasarımlarda faktörlerin iki seviyeli olduğu düşünülürse üç faktör için toplam (2^3) sekiz işlem yeterlidir. Bu işlemler içinde üç temel etki ve dört adet etkileşim mevcuttur. Tablo 3.5.'de artan faktör sayısına bağlı olarak olası etkileşim adetleri verilmiştir. Görüldüğü gibi artan faktör sayısına bağlı olarak etkileşimlerin sayıları artıyor ve bu da direkt olarak yapılacak olan işlem sayısına yansıyor. Etkileşimlerin sayısı kombinasyon formülü yardımıyla hesaplanabilir [24].

$$C_n^k = k! / (k-n)(n!) \quad (3.1)$$

k: faktör sayısı

n: etkileşimde yer alan faktör sayısı

Tablo 3.5. Faktör sayısına bağlı olarak etkileşim adetleri [24]

k Faktör	2^k	Etkileşim					
		Temel Etki	2-Faktör	3-Faktör	4-Faktör	5 Faktör	6-Faktör
5	32	5	10	10	5	1	-
6	64	6	15	20	15	6	1
7	128	7	21	35	35	21	7
8	256	8	28	56	70	56	28

Kesirli faktöriyel deney tasarımı mantığında yer alan etkileşim azaltma kavramından etkileşimleri gözardı etmek anlaşılmalıdır. Zaten etkileşimlerin gözardı edilmesi demek bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneylere geri dönmek anlamındadır. Kesirli faktöriyelde ilke; probleme katılması durumunda çok sayıda

işlem gerektiren, fakat gerçekte katkısının analizlerde çok az çıkacağı tespit edilen yüksek serbestlik derecesine sahip olan etkileşimleri deney matrisine yerleştirmemektir [24].

Bu yaklaşım üç değişik bilyanın ağırlığının tartım işlemi sonunda kaç değişik yolla bulunabileceği örneği ile açıklanırsa daha iyi anlaşılabilir. Bir kerede bir faktör denenerek yapılacak bir deney tasarımı neticesinde bilyaların ağırlıkları üç işlemle bulunabilir. Tam faktöriyel deney tasarımında ise aynı amaca ulaşabilmek için 8 işlem gereklidir (Tablo 3.6)[24].

Tablo 3.6: 2^3 tam faktöriyel tasarım matrisi [16]

Deneme	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

Tam faktöriyelde işlem sayısının artma sebebi etkileşimlerinin deney matrisinde yer almasıdır. (AB, AC, BC, ve ABC) Ancak bilyanın tek başına tartımı ile diğer bilyalarla beraber tartımı sonucunda bilyanın tek başına ağırlığı değişmeyecektir. Bu yüzden bu deney için etkileşime gerek yoktur. Sonuçta üç bilyanın her biri için bir ve toplam ortalama için de bir ise toplam serbestlik derecesi dörde eşittir. Bu da üç faktör ve iki seviyeli bir tam faktöriyel bir deney tasarımında işlem sayısının yarıya indirilmesi ile elde edilen en basit tam faktöriyel tasarım matrisine eşittir. Tablo 3.7'de iki seviyeli A ve B için deney matrisi gösterilmiş olup aynı zamanda AB etkileşimi de matrise dahil edilmiştir.

Tablo 3.7: 2^3 kesirli faktöriyel matrisi [16]

Deneme Kombinasyonu	A	B	AB
(1)	-	-	+
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	+

Normalde problemde etkileşimlerin olmaması gerektiği sonucuna varılmış olduğundan AB etkileşimi yerine C faktörü deneye alınabilir. Bu durumda deney matrisindeki deneme kombinasyonu değişir. (Tablo 3.8)

Tablo 3.8: Değişmiş 2^3 kesirli deney matrisi[24]

Deneme Kombinasyonu	A	B	AB
(c)	-	-	+
a	+	-	-
b	-	+	-
ab(c)	+	+	+

Bu durumda C faktörünün etkisi AB etkileşimi ile aynı gibi düşünülmüş olur. Aynı yaklaşımla matematiksel olarak bu iki faktörün birleştirildiği de düşünülebilir. Bu olayın istatistiki olarak anlamı karıştırma (confounding) veya benzetme (alias) olarak bilinir. Bu durum özel bir işaretle aşağıdaki gibi gösterilir[24].

$$C \approx AB \quad (3.2)$$

Karıştırma, faktöriyel deneyleri bloklarda tasarlama imkanı verir. Karıştırma iki veya daha fazla etkinin lineer bileşimidir. Karıştırılan faktörler aynı serbestlik derecesine sahiptir ve birbirinden bağımsız olarak düşünülemez. $C \approx AB$ karışması C veya AB'nin kendilerine ait etkilerinin olduğu ve her ikisinin birleşmiş etkilerinin aynı sayıya eşit olduğu anlamındadır[24].

Bu özel sembol (\approx) karıştırılmış olan etkilerin ölçümünü gösterir ama eşitlik anlamında değildir. Gerçekte ölçülen etki, iki etkinin cebirsel toplamı veya lineer kombinasyonu olduğu için sonuç sıfırdır. Bu etkiler fiziksel olarak bağımsız kalabilirler fakat kesirli faktöriyel tasarımda bu tür matematiksel birleşmelerin ve karışımların varlığı nedeniyle bu etkileri bağımsız olarak değerlendirmek mümkün değildir. Bu örnek için etkileşim olmadığı için C ve AB için ayırım söz konusu olabilir [16].

Kesirli faktöriyel tasarımlarda tüm karışımları tanımlayan sistem Mod tabanına göre düzenlenmiştir. İki seviyeli bir sistem için karışım Mod 2'ye göre, üç seviyeli de ise Mod 3'e göre düzenlenir[16].

Bu sistem için kısmi faktöriyel tasarımın temelini $C \approx AB$ oluşturur buna generatör adı verilir. Generatörler genelde yüksek düzeyli etkileşim kolonudur. Generatör yardımı ile tanımlanmış bir ilişki (defining relation) veya tanımlanmış bir zıtlık (defining contrast) belirlenebilir. Tanımlanmış zıtlıklar kısmi faktöriyel tasarımda karıştırılan faktörlerin kümesidir. Bunu açıklamak için öncelikle etkisiz elemanın tanımlanması gereklidir. Etkisiz eleman, matematikten de bilindiği gibi bölme işleminde veya çarpma işleminde sonucu etkilemeyen elemandır. İkinci kavram cebirsel modüldür. Cebirsel modül sayının moda bölündüğünde kalan sayı veya sayıdan çıkarılan çarpan değerine eşittir [16].

Mod 2 için 1=1, 2=0, 3=1, 4=0, 5=1, 6=0, vs.

Generatör $C \approx AB$ olduğuna göre bu yaklaşımın her iki tarafı C ile çarpılırsa;

$$C * C \approx AB * C \quad (3.3)$$

$$C^2 \approx ABC \quad (3.4)$$

Daha sonra Mod 2 uygulanırsa $C^2 \approx C^0$ olduğu için $1 \approx ABC$ olarak etkisiz eleman bulunur. Etkisiz eleman karmaşık etkilerin tam kümesini belirlediği için tanımlanmış zıtlık (defining contrast) olarak tanımlanır. Tanımlanmış zıtlık ile her bir faktör çarpılır, Mod 2'ye göre işlem gerçekleştirilir ve etkisiz eleman kuralları uygulanırsa

$$\begin{aligned}
A1 &\approx A^2BC \dots A \approx BC & (3.5) \\
B1 &\approx AB^2C \dots B \approx AC \\
C1 &\approx ABC^2 \dots C \approx AB
\end{aligned}$$

karmaşalar bulunur. Bu karıştırmalar deney matrisine taşınırsa aşağıdaki Tablo 3.9 elde edilir.

Tablo 3.9: 2^3 deney matrisinin karıştırma uygulanmış şekli [16]

Deneme Kombinasyonu	A	B	$C \approx AB$	AC	BC
(c)	-	-	+	-	-
a	+	-	-	-	+
b	-	+	-	+	-
ab(c)	+	+	+	+	+

AC sütunun işaretleri A ve C sütunlarının işaretlerinin çarpımı ile elde edilmesine rağmen B sütunun işaretlerine eşittir. Bu da karıştırmanın bir göstergesidir. Sonuçta tanımlanmış zıtlığın $B \approx AC$ olduğunu gösterilir [16].

Karıştırmanın kuralları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Temel etkileri arasında karıştırma işlemi yapılmamaktır.
2. Temel etkileri ikili etkileşimlerle karıştırmamaktır ..
3. İki faktörlü etkileşimleri birbirleri ile karıştırmamaktır.

Kural 1 hiçbir zaman ihlal edilmemelidir. İkinci kural dışına bazı durumlarda çıkılabilir. Üçüncü kuralın ihlal edilmesinde çok büyük bir sakınca yoktur [16].

3.4.2. Shainin yaklaşımı

Deneylerin tasarımında ilk amaç parametrelerin seçiminin en doğru şekilde gerçekleştirilmesidir. Deneylerin tasarım yöntemlerindeki çeşitliliğin sebeplerinden birisi deney matrislerini oluştururken kullanılan kabuller ve yöntemlerken diğer bir

sebepte parametrelerin seçimi konusunda ortaya çıkan değişik yaklaşımlardır. Daha öncede belirtildiği gibi faktörlerin belirlenmesi aşamasında elde edilen büyük miktarda parametre parametrelerin seçimi safhasında homing-in yöntemleri ile azaltılır [21].

Homing-in yöntemlerinde belirlenen kriterlere göre etkili faktörler seçilir. Özel homing-in yönteminin seçimi değişik kriterlere bağlıdır. Deneylerin tasarımı çalışmalarında deney takımı tarafından çok sayıda parametre belirlenebilir. Bu parametreler deney takımı tarafından indirgenir. Deney takımı parametrelerin azaltılması konusunda belli kriterlere göre düzenlenmiş homing-in yöntemleri kullanılır[21].

Homing-in yöntemleri deneyi tasarlayan kişilerin kriterlerine göre belirlenmekle birlikte temelde iki ayrı grup altında ele alınır;

1. Shainin'e göre homing-in yöntemleri,
2. Parametrelerin ağırlıklı seçimi olarak incelenir.

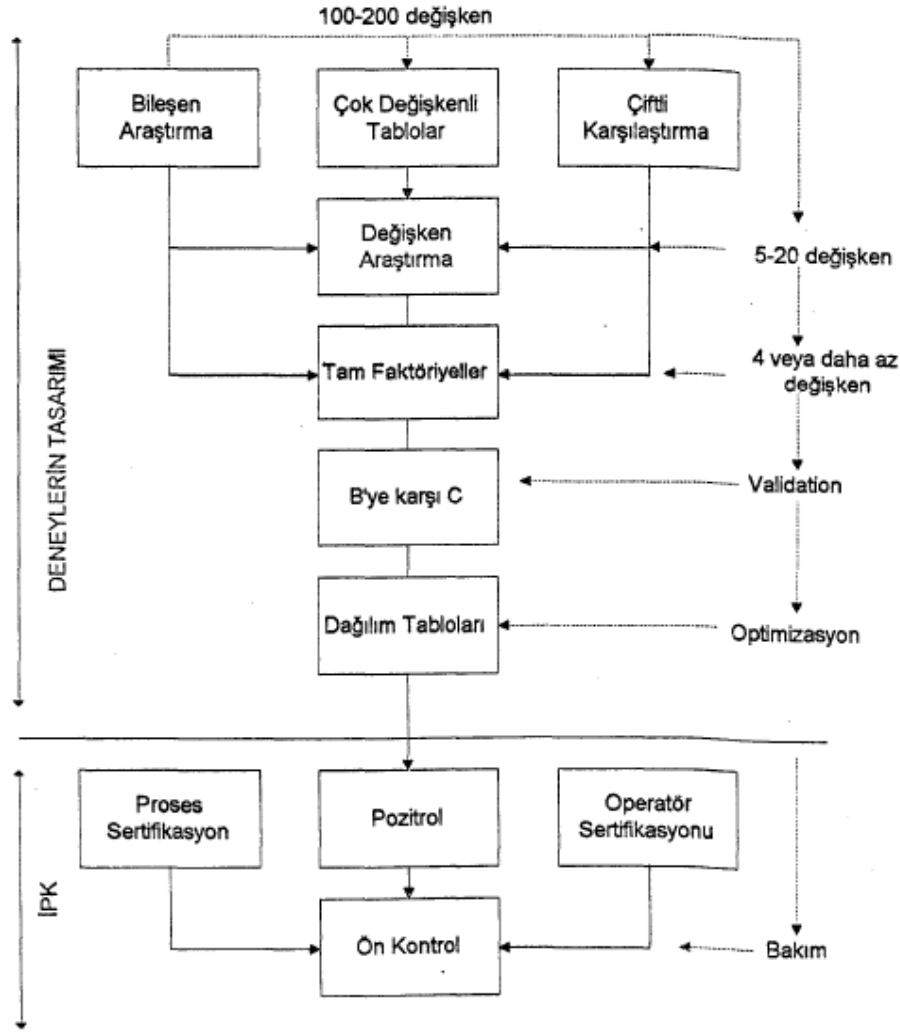
Homing-in uygulamasında kullanılan Shainin yöntemleri sırasıyla;

1. Çoklu analiz tabloları
2. Bilesen araştırma
3. Çiftli karşılaştırma'dır.

Deneylerin tasarımında ikinci amaç daha önce belirtildiği gibi değişimi azaltmaktır. Bu konuda her tasarım yöntemi değişik prosedürler uygulayarak prosesi ve/veya ürünü optimize etmeye çalışırlar. Shainin parametrelerin optimizasyonu konusuna yaklaşımı diğer yöntemlerden oldukça farklıdır. Shainin deneylerin tasarımında kullanmak üzere teşhis ve değişimin azaltılması konusunda bir takım araçlar geliştirmiştir. Bu araçların kullanılması sifıra yakın değişimin sağlanabileceğini, sifır hataya ulaşılabilceğini ve Cpk nin yaklaşık 2 olabileceğini savunmuştur [19].

Shainin'in geliştirmiş olduğu bu araçlar oldukça basit, mantıklı, istatistiki olarak güçlü ve sonuçların doğruluğu % 100-1000'ler mertebesindedir[19].

Değişim azaltma konusunda Taguchi'nin yaklaşımı dışında Shainin tarafından izlenen yol aşağıdaki gibidir. Şekil 3.3'de sözü edilen "positrol" kelimesi "pozitif kontrol" kelimelerinin birleştirilmiş halidir. Pozitif kontrol; mühendisin bir kontrolü yapmadan önce o kontrolü hangi cihazla veya aletle yapacağını, kimin yapması gerektiğini ve hangi sıklıkta ne zaman yapılmasının gerektiği konusunda bir plan yapması olarak açıklanabilir[19].



Şekil 3.3. Değişim azaltma konusunda Shainin yaklaşımı [19]

Shainin kullandığı yedi deney tasarım araçlarının ilkeleri ve ne zaman nerede uygulanabileceği hakkında bilgi veren tablo Ek - A'da Tablo A.1 olarak verilmiştir.

BÖLÜM: 4. TAGUCHİ YÖNTEMİ

Kalite geliştirmede Taguchi Yaklaşımı, varyans indirgemesi üzerinde odaklanmaktadır. Taguchi 'nin varyans indirgemesi yaklaşımı istatistik ve mühendisliğe çok önemli bir katkı olarak görölmektedir. 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 [25].

Taguchi Yöntemleri (TY:Taguchi Methods), üretim kontrolü ve yapısal (structural) eniyileme ile ilgili çok farklı problemlere değişen başarı derecelerinde uygulanmaktadır. Batı dünyasındaki istatistikçiler tarafından eleştiriler almasına rağmen, Taguchi'nin yöntemleri ABD'ndeki birçok uygulayıcı tarafından kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Yöntemlerin zayıf yönleri bulunmasına rağmen, iyi sonuçların alındığı gerçek yaşam uygulamalarının sayısı az değildir. Taguchi kavramları bir kalite geliştirilmesine ilişkin mühendislik yöntemlerine dönüştürölmüştür. Buna Japonya'da kalite mühendisliği, Batıda ise robust tasarım denmektedir [26].

Dr. Genichi Taguchi'nin deneysel tasarım yaklaşımının önemi, istatistikçiler tarafından geniş bir şekilde tartişılmıştır. 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 şekilde genel bir fikir birliği vardır. Taguchi, bu konuya göstermiş olduğu özen nedeniyle geniş bir şekilde takdir edilmiştir [9].

4.1. Taguchi Yönteminin Kısa Tarihi

1949 yılında Japon Nippon Telefon ve Telgraf şirketinin iletişim laboratuvarı ulusal iletişim sistemini geliştirmek için bir projeyi üstlendi. Mühendislik becerilerini ve

gelişen yöntemleri deney tasarımında en verimli şekilde uygulaması nedeni ile Taguchi'ye bu laboratuvarın Araştırma ve Geliştirme bölümünde verimlilik konusunda sorumluluk verilmiştir. Böylece, Taguchi kalite mühendisliğinin temelleri burada atılmıştır. Süreç gelişiminin gerçekleştiği yaklaşık 45 yıllık zaman diliminde de, Taguchi yöntemi tüm dünya endüstri topluluklarından ve akademik topluluklardan büyük övgü almış ve saygı görmüştür. Endüstriye katkılarında dolayı Taguchi dört defa Deming ödülünü almıştır. Japon imparatoru, Japon endüstrisinin verimliliğine sağladığı katkılardan dolayı Taguchi'yi ödüllendirmiştir.

Birçok endüstri lideri, mühendislik tarihçisi ve kalite uzmanları, yirminci yüzyılın son çeyreğinde, Taguchi'yi, mühendislik konularına ve ürün kalitesini geliştirme süreçlerine en fazla katkıda bulunan kişilerden biri olarak görmektedir. Taguchi 1980 yılında, savaştan sonra Amerika'nın, Japonya'nın yeniden inşasına katkılarında karşılık jest olarak, Amerikan iletişim endüstrisinde kendi yöntemlerini uygulamak amacıyla, New Jersey'de AT&T Bell laboratuvarına gelmiştir. Daha sonra, Ford Motor Co. ve Xerox Co. gibi şirketlerde Taguchi yöntemleri adapte edilmeye çalışılmıştır [27].

Taguchi, Ford Motor Co. ile ilişkisi aracılığı ile Larry Sullivan ile tanışmış ve beraber American Supplier Institute(ASI) adlı kar amacı olmayan, sadece Amerikan şirketlerine kalite mühendisliği yöntemlerinin uygulanmasında yardımcı olmayı amaçlayan örgütünü kurmuşlardır. Bu örgütün başkan yardımcısı Taguchi'nin oğlu Shin Taguchi tüm dünyada bu yöntemlerin öğretilmesinde ve uygulanmasında danışmanlık yapmaktadır. Taguchi hala ASI'nin başkanlığında, endüstri de danışmanlık yapmakta, derslere konuk hoca olarak katılmakta, makale ve kitap yazarak kalite mühendisliğini daha da ileriye götürmeye çalışmaktadır. Taguchi'nin makale ve kitapları birçok üniversite ve işletmelerde bu konu ile ilgilenenlere kılavuzluk yapmaktadır [26].

4.2. Taguchi'ye Göre Kalite Kavramı ve Felsefesi

İşletmeler genel olarak, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin içine kalite kontrolünü dahil etmeme eğilimindedir. Bunun en büyük nedeni kalite kontrol denilince akla

hemen kontrol tablolarının ve süreç kontrolünün gelmesidir. Oysa Japonlar, Genichi Taguchi'nin katkılarıyla, kalite yöntemlerini süreç tasarımının içinde kullanmaktadırlar. Taguchi, kalite kontrolünün sadece üretim esnasında değil, aynı zamanda üretim öncesinde de önemini vurgulayarak, deney tasarımı ve analiz tekniklerini daha da geliştirmiştir. Taguchi'nin tam ve bütünlük sistemi, dünyada üretim süreci spesifikasyonlarını belirlemekte, bu spesifikasyonlara göre tasarım geliştirmekte ve ürünün ya da üretim sürecinin bu spesifikasyonlara göre gerçekleştirilmesinde yardımcı olmaktadır.[24]

Üretim öncesi kalite kontrol disiplini, ürün ya da üretim süreci geliştirme işini yapan elemanın kaliteyi ön planda tutmasını sağlarken, aynı zamanda kaliteli bir ürün ya da üretim sürecinin olası en düşük maliyetle üretilmesine de yardımcı olur. Bu disiplin kayıp fonksiyonunun anlaşılmasına dayanırken, üç bölümden meydana gelir; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı. Bu bölümlerin her biri mühendisliğin temelindeki bilgi birikimine gereksinim duyar ve deney tasarımı yöntemleri kullanarak kararları kesinleştirirken, kaynakların en az kullanımıyla en iyi çözüme ulaşır.

Kalitenin üründe meydana gelen değişimlerle bozulduğu ve bu değişimlerden müşterinin olumsuz etkilendiği bilinen bir gerçek iken, Taguchi yaklaşımının bunu engellemeye yönelik yaklaşımı, onu diğer kalite kontrol yöntemlerinden farklı yapmaktadır. Taguchi yöntemi tüm mühendislik ve üretim sürecini içine alacak şekilde çalışır. Taguchi yönteminin uygulanması sonucunda üretimde ve sonrasında kalite kontrol fonksiyonları azalır. Bu azalmanın sağladığı tasarruf, Taguchi felsefesini öğrenmek için gösterilen çabanın en geçerli nedenlerinden biridir. [3]

Taguchi yaklaşımını diğer lider kalite uzmanlarının yaklaşımlarından ayıran en önemli özelliklerden birisi; Taguchi'nin kalitenin yönetim felsefesi ya da istatistiğinden ziyade, teknik tarafıyla ilgilenmesidir. Ayrıca, Taguchi deney tasarımını, ürünleri gürültü faktörlerine karşı daha az duyarlı yapmak için temel bir araç olarak kullanmaktadır. Başka bir deyişle, Taguchi deney tasarımını, ürün ve üretim süreci kalite özelliklerindeki değişkenliğin etkilerini azaltmak için bir araç olarak görmektedir. Deney tasarımının ilk uygulamaları değişkenliğin etkilerini

gözardı ederek, ortalama ürün performans özelliklerini hep eniyilemeye çaba göstermiştir [10].

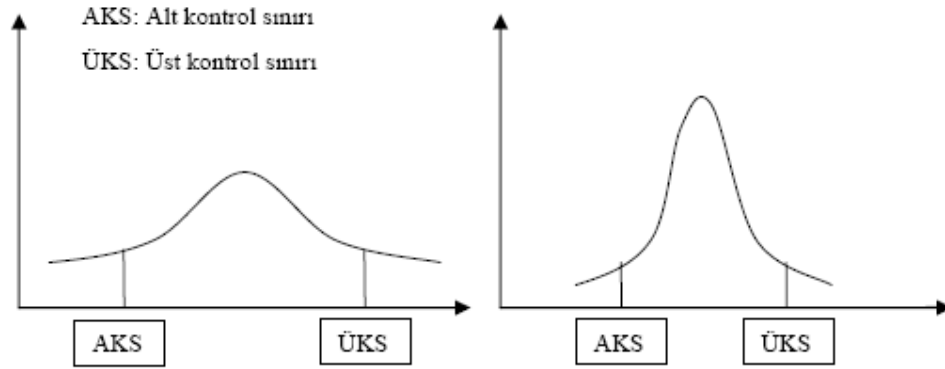
Taguchi yöntemi kalite felsefesi aşağıdaki 7 temel maddede özetlenebilir; [28]

1. Üretilen ürünün kalitesinin önemli bir ölçüsü bu ürünün toplumda meydana getirdiği kayıptır. Müşteri toleransının en alt limitinde ürün üreten birçok firmanın olduğu bir ortamda, ürün kalitesinin ölçüsü olarak toplumda meydana getirdiği kaybın alınması çok ilginçtir. Müşteri toleransının en alt limitinde üretilen bir ürünün özellikleri, her an değişkenlik gösterebilmekte ve bu da müşteride tatminsizlik yaratmaktadır. Bunun sonucu toplum için bir kayıptır. Burada söz edilen toplumsal kayıp; ürünün kullanım amacına, dolayısı ile tüketici gereksinmelerine uygunsuzluğu, kendisinden beklenen performans düzeyine ulaşmaması ve kullanımı sırasında ortaya çıkan zararlı yan etkilerden kaynaklanmaktadır. İşte zayıf performansın neden olduğu tüm bu kayıplar söz konusu ürünün kalite düzeyini belirlemektedir. Tüm bunların engellenebilmesi için ürün tasarımından itibaren değişkenliklere karşı duyarsız ürün üretilmelidir.

2. Rekabetçi ekonomide, firmaların iş hayatında kalabilmesi için kalite geliştirme ve maliyet azaltma çalışmalarının sürekli olması gereklidir. Faaliyetlerinden belirli bir kar elde edemeyen firmalar varlıklarını uzun süre koruyamazlar. Japon firmalarının diğer ülke firmalarından temeldeki en büyük farkı, özellikle Amerikan firmaları geliştirdikleri yeni teknolojilerin ve buluşların peşinde koşarken, Japon firmalarının işyerindeki teknolojiyi ve yaptıkları her şeyi yavaş ama sürekli olarak geliştirmeleridir. Taguchi, deney tasarımını kalite maliyetlerini azaltmak için de kullanmaktadır. Taguchi üç tür kalite maliyeti tanımlamaktadır: Araştırma ve geliştirme maliyetleri, üretim maliyetleri ve yönetim maliyetleri. Bu üç tür maliyet, deney tasarımının eniyi şekilde uygulanmasıyla, azaltılabilir.

3. Sürekli bir kalite geliştirme programı ürün performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının sürekli olarak azaltılması çalışmalarını içermelidir. Bir ürünün performans karakteristikleri, müşteri isteklerinin karşılanmasında ürün performansını belirleyen temel kalite karakteristikleridir. Performans karakteristiğinin ideal

değerine hedef değer denir. Bir ürünün performans karakteristikleri belirlenerek ölçülmediği sürece kaliteyi geliştirmek olası değildir. Ayrıca, sürekli bir kalite geliştirme programı söz konusu performans karakteristiklerinin ideal değerlerine ilişkin bilgiye de bağlıdır. Performans karakteristikleri değişkenlik gösterebilen büyüklüklerdir. Bu değişkenlik aynı üretim sürecinden aynı anda alınan benzer ürünler arasında olabileceği gibi bu süreçten farklı zamanda alınan ürünlerde zamana bağlı bir değişme şeklinde de ortaya çıkabilir.



Şekil 4.1. Kalite karakteristiklerinin hedef değerden sapması[12]

4. Bir ürün performansındaki değişkenlikten dolayı müşterinin kaybı, söz konusu performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır. İkinci dereceden bu kayıp fonksiyonuna göre, hedeften az sapmalar müşteri için kayba neden olur, fakat hedeften büyük sapmalar çok daha büyük kayıplara neden olur.

5. Üretilen bir ürünün kalitesi ve üretim maliyeti, ürünün ve bu ürünün üretim sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir. Bugün kalite kontrol, ürün ve üretim süreci tasarımında ortaya çıkan kronik problem belirtilerini düzeltmeye çalışan bir problem çözücü olarak görülmektedir. Gelecekte işletmeler daha fazla istatistiksel yöntemler kullanarak, üretim süreçlerindeki sapmaları daha kolay anlayacaklar ve kalite geliştirme faaliyetlerini ürün ve üretim süreci tasarımında yoğunlaştıracaklardır. Bir ürünün üretim maliyeti ile üretim kusurları için üretim sürecinin tasarımı büyük ölçüde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle, maliyetli olan süreç kontrolleri üretim kusurları ile birlikte azaltılmalıdır. Bu da ancak maliyetleri azaltacak bir üretim süreci tasarımı geliştirilmesi ile olasıdır.

6. Bir ürün ya da üretim sürecinin performans değişikliğinde azalmalar, bu ürün ya da üretim sürecine ilişkin faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki doğrusal olmayan etkisinin ortadan kaldırılması ile sağlanır. Üretim öncesi kalite kontrolün ana temasını belirten bu cümle çok önemlidir. Ürün spesifikasyonlarını süreç kapasitesinin ötesine getirmeye çalışmaktansa, tasarımda yapılacak bir değişiklik ile bu spesifikasyonlar daha kolay istenilen düzeye ulaştırılabilir. Dolayısıyla, faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkileri yeni tasarımlarla daha kolay ve daha etkili olarak ortadan kaldırılabilir.

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

4.3. Taguchi Yönteminin Getirdiği Yenilikler

Japonya'da çalışanlar, işletme amaçlarına ulaşırken, işlerine getirdikleri yeniliklerle sağladıkları katkıya göre terfi ettirilmektedirler. Oysaki Amerika ve diğer ülkelerde bunun tam tersi uygulanmakta; çalışanlara işini nasıl yapması gerektiği gösterilmekte ve bu kuralların dışına çıkanlar uyarılmaktadır. Ayrıca, üst yönetim, işinde söylenenin dışına çıkanlardan rahatsız olmakta ve bu çalışanları kolay kolay terfi ettirmemektedir.[10]

Taguchi yönteminin gerçek değeri, işletmelerde değişimin başlamasına neden olmasında yatmaktadır. Geleneksel istatistiksel yöntemlerle işletmeler ancak kendi durumlarını koruyabilmiştir. Daha sonra istatistiksel süreç kontrolü uygulamaları ile işletmelerde az da olsa değişim başlamıştır. Bununla birlikte, geleneksel deney tasarımı yöntemlerinin Taguchi düşünce tarzına göre uyarlanmasına kadar fazla bir etkisi olmamıştır. Taguchi yönteminin işletmelerde meydana getirdiği ve önerdiği altı değişim şunlardır. [26]

1. Kalite ve Kalite Geliştirmenin Tanımı: Taguchi yönteminin işletmelerde meydana getirdiği en önemli değişikliklerden birisi kalite ve kalite geliştirme kavramlarının

yeniden tanımlanmasıdır. Taguchi yönteminin ana teması değişkenlikleri azaltırken maliyetleri de azaltmak olduğu için, kalitenin tanımı daha fazla spesifikasyonlara uygunluk olarak kalmaz. Kalite geliştirmenin anlamı da problem çözümünden, hedef değerden sapmaların azaltılmasına değişmiş ve kalite geliştirmenin nasıl ölçüleceği önemli bir noktayı oluşturmuştur. Geleneksel olarak, işletmelerde kalite geliştirme yıllık maliyet tasarruflarıyla ölçülmektedir. Taguchi yönteminde ise kalite geliştirme otomatiktir ve her geliştirme sonucunda maliyetlerde azalma meydana gelir. İşletmelerdeki tüm birimlerin performans göstergesi maliyet tabanlı olduğu için kalite tesadüfi olmaktan çıkarak tüm çalışanların izlemesi gereken iş stratejisi olur. Yeni kalite düşüncesinde, süreç değişkenliği en aza indirilmeye çalışılırken, kalite geliştirme sürekli devam ettirilmektedir.

2. Finansal Kontrol Sistemleri: Kalite kayıp fonksiyonu işletmelerin finansal sistemini değiştirme potansiyeline sahiptir. Kalite kayıp fonksiyonu işletmelerin çalıştığı geleneksel maliyet kontrol kurallarını yeniden tanımlayarak ekonomik bir perspektif yaratır. Her büyük işletmenin sermaye harcamalarını ve ürün tasarım geliştirmelerini geri ödeme oranları ile birlikte gösteren bir finansal sistemi vardır. Belirlenen kurallara uymayan kalite geliştirme fikirleri uygulanamamaktadır. Geleneksel kalite tanımına göre (spesifikasyon limitlerine uygunluk) ürün parça özelliklerinin bu toleranslar içinde olduğu yerlerde, kurallar gelişmeyi engellemektedir. Kalite kayıp fonksiyonu, yıllık maliyet tasarruflarını ürün özelliklerinin, spesifikasyon sınırları içinde bile olsa, hedef değere doğru yaklaşması olarak görmektedir. Bu düşünce tarzı, kaliteye tümüyle yeni bir ekonomik perspektif kazandırmakta ve maliyetleri düşürme yöntemi olarak sürekli iyileştirmeyi teşvik etmektedir.

3. Mühendislik Hedef Değerleri: Parametre tasarımının etkili olması için ürün planlama fonksiyonu ve mühendislik faaliyetleri her bir müşterinin gereksinimlerine göre hedef değerler saptamalıdır. Teorik olarak, teknik gereksinimleri gösteren spesifikasyon sınırları daha fazla kullanılamaz. Bu nedenle fonksiyon, görünüm ve uyumun eniyi düzeyde olacağı hedef değerlerin geliştirilmesi için pazarlama becerilerinin ve mühendislik bilgilerinin değişime gereksinimi vardır. Hedef değerler saptandıktan sonra, mühendislik faaliyetleri ürün geliştirme aşamasında ürün

tasarımını bu saptanan hedeflere göre eniyilemelidir. Ürün tasarımında hedef değerler tam olarak uygulanarak, bu değerler için değiş tokuşa ya da uzlaşmaya gidilmemelidir. Aksi takdirde, çevre koşullarından etkilenmeyen ürün tasarımı olanaksızlaşacaktır.

4. Üretim Süreç Geliştirme: Taguchi yönteminin uygulanması üretim sistemini büyük ölçüde değiştirecektir. Geleneksel olarak, ürün parçaları spesifikasyon sınırları içinde olduğu sürece sorun yoktur ve geliştirme istenmemektedir. Oysaki Taguchi yöntemi ve üretim sonrası kalite kontrol yöntemleri uygulayan işletmelerde oluşan çeşitli değişimler şunlardır;

a) Değişimleri azaltmaya yönelik sürekli geliştirme çabaları: Sürekli geliştirme ile kalite kontrol denetiminin amacı hedef değere olabildiğince yaklaşmaktır. Bu değişim, kalite çalışmalarını problem çözümünden değişimleri azaltmaya yönlendirir. Böylece, işletmenin tüm çalışanlarının odak noktası hedef değerler olur.

b) Süreç geliştirmeyi finanse etmek için yeni kurallar koyulması: Birçok işletme ilk önce eski araçlarını eniyilemeden, yeni süreç ve araçlara yatırım yapmaktadır. Halbuki, yeni kurallara göre Taguchi yöntemi ile varolan makine ve araçlar eniyilenmeden yenilerine izin verilmemektedir. Böylece bu kurallar maliyetleri azaltmakta ve üretim süreç kabiliyetini geliştirmektedir.

c) Kontrol tablolarına ve süreç kabiliyet analizine daha az güvenme duygusu: Üretim sonrası kalite kontrol uygulayan işletmelerin istatistiksel süreç kontrolüne gereksinimleri azalır ve hedefleri kalite kontrolünden maliyet azaltmaya yönelir. Geleneksel süreç kontrolü maliyete Taguchi yöntemi kadar önem vermez. Oysaki Taguchi'nin geliştirdiğı üretim sonrası kalite kontrol, eniyi denetim ve test aralıklarını belirlemeye yönelik maliyet denklemlerinden oluşmaktadır.

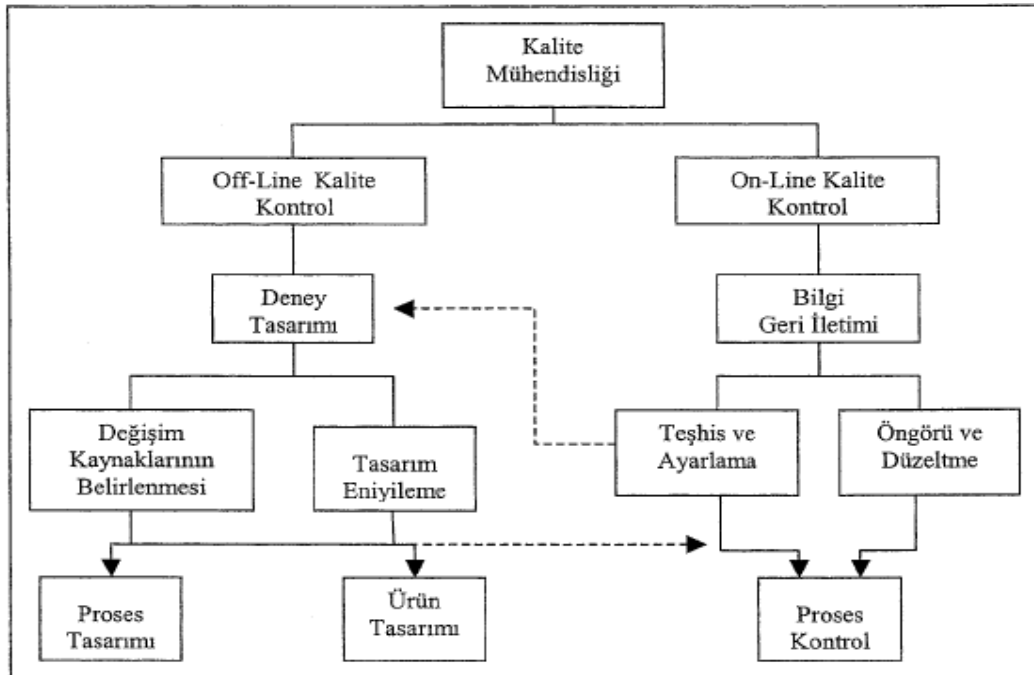
5. Yatay Teknik Etkileşim: İşletmelerin genelde dikey iletişimi iyi olmakla birlikte yatay iletişimi iyi değildir. Çok fonksiyonlu takım iletişimi isteyen Taguchi yöntemi işletmelerin kalite geliştirme yöntemlerini değiştirmiştir. Yataydaki iletişimi ön plana çıkarmıştır.

4.4. Kalite Mühendisliği Kavramı

Dr. Genichi Taguchi önerdiği yönteminde, diğer yöntemlerden farklı olarak, genel istatistik ve ileri matematik çalışmalarını istatistik teknikleri ve mühendislik bilgilerini birleştirerek uygulamıştır [29]

Taguchi yaklaşımı sadece hedef değerlere ulaşmak için yapılan deneyle de ilgili değildir. Gerçekte onun fikri kalite ile geniş anlamda ilgili olduğu gibi, kalite teknikleri ve araçları ile de ilgilidir. Taguchi'nin kalite felsefesini "kalite mühendisliği" olarak isimlendirebiliriz. Şekil 4.2'de kalite mühendisliği bileşenleri gösterilmiştir. Kalite mühendisliği ürün araştırma geliştirme, proses tasarımı, üretim ve müşteri memnuniyetinin her fazında oluşturulmuş kalite kontrol faaliyetlerini kapsar. Bu faaliyetler devamlı gelişmeleri, yani hızlandırılmış buluşları, hızlı problem çözümleri, mali verimliliği ve kalite kazançlarının devamını sağlayacak tüm amaçları destekleyici olması nedeniyle iki kategoriye ayrılabilir [29].

- 1) Çevrim dışı Kalite Kontrol
- 2) Çevrim içi Kalite Kontrol



Şekil 4.2: Kalite mühendisliği bileşenleri [29]

4.5. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

Üretimde, önceleri sanayi toplumuna geçişin ilk zamanları olmasından dolayı sanayi ürünlerine büyük bir talep vardı. Dolayısıyla üretilen ürün, kaliteli olup olmadığına bakılmaksızın pazarda müşteri bulabiliyordu. Böylece kalite daima ikinci planda kalıyordu ayrıca çevrim dışı kalite kontrol teknikleri gelişmediğinden, kalite kontrol sadece üretim içi yöntemlerle sınırlı kalıyordu. Günümüzde ise teknolojiye paralel olarak insan ihtiyaçları da gelişmiştir. İnsanlar artık aldıkları bir ürün yada hizmetin kaliteli olmasını, kendilerine maksimum faydayı sağlarken, en az sorunla karşılaşmayı istemektedirler. Bu da insan ihtiyaçlarının doğru tespit edilip ürünün ilk seferde hatasız üretilmesini sağlamakla gerçekleştirilebilir. Bu nedenle günümüzde kalite kontrol tekniklerinde ağırlık üretim dışı yöntemlere özellikle de kaliteye büyük katkısı olan istatistiksel deney düzenine kaymıştır. Deney tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, üretim dışı kalite kontrol sistemi içinde ürün ve süreç tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır [17].

4.5.1. Çevrim içi kalite kontrol

Çevrim içi kalite kontrol faaliyetleriyle üretim direkt olarak izlenmekte, kalitenin nereye gittiği ölçülmekte ve potansiyel problemlerin belirtileri tespit edilmektedir. Üretim boyunca değişkenliğe sebep olan ve böylelikle ürün kalitesini etkileyen kaynakları genel olarak şu şekilde tanımlayabiliriz;

1. Malzemeden (ham ve yardımcı malzeme) ve satın alınan ekipmandan kaynaklanan değişkenlikler,
2. İş akışından, kullanılan teçhizattan, makine arızalarından v.b. kaynaklananlar,
3. Yöneticilerden ve personelden kaynaklananlar,
4. Üretim sürecinden kaynaklanan değişkenlikler.

Çevrim içi kalite kontrolde, tüm bu değişkenlikleri azaltmak ve üretim karakteristiklerini hedef değerinde veya yakın bir aralıkta tutmak için üç ayrı yöntem kullanılmaktadır [30].

1. Sürecin Belirlenmesi ve Ayarlanması: Bu aynı zamanda süreç kontrolü olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde, süreç için bir tolerans aralığı belirlenir. Sonuçlar bu tolerans aralığı içinde olduğu müddetçe üretim normal seyrinde devam ediyor şeklinde kabul edilir. Sonuçlar bu aralığın dışına çıktığıdaysa düzeltici tedbirler alınır. Bu yöntem için kontrol grafikleri kullanılmaktadır.

2. Tahmin ve Düzeltme: Bu yöntemde sayısal karakteristiklerin düzenli aralıklarla ölçü kontrolünden geçirilmesi ve bu karakteristiklerin ortalama değerinin hesaplanması şeklinde olur. Eğer hesaplanan değer hedef değerle uyumlu ise üretim normal seyrinde devam ediyor şeklinde değerlendirilir. Hesaplanan değer hedefle paralellik göstermiyorsa, düzeltme faktörleri yardımıyla değişkenlik azaltılmaya çalışılır. Bu metot geri beslemeli kontrol yöntemi olarak da isimlendirilir. Bu metot çoğunlukla sistem tasarımı ile ilgilidir.

3. Ölçme ve Faaliyet: Bu yöntem aynı zamanda muayene olarak isimlendirilir. Üretilen her bir mamulün ölçüsü spesifikasyonların dışında ise yeniden üretilir veya düzeltilir. Bu metot sadece mamulle ilgili, 1. ve 2. metotlar ise süreçle ilgilidir.

4.5.2. Çevrim dışı kalite kontrol

Çevrim dışı kalite kontrol müşteri istek ve ihtiyaçlarının doğru olarak tanımlanmasıyla başlayan ve bu ihtiyaç ve isteklere göre ürün tasarımının yapılması, bu tasarımın ekonomik olarak üretimi ve bu üretime uygun olacak şekilde tanımlanmış spesifikasyon, standart ve prosedürlerin hazırlanmasına kadar uzanan geniş bir çalışma alanını kapsar. Kalite kontrol; müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılayan, imal edilebilir yeni bir ürün geliştirerek veya varolan ürünün üzerinde değişiklikler gerçekleştirerek ürün tasarım safhasını gerçekleştirmektedir. Süreç ve ürün tasarımı aşamasında, belirlenen spesifikasyonlara uygun bir şekilde üretim sürecini geliştirmek amaç edinilmiştir [30].

Çevrim dışı kalite kontrol metotları; ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmede kullanılır. Tablo 4.1'de bu gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Kalite mühendisliği bileşenleri ve içerikleri [30]

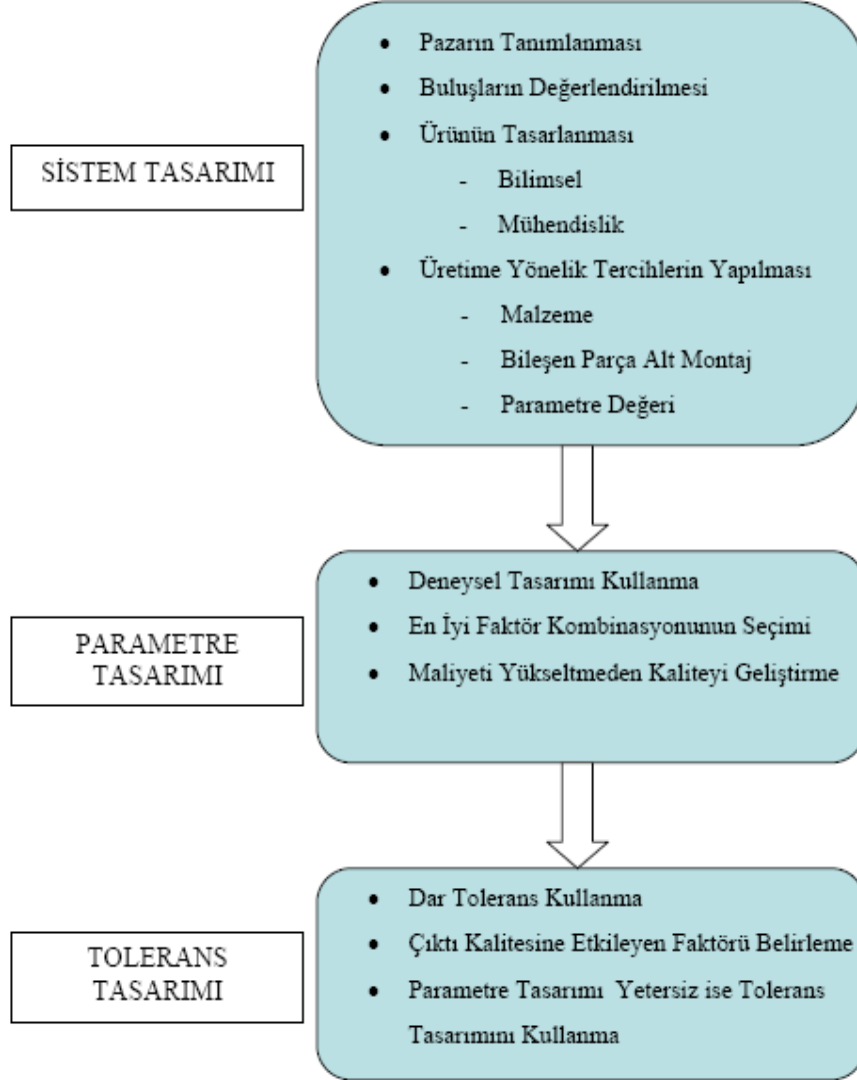
ÇEVİRİM DIŞI KALİTE KONTROL	<u>1.Aşama</u> Ürün Tasarımı	<u>Konular</u> 1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin belirlenmesi 2. Müşteri ihtiyaç ve beklentisini karşılayacak ve aynı zamanda sürekli ve ekonomik olarak imal edilebilecek ürünün tasarımı	<u>Kalite Aşamaları</u> 1. Sistem Tasarımı 2. Parametre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

Çevrim dışı kalite kontrolde ürün tasarımı ve süreç tasarımı olmak üzere iki aşama bulunmaktadır. Ürün tasarımı aşamasında yeni bir ürün geliştirilir yada mevcut olan ürün üzerinde değişiklikler yapılır. Amaç müşteri tercihlerini, isteklerini veya beklentilerini karşılayacak ürünün tasarlanmasıdır. Süreç tasarımı aşamasında ise, üretim ve süreç mühendisleri ürün tasarımı aşamasında geliştirilen özellikleri karşılayacak üretim süreçlerini geliştirmek amacıyla üretim akışını analiz ederek üretim sürecini uygun bir şekilde düzenlerler. Taguchi çevrim dışı kalite kontrolün her iki aşamasında da ürünün kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir [30].

1. Sistem Tasarımı (fonksiyon belirleme)
2. Parametre Tasarımı (hedef belirleme)
3. Tolerans Tasarımı aşamalarıdır (tolerans belirleme)

Bu üç aşama da (Şekil 4.3) ürün kalitesini sağlamada önemli olmasına rağmen, Taguchi yaklaşımlarını ilk ortaya koyduğunda ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşamanın, hem ürün hem de süreç tasarımı için

parametre tasarımı aşaması olduğunu belirtmiş ve çalışmalarını bu alanda yoğunlaştırmıştır [15].



Şekil 4.3. Taguchi metodunun sistematığı [15]

4.6. Ürün ve Proses Tasarımına Taguchi Yaklaşımı

Taguchi deney tasarımının geliştirilmesinde üç temel kavram vardır; [9]

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 artırma 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 şöyle ifade edilebilir; ortalamayı (sinyali) nominal değere yakınlığı bakımından maksimize etmek gereksinimi var ise de, aynı zamanda proses varyasyonlarını (gürültü) enküçükmek 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 azı, 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. 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 [9].

4.6.1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı aşaması Taguchi Metodunun ilk adımını oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarımcı tarafından üründen beklenen fonksiyonların elde edilebilmesi için gerekli olan üretim teknolojileri tasarlanır ve ürün için en uygun olanı seçilir. Fakat bu işlemler tam müşteri tatminini sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Üretilmesi düşünülen ürünle ilgili olarak öncelikle mevcut pazarın tanımlanması, yeniliklerin değerlendirilmesi, bilimsel ve mühendislik bilgilerinin toplanması, malzeme ve ekipmanla ilgili gerekli tercihlerin yapılması bu aşamanın konusunu oluşturur. Ayrıca bu aşamada ürün ağacındaki parçaların, malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde gerekli olan karakteristiklere ilişkin bir takım kararlar verilir. Herhangi bir ürün için sistem tasarımı süreç aşamasında da gerçekleştirilir. Süreç, ürünü etkileyebilecek faktörlere karşı minimum duyarlı hale getirilir. Amaç, ürünü en ideal kalitede ve mümkün olduğunca minimum maliyetle, belirlenen tolerans limitleri dahilinde, üretebilecek bir üretim sistemini tasarlamaktır[30].

Sistem tasarımı yeni ürün ve süreç gelişiminin evrensel safhasıdır. Kavramlar önceki deneyimleri, bilimsel temelleri, mühendislik bilgileri, yeni gelişimleri ve bunların tümünün uygun kombinasyonlarını temel almaktadır. Sistem tasarımının arkasındaki strateji; yeni fikirler almak ve bunları çalışır hale getirmektir [30].

4.6.2. Parametre tasarımı

Taguchi yönteminin ikinci adımı olan parametre tasarımı hem ürün hem de süreç tasarımı için ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapıldığı aşamadır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametreleri, malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey örnekleri gibi kriterlerin optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir.

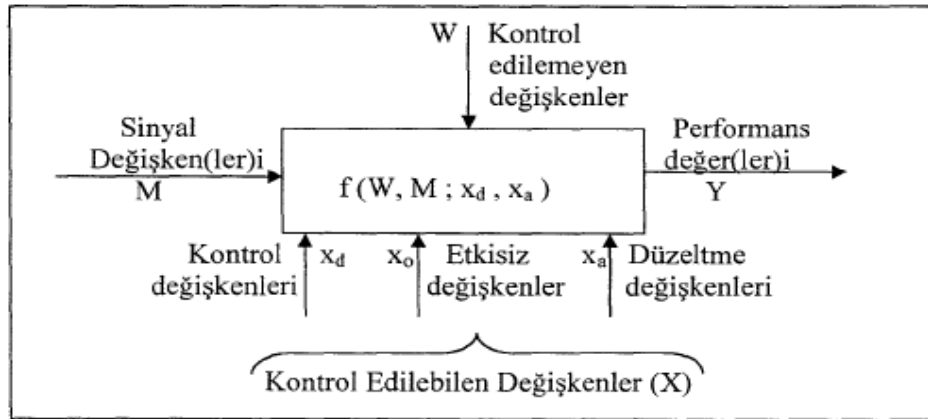
Ürün parametre tasarımı ve süreç parametre tasarımında amaç, üründen ve süreçte, varyasyon (hedef değerden farklılık, yani kalitesizlik) yaratan ve kontrol edilemeyen

faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla gerçekleştirilen ürün ve süreç tasarımına “sağlam (robust) tasarım” demektedir. Burada belirtilen sağlam tasarım, kontrol edilemeyen nem, toz, ısı, gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız ürün ve süreç tasarımı anlamında kullanılmaktadır. Sağlam tasarımda, kalitesizlik yaratan ve kontrol edilemeyen bir faktörün etkisi, kontrol edilebilen başka faktörlerin ayarlanması sonucu azaltılmaktadır. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi geliştirmek mümkün olmaktadır [17].

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerinin belirlenmesi gereken birbiriyle ilişkili çok sayıda kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktör vardır. Bu faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla birçok faktörün ürün üzerindeki etkisini ekonomik olarak belirlemek ve varyasyon yaratan faktörlere karşı önlemleri tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır [17].

4.6.2.1. Tasarım eniyileme problemi

Taguchi ve Phadke ürün (proses) girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi Şekil 4.4' deki blok diyagramı ile ifade etmişlerdir.



Şekil 4.4: Bir ürün prosesinin blok diyagramı [14]

Bu diyagramın performans değer(ler)i (çıktısı) Y ile gösterilir. Performansı etkileyen değişkenler üç grupta toplanabilir; [14]

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 (design 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'yi $X = \{x_d, x_a, x_o\}$ olarak ayırmanın asıl nedeni kontrol değişkenleri (x_d) ile ürün (proses) değişkenliğini enküçükledikten sonra düzeltme değişkenleri (x_a) ile performans karakteristiğini hedef değerine yaklaştırmaktadır. Yanısıra, etkisiz değişkenlerin (x_o) en ekonomik değerinin belirlenmesidir. Böylece hem ortalama hedefe yaklaştırılacak, hem de maliyetler enazalacaktır. Bu ise çok yönlü eniyileme anlamına gelmektedir.

Düzeltilme değişkenleri (x_a), sinyal değişkeni (M) ile ilgilenen performans değeri (Y) arasındaki arzulanan fonksiyonel ilişkinin sağlanabilmesi için kolaylıkla ayarlanabilen değişkenlerdir. KD'ni eniyi değerleri bir kez belirlendikten sonra ürünün (prosesin) hedef değerlerinde yapılacak olan makul varyasyonlar (boyut

büyütme, küçültme gibi) sadece düzeltme değişkenlerinin değerleri değiştirilerek gerçekleştirilebilmektedir.

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, nem, 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 grupta 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. İzleyen kesimde kullanılan matematiksel ifadelerde;

KD yerine $X = (x_d, x_a, x_o)$, KED yerine ise $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ gösterimi kullanılacaktır. Sinyali, kontrol, düzeltme ve kontrol edilmeyen değişkenlere bağımlı olan performans değeri, açık yazılırsa;

$$Y = f(W, M; x_d, x_a) \quad (4.1)$$

fonksiyonu ile ifade edilebilir. Kavramsal olarak, f fonksiyonu iki parçadan oluşur.

Y ile M arasında arzulan ve kestirilebilen fonksiyonel ilişki, $g(M;X_d,X_a)$,
Y ile M arasında daha az arzulan ve kestirilemeyen fonksiyonel ilişki,

$$e(W,M;x_d,X_a)$$

f fonksiyonu yeniden yazılırsa;

$$Y=g(M; x_d, x_a) + e(W,M; x_d, x_a) \quad (4.2)$$

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;

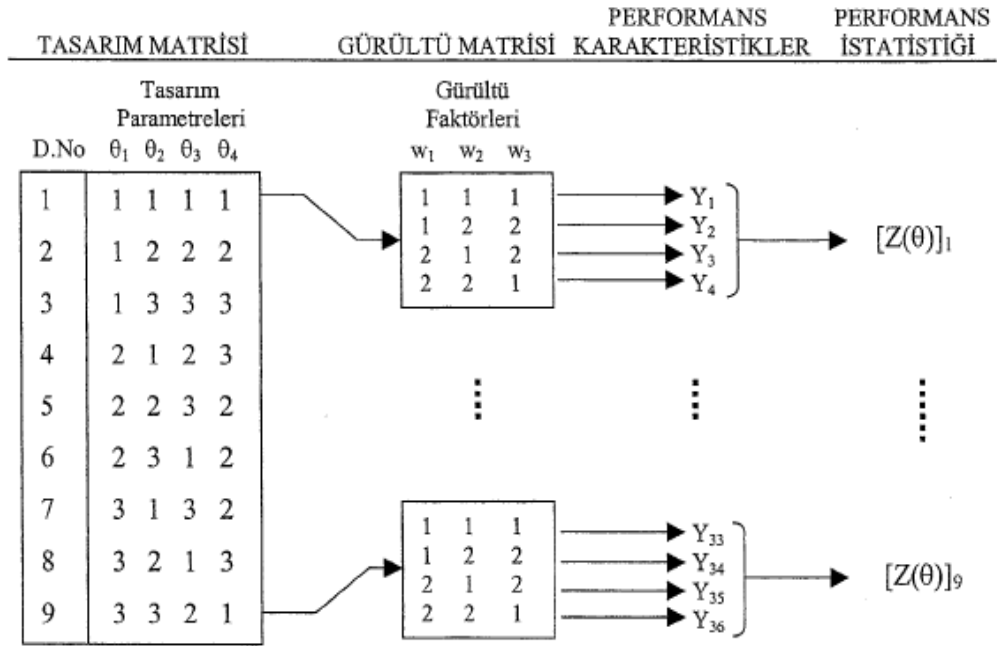
1. Y fonksiyonun kestirilebilen kısmı (g) enbüyüklenirken, kestirilemeyen kısmını (e) enküçükleyen kontrol değişkenlerinin (x_d) değerleri belirlenir.
2. Kestirebilen kısmını (g) hedef değere yaklaştıran düzeltme değişkenlerinin (x_a) değerleri belirlenir. Bu süreçte birinci adımda değişkenlik azaltılırken, ikinci adımda ise duyarlılık artırılmaktadır

4.6.2.2. Parametre tasarım deneyinin genel yapısı

Bir parametre tasarım deneyi iki kısımdan oluşur; [28]

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 3.5'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 $m \times n$ 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 gösterirler. Tasarım matrisinde her bir deneme performans karakteristiğinde tekrarlı gözlemler, performans istatistiği denen kriteri hesaplamak için kullanılır.



Şekil 4.5: Parametre tasarım deneyi planının bir örneği [9]

Parametre tasarım prosedürü şöyle özetlenebilir; [9]

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;

- a) Tüm faktörler ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin hesaplanması: bu, tüm faktörler için serbestlik derecelerinin toplamına eşittir.
- b) Serbestlik derecelerinin toplamından daha büyük bir serbestlik derecesi ve aynı seviyede en küçük deney sayısı seçilmesi.
- c) Bir etkileşimi seçtikten sonra iki göreceli faktörü ortogonal dizi üzerinde ortaya koymak, sonra interaktif ortogonal diziye göre rastlantısal olarak ilerlemek.
- d) 3. adımı tüm interaktif faktörler ortaya çıkarıldıktan sonra tekrarlamak.
- e) Artık faktörleri rastlantısal olarak düzenlemek.
- f) Deneysel seviyelerin tüm faktörlere ait sütunların sayısına göre kombinasyonunu karşılaştırmak.
- g) Prosesteki tüm testleri rastlantısal sırada yürütmek.

4. Kalite karakteristiğine ait uygun formülasyonu seçmek: Bunun için SN oranı uygun ölçüm endekslerinden birisidir. Tekrarlanan denemelere alt ortalamanın sinyali olarak ve varyans için gürültü olarak dikkate alınır. SN aşağıdaki gibi tanımlanır [31].

Daha küçük daha iyidir için;

$$SN = -10 \log(MSD) \quad (4.3)$$

Burada MSD 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.[31]

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 araştırmaktır. Yanıt diyagramı daha sonra faktörün etkilerine göre çizilebilir.

4.6.2.3. Faktörlerin sınıflandırılması

Deneylerde prosesi veya ürün kalite karakteristiklerini etkileyen ve kontrol edilebilen parametrelere faktör adı verilir. Taguchi tarafından proses ve ürün performansına etkileyen iki faktör tanımlanmıştır. Bunlara Taguchi sistem girdileri denmektedir [32].

- 1) Kontrol faktörleri
- 2) Gürültü faktörleri

4.6.2.3.1. Kontrol faktörleri

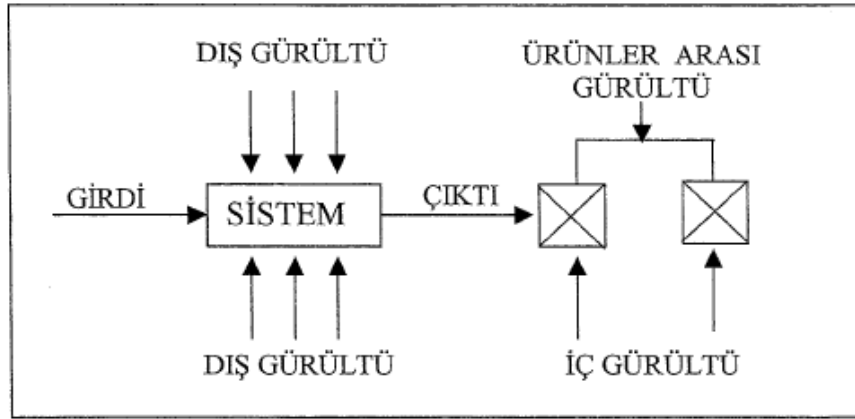
Kontrol faktörleri, nominal değerleri sorumlu mühendis tarafından seçilen ürün ya da proses parametreleridir. Kontrol faktörleri", teknik çalışmalar ile nominal kombinasyonların oluşturulduğu ürün ya da prosesin tasarım spesifikasyonlarını tanımlayan faktörlerdir. Değerleri kolaylıkla değiştirilebilen 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 [10].

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 [10].

4.6.2.3.2. 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 [32].

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



Şekil 4.6: Gürültü faktörlerinin etkisi [29]

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. Örnek olarak, zamanla ve kullanma sonucu oluşan ürün aşınması, materyal yorgunluğu gibi yıpranma, gösterilebilir.

Ürünlerarası (Parçalararası) Gürültü Faktörleri: Bu gürültü faktörleri, 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.

4.6.2.3.3 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 [30].

Ürün ömrünün ilk aşamalarında, araştırma ve geliştirme aşamasında, tüm gürültülere rağmen, kaliteyi geliştirmede Tablo 4.2' 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.

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

Tablo 4.2: Varyasyon yaratan gürültü faktörlerine karşı önlemler ve bunların üretim sisteminde kullanılması [9]

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

4.6.2.4. Parametre tasarım probleminin sınıflandırılması

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

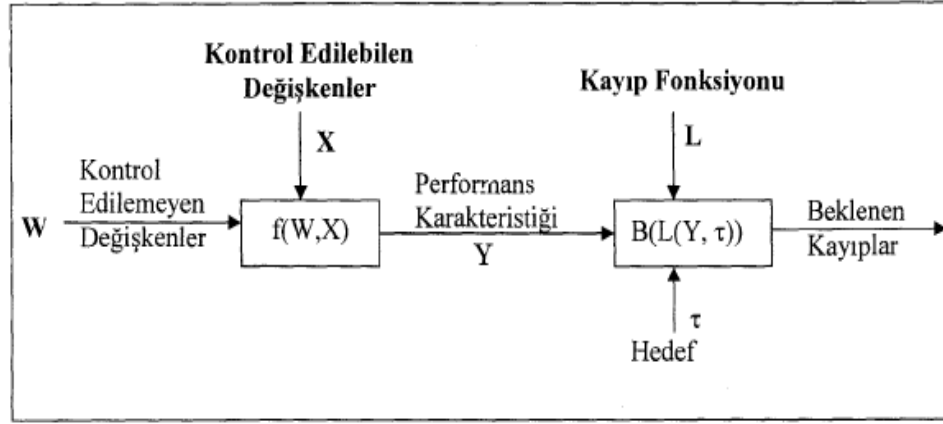
Taguchi'nin PT deneyi için kalite karakteristikleri iki ana sınıfta ele alınır; [14]

1. Statik kalite karakteristikleri,
2. 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 [14].

4.6.2.4.1 Statik parametre tasarım problemi

Performans karakteristiğinin hedef değerinin tasarımcı tarafından başlangıçta sabit olarak belirlendiği problemler statik parametre tasarım problemi olarak adlandırılmakta ve Şekil 4.7'deki gibi ifade edilmektedir.[14]



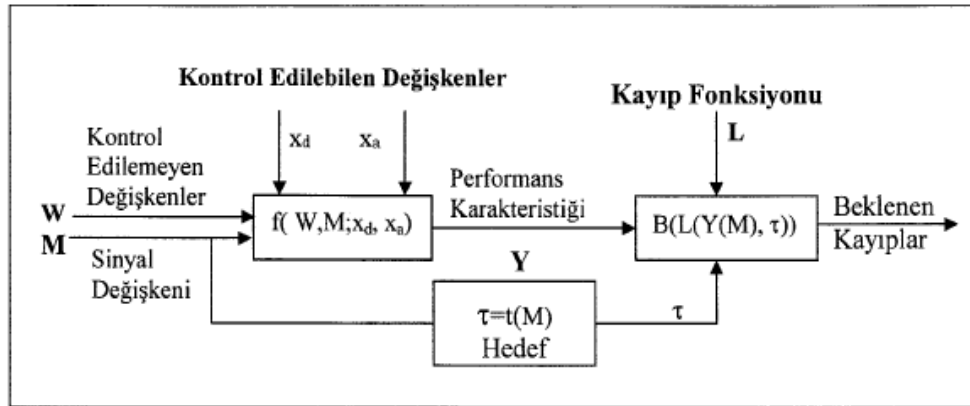
Şekil 4.7: Statik parametre tasarım probleminin blok diyagramı [9]

KED'in rastsal 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 makinesi için statik uygulama, tek bir yapışma tasarımı için eniyi işleme koşulları bulunur.

4.6.2.4.2. Dinamik parametre tasarım problemi

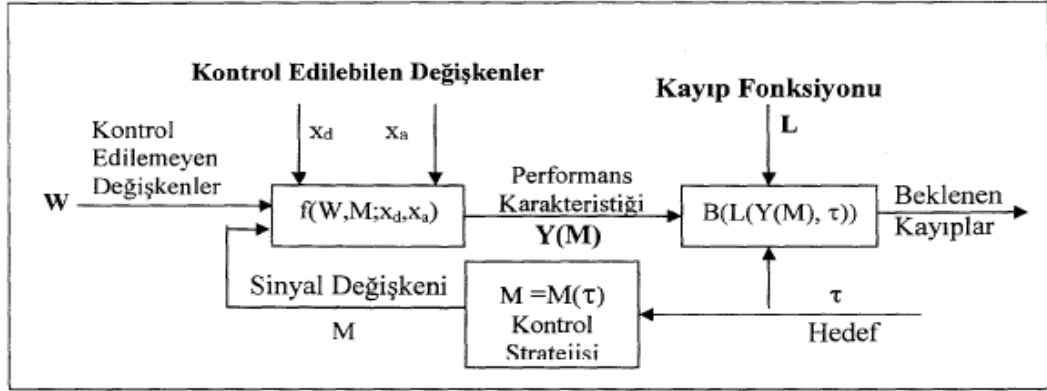
Dinamik yaklaşım, bugünün gereklerini karşılayan bir tasarım üretmek için bir organizasyona olanak sağlar; fakat yarının isteklerini öngörmek için kolayca değiştirilebilir. Bu son belirtilen yaklaşım, gelecekteki bilinmeyen bir gereksinim için beklenmedik durumu planlama olarak düşünülebilir. Dinamik uygulamalarda, bir kontrol faktörü performansı bir değere götürür ve bir ayarlama faktörü, bu faktör için tasarımın duyarlılığını değiştirir. Yatayeksen kontrol faktörü ve düşeyeksen 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 [33].

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 tasarımı olarak adlandırılır ve dinamik sistemlere ilişkin parametre tasarım problemi Şekil 4.8'deki gibi belirlenebilir [14].



Şekil 4.8: Dinamik parametre tasarım probleminin blok diyagramı [9]

Dinamik parametre tasarım probleminin, statik parametre tasarımı probleminin farklı bir sinyal değişkeninin olması ve hedef değerinin de bu sinyal değişkeni tarafından belirlenmesidir. Ancak Şekil 4.8'deki diyagram bütün dinamik parametre tasarım problemlerini kapsamaz. Buna göre biraz farklılık gösteren kontrol probleminin diyagramını ayrı göstermekte yarar vardır. Bu kontrol problemi Şekil 4.9'deki gibi ifade edilmektedir [14]. Bu diyagramda, sinyal değişkeni, kontrol stratejisi ve hedef değere göre belirlenir. Amaç, beklenen kayıpları enküçükmek için sadece KD'in eniyi değerlerini belirlemek değil, aynı zamanda eniyi kontrol stratejisini de belirlemektir.



Şekil 4.9: Kontrol probleminin blok diyagramı [9]

4.6.2.5. Performans istatistiği ve S/N oranı

Performans ölçüsü (performance measure) KD'in farklı seviyelerini karşılaştırıp eniyisinin seçilmesini sağlayan bir ölçüttür. Bu ölçüt, KD'e bağlı olarak tanımlandığından farklı mühendislik tasarımları farklı performans ölçüleri kullanmayı gerektirir. Öte yandan, KKF de bir performans ölçüsüdür. Ancak, hem istenilen bilgileri verememesi, hem de bazen gereğinden fazla karmaşık olması nedeniyle performans ölçüsü olarak kullanılamamaktadır. KD'e göre tanımlanan performans ölçüsünün gerçek fonksiyonunu belirlemek son derece güç veya olanaksızdır. Bunun yerine, KKF'nda olduğu gibi, yaklaşık fonksiyonlar kullanılmaktadır. Performans karakteristiğinin yapısına (sürekli veya kesikli oluşuna ve hedef değerine) göre farklı yapıda tanımlanan ve performans ölçüsü yerine kullanılan yaklaşık fonksiyonlar performans istatistiği (performance statistic) olarak

adlandırılmaktadır. Taguchi, performans istatistiği yerine gürültü işaret oranı (S/N ratio) terimini kullanmaktadır. [14]

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 karşılaştırmalar değişkenlerin doğasına bağlı olarak bazı uzmanlaşmış SN oranlarına götürür. Üç temel SN oranı vardır. Ancak SN oranının değişkenliği sınırsızdır.[24]

Performans istatistiği (SN oranı) gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini hesaplar. Etkili bir performans istatistiği için ürün kayıp fonksiyonu ve performans karakteristiğinin dağılımına ilişkin önceki mühendislik bilgisinden yararlanır.

$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ kontrol faktörlerini, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_l)$ de parametre tasarım deneyinde yer alan gürültü faktörlerini gösterebilir. Performans karakteristiği Y'nin θ ve ω 'nin bir fonksiyonu, yani, $Y = f(\theta, \omega)$ olduğunu varsayalım. Kontrol faktörleri θ , Y'nin dağılım parametreleridir ve verilen bir θ için gürültü faktörleri dağılımını üretir.[9]

$$\eta(\theta) = E[Y] \text{ ve } \sigma^2(\theta) = E[\{Y - \eta(\theta)\}^2], \quad (4.4)$$

Y'nin ortalamasını ve varyansını gösterebilir. Bu modelle, beklenen kayıplar θ 'nin fonksiyonlarıdır.

Performans ölçüsü seçilen θ 'nin bir fonksiyonudur; öyle ki, performans ölçüsünün olası mühendislik ayarlamalarıyla maksimizasyonu beklenen kayıp en aza indirir. Performans ölçüsü farklı kontrol faktörü ayarlarını karşılaştırmada kriter olarak kullanılır. Etkili bir performans ölçüsünün hesaplanmasında kayıp fonksiyonuna ilişkin mühendislik bilgisinden yararlanır. Beklenen kayıp da bir 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 farklı SN oranı tanımladığı söylenmektedir. Performans ölçüsü, S'nin bir fonksiyonu iken, genelde bu fonksiyon bilinmez. Öyleyse hesaplanması gerekmektedir ve eniyilenecek kriter olarak bu değer kullanılmaktadır [24].

Performans istatistiği terimi performans ölçüsünün istatistik değeri için kullanılır. Oysa Taguchi bu terimi SN oranını gösteren bir terim olarak kullanmaktadır. Kalite karakteristikleri statik olduğu zaman nominal en iyi, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi SN oranları kullanılır. Örneğin, nominal en iyi dinamik karakteristikli SN oranının özel durumudur [24].

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, iç dizi için faktörlerin ve dış dizi için gürültülerin atanmasıyla bir deney 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; [9]

1. SN oranı, gürültü faktörleriyle neden olunan sistem yanıtındaki değişkenliği gösterir.

2. SN oranı ortalamanın düzeltilmesinden bağımsızdır. Bu ölçüm (metrik) hedef değeri değişse bile kalite için öngörü yapılmasında faydalı olacaktır.
3. SN oranı nispi kaliteyi ölçer; çünkü karşılaştırma amaçları için kullanılmaktadır.
4. SN oranı, ürün kalitesinde pek çok faktörün etkileri analiz edildiği zaman kontrol faktörleri etkileşimi gibi gereksiz karmaşıklıklara neden olmaz.

4.6.3. Tolerans tasarımı

Parametre tasarımında, tasarım parametreleri için gerekli olan hedef değerler ayarlanır. Üretim sırasında olabildiğince bu hedef değerlere ulaşılmaya çalışılır. Fakat üretim sürecinde her zaman bir değişim söz konusu olduğundan bir tolerans aralığı verilmesi gerekir. Tolerans tasarımı, parametre çalışmaları sonucu istenilen hedefe varılamadığı takdirde yapılacak süreç veya ürün parametreleri için en iyi toleransları belirleme çalışmalarını ifade etmektedir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır [32].

Sistem tasarımını tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı katlanılacak kalite maliyeti ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça üretim maliyetleri artacağı için ürün de daha maliyetli olarak üretilir. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi, daha dar toleransla çalışan teknolojik açıdan daha pahalı tezgahlara ihtiyaç duyulmasıdır. Aksi takdirde, tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları artacaktır [32].

Tolerans tasarım adımı en ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar ile hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyeti minimize edilmektedir. Üretim sürecindeki değişimler olabildiğince azaltılsa bile amaç hala hedef değere ulaşmaktır. Ne yazık ki bazı durumlarda değişkenlik çok büyük olmakta ve değişkenliği düşürmek için toleransların küçültülmesi gerekmektedir. Tipik olarak her bir kontrol parametresinin yaklaşık olarak katkısını belirleyebilmek

için varyans analizi (ANOVA) kullanılmakta böylece tolerans daraltmada, gelişmiş malzeme kullanma durumunda veya diğer yüksek maliyetle kaliteyi geliştirmeye degecek faktörler tanımlanmış olmaktadır. Üretici, daha düşük malzeme özellikleri kullanarak bir üründen daha fazla kar elde etmek amacıyla, ürün karakteristiklerinin tolerans limitlerinin uç noktalarına yaklaşılmasına izin vermemelidir. Tasarım parametreleri seçilirken toplam ürün maliyeti ile müşteri maliyetinin toplamı göz önüne alınmalıdır. Tolerans değerleri, ürün karakteristiklerinin hedef değerden olan sapmalarının oluşturduğu toplumsal kayıpla, ürün karakteristiklerinin tolerans dışına çıktığında üreticinin bunu düzeltmek amacıyla yaptığı harcamaları dengeleyecek bir biçimde seçilir[32].

4.7. Taguchi Yaklaşımının Diğer Araçları

4.7.1. Kayıp fonksiyonu

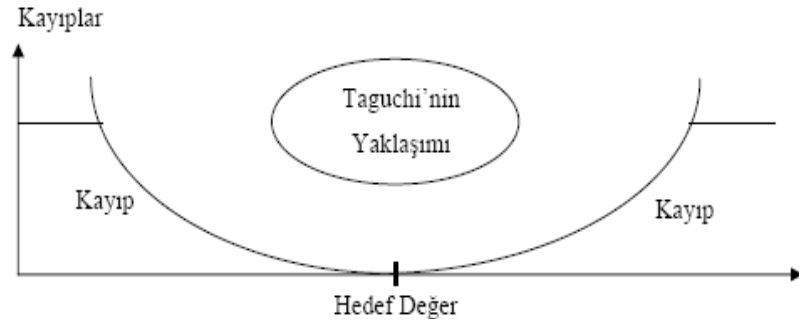
Kalite maliyetini hesaplamadaki geleneksel yöntem, reddedilen ve yeniden işlenen parçaların sayısına dayanır. Şekil 4.10'da geleneksel kayıp fonksiyonu anlayışına göre alt ve üst sınırlar bir model parametresinin kabul edilebilir sınırlarını göstermektedirler. Belirlenmiş parametrelerin değerleri bu sınırlar arasında ise ürün normalde işlevsel olarak kabul edilir. Toplumsal bir kaybın meydana gelmesi beklenmez ve ürün tüketicilere ulaştırılır. Bununla birlikte, bu sınırların dışındaki bölgede işlevsel bozulma olacak ve ürün ya atılacak yada kurtarma işlemine tabi tutulacaktır. Geleneksel kalite kontrolün amacı ürünü bu sınırlar içerisinde tutarak üretim sürecini kontrol etmektir [34].



Şekil 4.10: Geleneksel kalite kontrol yaklaşımında kayıplar

Sadece tasarımcı ve imalatçıyı memnun eden ve Kale direği sendromu olarak tanımlanan bu yaklaşımda izin verilen toleranslarda imal edilen bir ürün yüksek kaliteye sahip olarak değerlendiriliyordu. Ürünün hedef değerden uzak olup olmadığına bakılmaksızın kalenin içine giren tüm ürünler hedef değerdeymiş gibi dikkate alınıyordu. Gerçekte ise, hedef değer çevresinde bulunan ürünler müşteri tatminini büyük ölçüde sağlarken alt ve üst kontrol sınırlarına yakın olarak üretilmiş olan ürünler müşteri istek ve ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalıyorlardı.

Geleneksel yaklaşımda müşterinin ihtiyaçları göz ardı edilmektedir. Üretilen bir ürün belirlenen spesifikasyonları karşılamakta ama spesifikasyonlar müşteri ihtiyaçlarını karşılayamamakta ise ürünün gerçekten kaliteli olduğu söylenemez. Müşteriler her zaman ürünün hedef değere yakın olmasını, üretici ise spesifikasyon limitleri içerisinde ürünün çeşitli değerler almasını tercih edecektir. Taguchi'ye göre ise Şekil 4.9'da belirtildiği gibi alt ve üst tolerans limitleri belirlenemez. Geleneksel yaklaşımda kayıp ya tamdır ya da sıfırdır. Taguchi'ye göre ise, model parametreleri en iyi değerden sapma gösterdikçe ürünün kalitesi bozulmaya başlayacaktır. Bu nedenle kaybın hedeften oluşan sapma ile ölçülmesi gerektiğini savunmaktadır. Eğer hedef değerden oluşan sapma sıfır ise kalite kaybının meydana gelmesi beklenmez. Hedef değerden sapma olduğu takdirde eğrinin altında kalan alan ise kaybı göstermektedir. Taguchi kayıp fonksiyonu Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Bu yöntemde kalite kontrol felsefesinin en önemli yönü, hedef değer etrafındaki sapmaları en aza indirmektir [34].



Şekil 4.11: Taguchi yaklaşımında kayıplar

Taguchi yaklaşımında ürünün müşteriye aktarılmasından sonra bazı kayıplar kaçınılmaz olmaktadır, bundan dolayı daha düşük kayıplar daha arzu edilir ürün anlamına gelmektedir. Alternatif ürün tasarımı ve üretim süreçlerini karşılaştırabilmek amacıyla bu kayıpların miktarının belirlenmesi önemli olmaktadır. Kayıpların miktarının hesaplanması ikinci dereceden bir kayıp fonksiyonu ile yapılmaktadır.

$$L(y) = k*(y-m)^2 \quad (4.5)$$

Burada $L(y)$, kalite karakteristiği y , m de bu kalite karakteristiği için hedef değer olduğunda oluşan kalite kaybı olmaktadır, k değeri kalite kayıp katsayısıdır. $y = m$ olduğunda formülden de görülebildiği gibi kayıp sıfır olmaktadır, bu durumda kayıp fonksiyonun eğimi de sıfır olmaktadır. y değeri m 'den uzaklaştığında ilk başlarda kayıp yavaş yavaş artmakta ama y değeri m 'den çok fazla uzaklaştığında diğer bir deyişle y ile m arasındaki sapma çok fazla arttığında kayıp miktarı daha fazla artmaktadır. Eğer $m + \Delta$ ile $m - \Delta$ de müşteri tolerans limitleri ise ve y değeri bu aralığın dışında ise ürün performansı memnuniyet verici olmamakta, ve eğer müşteriye bu ürünün tamiri veya değiştirilmesinin maliyeti A TL ise, o zaman [35];

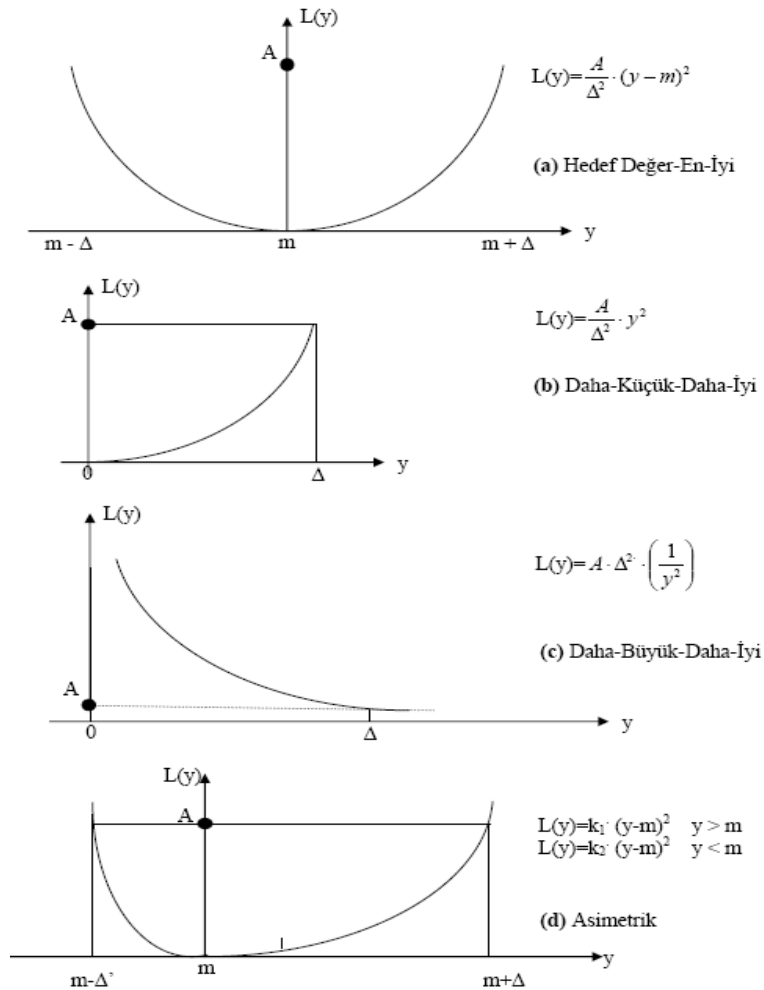
$$k = A / \Delta^2 \quad (4.6)$$

$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} \cdot (y - m)^2 \quad (4.7)$$

(4.7) formülünde tanımlanan ve Şekil 4.12.(a)'da gösterilen kayıp fonksiyonuna Hedef Değer-En-İyisidir denilmektedir. Diğer durumlar ise bu formüle yapılacak küçük uyarlamalarla elde edilir. Daha-Küçük-Daha-İyi fonksiyonu ideal değer (m) sıfıra eşit olduğu durumları tanımlamakta ve Şekil 4.12.(b)'de gösterilmektedir. Daha-Büyük-Daha-İyi fonksiyonu ise Şekil 4.12.(c)'de görüldüğü gibi $y=0$ 'ın en kötü olduğu durumdur. Son olarak da Şekil 4.12.(d)'de görüldüğü gibi asimetrik kayıp fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonda ise hedef değer her iki yanında farklı k değerleri vardır.

Taguchi kayıp fonksiyonunu aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz; [34]

1. Bir ürünün kalite özellikleri hedefte olduğu zaman kayıp sıfır olmaktadır.
2. Kalite kayıp fonksiyonu sürekli bir fonksiyondur ve hedef değerden sapmaları ölçmektedir.
3. Kalite kaybı ürünün belirlenen başarımların özellikleriyle ilgilidir. Bu nedenle kaliteyi ürün içinde en iyi düzenleyerek kayıplar en aza indirilir.
4. Müşteri memnuniyetsizliğinden oluşan kalite kayıpları sistemin genişliğine göre ölçülmelidir.
5. Kalite kaybı maddi ve sosyal bir kayıptır.
6. Kalite kaybının en aza indirilmesi rekabet edebilmenin ve bugünkü uluslararası iş ortamında ayakta kalmanın tek yoludur.



Şekil 4.12: Amaç fonksiyonuna göre Taguchi kayıp fonksiyonları

Kalite kayıp fonksiyonu iki kullanım amacına sahiptir. En önemli uygulaması; bir ürün ya da süreç düzenini eniyilemekle meydana gelecek gelişmelerden sonra tahmini maliyet tasarruflarını hesaplamak, ikinci uygulaması ise, tolerans aralığının tüketici anlayışına dayandırılmasıyla ürünü kullanacak olan nihai üretici ve tüketici toleransını belirlemektir. Burada tüketici sürekli hedef değerde ürün isterken üretici ise sürekli tolerans sınırları içerisinde ürün üretmek istemektedir. Her iki grup da kendi açılarından olaya bakmaktadırlar. Halbuki kayıp fonksiyonu burada üretici ve tüketici için toplam toplumsal maliyeti değerlendirmekte, eğer hedef değerden sapmaları önlemenin maliyeti bu sapmalar dolayısıyla tüketicinin kaybindan fazla olacaksa bu önleme işlemini yapmanın ekonomik olmadığına, tersi durumda ise bu işlem toplam toplumsal maliyeti düşüreceği için bu sapmaların önlenmesi gerektiği görüşünü savunmaktadır. Böylelikle, kayıp fonksiyonu üretici ya da tüketicinin toleransını saptamada ürünün kontrolü için sınır ayarlamasını tarafsız bir yolla sağlamaktadır [35].

4.7.2. Ortogonal diziler

Ortogonal dizin İngiltere' de Sir Ronald Fisher tarafından ortaya çıkarılmış olup ilk çalışmaları deneylerdeki hataları kontrol etmek için kullanmıştır. Dr. Taguchi ortogonal dizini sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekte kalmayıp ayrı zamanda ortalama sonuçlardan değişim irdelenmiştir. Taguchi deneysel faktörleri haritalamak için lineer grafik geliştirilmiştir[29].

Ortogonal dizini açıklamadan önce ortogonalite denge olarak tanımlanırsa deneysel matriste ortogonalin anlamı istatistiki olarak bağımsızlık anlamındadır. Buradan tipik ortogonal dizinlerde her sütunda her seviyenin ayrı sayıda incelendiği anlaşılır [29].

Tablo 4.3'de birinci kolonda A faktörünün birinci seviyesi dört defa oluşurken ayrı kolonda A'nın ikinci seviyesi de dört defa tekrarlanır. B faktörünün yer aldığı ikinci kolonda A'nın birinci seviyesinin dört tekrarına rağmen ikinci kolonda yer alan B faktörünün birinci seviyesi iki kez ardından da ikinci seviyesi iki defa tekrarlanmıştır. A faktörü için ayrı yaklaşım diğer kolonlarla da yapılabilir. A

faktörü ile ortogonal kolonun son faktörü olan G faktörü arasında dahi bu tür bir ilişki söz konusudur [29].

Tablo 4.3: $L_8(2^7)$ ortogonal dizini [29]

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

Ortogonal dizinin dizinler halinde gösterilmesi deneysel sonuçlarının tekrarlanabilir olmasını sağlar. Ayrıca ortogonal dizinler mali yönden verimlidirler [29].

Her kolon $L_A(B)^C$ şeklinde gösterilir. Ortogonal dizin latin kareden türetildiği için L latin kareyi gösterir. A, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını içerir. B her kolondaki seviyelerin sayısını gösterir. C ise ortogonal dizindeki kolonların sayısını gösterir. [29]

Tablo 4.4'deki ortogonal kolon 12 işlem ve 11 faktör içerir. Bu kolonda tüm faktörler ayrı seviyede olduğu için $L_{12}(2^{11})$ şeklinde gösterilir.

Faktörlerin ayrı seviyede olmadığı deney tasarımlarının oluşturulması söz konusu olabilir. Örneğin $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$ ortogonal kolonunda 2 seviyeli bir faktör ve 3 seviyeli 25 faktör yer alır. Bu da bir kolonun 2 seviyeli, 25 kolonun 3 seviyeli olarak oluşturulması anlamındadır [29].

Ortogonal Dizin Serileri: En az iki seviyeden en çok beş seviyeye kadar değişen seviyelerde ortogonal dizinler mevcuttur. Amaca göre iki veya üç seviyeyi içine alan dizinler yeterlidir. Fakat bazen ilkelere ve belirlenen stratejiye göre iki ve üç seviyeyi beraber ele alan dizinler de kullanılabilir. [29]

Tablo 4.4. $L_{12}(2^{11})$ ortogonal kolonu [29]

Col. no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
No.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
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
	Gp 1					Group 2					

4.7.2.1. 2^n serisi ortogonal dizinler

Tüm sütunlarını iki seviye yer alan dizinler serileri olarak anılır. $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$, ve $L_{16}(2^{15})$ en sık kullanılan dizinlerdir. Daha büyük kolonlarda mevcuttur. Fakat deney matrisinin boyutunun büyümesi karışıklık yaratacağı için ya yanlış veri veya yanlış deneysel kombinasyonların kurulmasına neden olacaktır [28].

$L_4(2^3)$; temelde tam faktöriyel deney tasarım matrisi olup iki temel faktör ve aralarındaki etkileşimi ele alır. Eğer mühendis etkileşimin zayıf olduğuna karar verirse yerine üçüncü bir faktörü alabilir [29].

$L_8(2^7)$; faktörler arası etkileşimlerin görüntülenmesinde esnek bir matristir. Yedi faktöre kadar olan faktörleri ve etkileşimleri matriste yer alabilir [29].

$L_{12}(2^{11})$; etkileşimlerin etkileri tüm dizinler arasında uygun olarak dağıldığı için özel bir ortogondur. Bu özelliği ile faktörlerin ve etkileşimlerinin karışması en aza indirilir. Diğer taraftan etkileşimler bu ortogonal dizine dahil edilmezler. Eğer deney matris boyutu olarak $L_{12}(2^{11})$ yeterli fakat faktörler arası etkileşimler söz konusu ise bu durumda $L_{16}(2^{15})$ ortogonal dizinin kullanılması gereklidir [29].

$L_{16}(2^{15})$ ve $L_{32}(2^{31})$ ortogonal dizinleri büyük matrislerdir ve faktörler ve etkileşimlerin bir arada kullanma imkanı verirler [28].

4.7.2.2. 3ⁿ serisi ortogonal dizinler

Genelde üç seviyeli sütunları içeren dizinlerdir. $L_9(3^4)$, $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ ve $L_{27}(3^{13})$ en sık kullanılan çeşitleridir [29].

$L_9(3^4)$; dört faktörün veya iki faktör ve bir etkileşimin incelenebileceği bir ortogonal kolondur.

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$; birkaç durumdan dolayı tekdir. Birincisi ilk sütun iki seviyelidir ama diğer 7 si üç seviye içerir. İkincisi $L_{12}(2^{11})$ ortogonal dizinine benzer olarak birinci ve ikinci sütun arasındaki ilişki haricinde etkileşimlerin etkisi diğer sütunlar arasında dağılmıştır. Üçüncüsü sütun bir ve iki arasında özel bir ilişki mevcuttur. Bu iki kolonun yerleşimi açısından aralarındaki etkileşim bir başka sütuna ihtiyaç duymaksızın kendi sütunlarının birinde ele alınır.

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

4.7.3. Serbestlik derecesi

Serbestlik ilgilenilen kavramlarla ilgili bilginin miktarının ölçüsüdür. Genel anlamda ise sonucu saptırmaksızın yapılan karşılaştırmaların sayısıdır. Faktörler için serbestlik derecesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır; [29]

$$\text{Faktör (temel etki) = seviyelerin sayısı - 1} \quad (4.8)$$

n seviye = n-1 serbestlik derecesi

A ve B faktörlerinin arasında etkileşim olduğu düşünülürse AB etkileşimi için serbestlik derecesi;

$$AB = (A \text{ faktörünün seviyesi} - 1) \times (B \text{ faktörünün seviyesi} - 1) \quad (4.9)$$

İki seviyeli iki faktör arasındaki etkileşimin serbestlik derecesinin hesabi ve AB etkileşiminin ortogonal dizinlerde gösterimi oldukça kolaydır. Üç seviyeli veya farklı seviyelerde faktörlerin ele alındığı deney tasarımlarında serbestlik derecesinin hesabi Tablo 4.5’de gösterilmiştir.

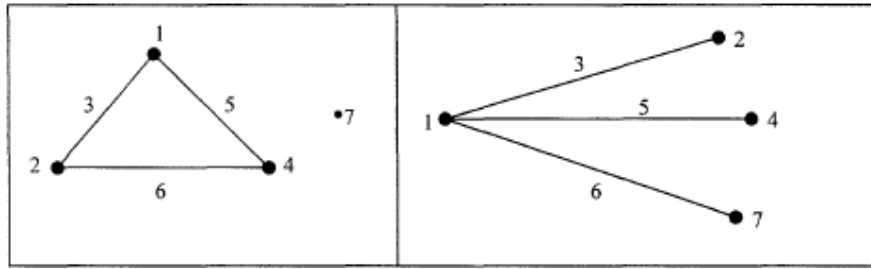
Tablo 4.5. Etkileşimler için serbestlik derecesi hesapları [29]

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

serbestlik dereceleri direk olarak ortogonal kolonlardaki sütunların sayısı ile ilişkilidir. Deneyde yer alan faktörlerin serbestlik derecelerinin ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinin toplamı sütun sayısını verir [29].

4.7.4. 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 [29].



Şekil 4.13: L₈ doğrusal grafikleri [29]

4.7.5. Üçgensel tablolar

Taguchi'nin ortogonal diziler yönteminin kullanımı, etkileşimlerin dahil edilmediği bir deneyi düzenlemek için oldukça basittir. Ancak etkileşimler için öngörü yapılacağı bir deney düzeninin hazırlanması daha fazla dikkat gerektirir. Bu nedenle Taguchi, ortogonal dizilerde birbiri ile etkileşimli sütunlar hakkında bilgi veren üçgensel tabloları geliştirilmiştir. 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:[32]

1. Bütün üçgensel tablolarda bulunan sayılar, ortogonal dizilerin sütunlarını gösterir.
 2. Bir ortogonal dizisinin iki sütununa atanan A ve B faktörlerinin AB etkileşimi ile BA etkileşimi ayrı anlama geldiğinden, üçgensel tablolar simetrik matristir ve daima üst yanları verilir.
 3. Bir faktörün kendisi ile olan etkileşimi yine kendisi olduğu için, esas köşegen elemanları parantez içerisinde kesiştiği satır ve sütun numarasıdır.
 4. Daha büyük üçgensel tablo, daha küçük üçgensel tabloyu daima içerir.
- Tablo 4.6'da $L_{27}(3^{13})$ için üçgensel tablo verilmiştir. [9].

Tablo 4.6: $L_{27}(3^{13})$ için üçgensel tablo

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.

Taguchi'nin ortogonal dizileri, çok faktörlü tasarım yöntemlerine göre aşağıdaki nedenlerden dolayı daha üstündür.[29]

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

4.8. Taguchi Yönteminin Uygulama Adımları

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. [36]

1. Deney planlama,
2. Deney tasarlama,
3. Deneyi gerçekleştirme,
4. Deneyin analizini yapma.

DeneySEL tasarımın başlangıcından sonuçların elde edilmesi ve bunların yorumlanmasına kadar izlenen temel adımlar aşağıda özetlenmektedir; [29]

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, akis diyagramı veya balık kılıcı 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 ayrı zamanda deneyin büyüklüğünü belirleyebilirler. Strateji, deney büyüklüğünü sadece faktörlere göre seçmek olabilir, faktörler atandıktan sonra eğer boş sütun kalırsa bu sütunlara da ilgilenilen etkileşimler yerleştirilebilir.

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 ayrı 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 konusudur.

Adım 16: Eğer deneyin amaçlarına ulaşamamışsa 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. [9]

4.8.1 Çalışma ekibinin kurulması

Deney var olan 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, ayrı 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.

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 oluşturabilirler. Deney yapılacak ürünün yeni bir ürün ya da var olan bir ürün olmasına göre çalışma ekibini oluşturanlarda değişiklikler yapılabilir.

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 tasarımıyan uzman, üst yönetim temsilcisi ve deneyi yürütecek insanlardan oluşur.

4.8.2 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 elemanları katılımı sağlar, 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.

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, akis diyagramı, neden sonuç diyagramı gibi araçlar kullanılabilir. Yeterli bilgi elde edildikten sonra çalışma amaç(lar)ı tüm 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.

4.8.3. Performans karakteristiklerinin ve ölçüm sistemlerinin belirlenmesi

Çalışma ekibi tarafından amaç(lar)ın belirlenmesinden sonra başarının ölçülebilmesi için anlamlı performans karakteristik(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 birçok konu göz önüne alınmalıdır. Bunlar içinde önemli olanları belirlenen performans karakteristiğinin açık ve ölçülebilir olması, müşteri isteklerini göz önüne alması, maliyeti çok arttırmaması, ölçüm biriminin anlaşılır olması, ölçümlerin yapılacağı koşulların uygunluğu ve çevre koşulları ve ölçüm yapılacak alet ve araçların var olmasıdır.

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 asamanın ikinci bölümüdür. Karakteristikler değişik ölçü sistemlerinin kullanımını gerektirebilirler.

4.8.4. 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 toplantılarından başka Pareto diyagramı, akis 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 tartışır 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 akim diyagramı yararlı araçlardır. Kolay kontrol edilen bağımsız değişkenler kontrol faktörleri grubu içinde yer alır, diğerleri ise gürültü faktörleri grubu içinde yer alır.

4.8.5. 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. Kontrol faktörlerinin seçimi de ayrı zamanda çok önemlidir. Seçilen kontrol faktörleri gürültüye göre etkilerin en küçüklenmesi ile tasarımdaki robustluğu gösterme kabiliyetine sahip olmalıdır. Kontrol ve gürültü faktörleri verildiğinde, kalite performans istatistiği ve çapraz ortogonal dizi kullanan tasarım deneyleri tanımlanabilir.

4.8.6. Potansiyel etkileşimlerin belirlenmesi

Etkileşimlerin performans karakteristikleri üzerinde önemli etkileri olabilir. Taguchi etkileşimi önemsiz olarak görür. Çünkü onu sağlamak için deneyenin 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;

1. Performans karakteristiğini katkıya dönüştür.
2. Kontrol faktörleri ile seviyeleri arasındaki ilişkiyi incele ve onları ayarla.
3. Sınıflandırılmış veri için akümülyasyon 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 basan olasılığını arttıracaktır.

4.8.7. 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.

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 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.

Kontrol faktörleri seviyelerinin sayısına ve deneye dahil edilen serbestliğin derecesine dayanarak; ya standart 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 standart 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 atanması 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.

4.8.8 Taguchi kayıp fonksiyonu ve performans istatistiklerin 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.

4.8.9. 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 ise 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.

4.8.10. 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 performans istatistikleri ve/veya ortalamalar da olan etkisini değerlendirmek için varyans analizi (ANOVA) yapılır ve yüzdesel katkılar hesaplanır. Dolayısıyla kontrol faktörleri üç kategoride sınıflandırılabilir;

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 kullanılır;

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 artırılır.

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.

Farklı performans karakteristikleri arasında çelişki olduğu zaman anlamsa 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 su üç yöntem kullanılmaktadır;

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 tekrarlama 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 diğerlerinin 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 sonra diğer seviyesindeki deneyler rassal olarak seçilir. Bu şekilde tüm deneyler bloklar halinde tamamlanır.

Pratik olarak, deneyin ortogonalliğini 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 her bir deneyin tek testi yeterlidir, ancak deneyler kolay ve ucuz ise birden çok test yapılması deneyin güvenilirliğini arttırması açısından önemlidir. Deneyde kullanılan faktörlerin her bir kombinasyonu için elde edilen verilerin ortalaması, varyansı, 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 oram 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.

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.

4.8.11. Doğrulama değerlendirilmesi 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.

1. Deney ve/veya ölçümler sırasında bazı hatalar yapılabilir
2. Kontrol faktörleri ve gürültü faktörlerinden bazıları deney dışında bırakılmış olabilir.
3. Bazı önemli etkileşimler vardır ve bunlar deney dışı bırakılmıştır.
4. Performans karakteristikleri yanlış olarak seçilmiştir.

Eğer deneydeki etkileşim etkilerini değerlendirmek ve incelemek olası değilse o zaman 4.8.6'daki iyileştirmeler uygulanır. Şayet hala problemler varsa, analiz 4.8.3'e dönülerek performans karakteristikleri ve ölçüm sistemi yeniden belirlenir ve analize devam edilir.

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 beklenen gelişmenin yarattığı etkiler rapor edilir.

4.9. Taguchi Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

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 birçok yönden ne yeni ne de radikal bir yöntemdir, Diğer istatistiksel yöntemlerle Taguchi yöntemi arasında farklar olduğu gibi benzerlikler de vardır. Örneğin Taguchi, birçok kontrol faktörünün ayrı 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 [10].

Taguchi yöntemi diğer klasik deney tasarım yöntemlerine göre uygulama yönünden daha basit ve anlaşılardır. 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 ayrı başarılı sonucu vermesidir [10].

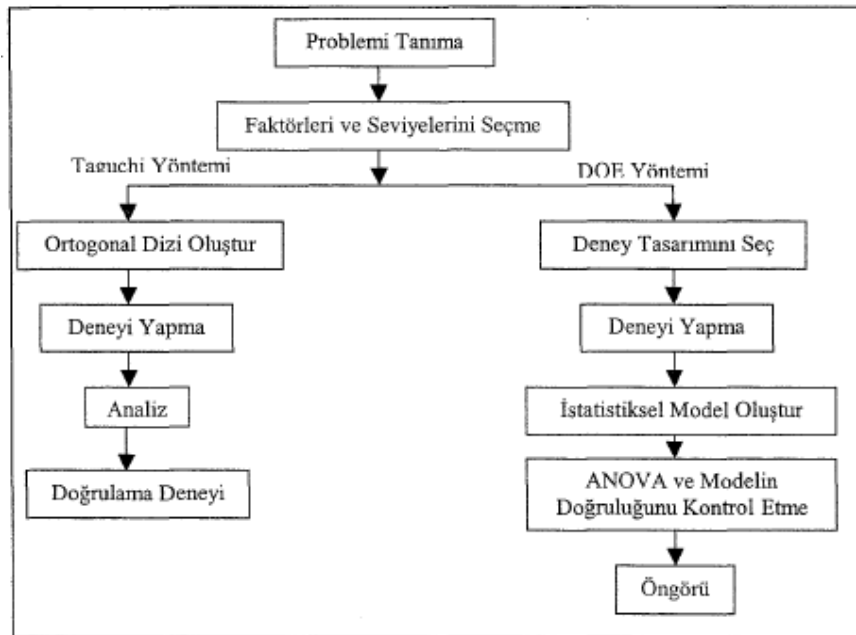
Taguchi yönteminin uygulanmasının odak noktası müşteridir. Müşterinin istediği kalite, aranan kalitedir ve bu kaliteden kaynaklanan değişkenlikler sadece müşteriler için değil, ayrı zamanda işletme ve toplum için de büyük kayıptır. Hedef değerdeki her bir birim değişkenliğin bir bedeli vardır. Bu nedenle deney tasarımında değişkenliğin en aza indirilmesi temel hedeflerden biridir. Buna ulaşılırken maliyetler de göz ardı edilmemelidir [10].

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 duyarlılığıdır. 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 [9].

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 eğitime durumundan dolayı bu anda DOE yöntemi kullanmak yeterli değildir. Bu yüzden Taguchi Yöntemi, eğitime durumunu azaltmak ve sinir ağı yanıtını etkileyen çok önemli parametreleri bulmak için kullanılır. Daha sonra, DOE Yöntemi çok sayıda önemli parametrelerin kullanımıyla kolaylıkla tamamlanabilir.

DOE Yönteminde, deney matrisi bütün faktör ve seviyelerinin kombinasyonlarının hepsini içerir. Bu yüzden, analitik aşamasında istatistiksel modelleri oluşturmak için deney verileri yeterlidir. 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 en iyi kombinasyonlarını bulmak için öngörü yapılabilir.



Şekil 4.14. Taguchi yöntemi ve DOE yöntemi

4.10. Taguchi Yöntemine Eleştiriler

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.

Taguchi tarafından savunulan kalite mühendisliği yöntemleri çabucak kabul edilmiş fakat onun istatistiksel ve istatistiksel olmayan yöntemleri bazı eleştirilere neden olmuştur [9].

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, standart veri transformasyonu yöntemlerinin, Taguchi'nin SN oranlarından nasıl daha etkin olabileceğini göstermiştir. Box, Taguchi'nin robust tasarım yaklaşımında ardışık araştırmaların yetersizliğine değinmiştir. Ayrıca Taguchi'nin tasarım seçimindeki kısıtlamaları bulunduğunu ifade etmiştir. 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 ayan 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 ayarım belirlemek için yapılan deney, diyelim ki yanıt değişkeninin değerini maksimize etmek gibi ise, etkileşim etkilerinin tümü sıfır olmadıkça, böyle bir yaklaşım ister istemez çalışmayacaktır.

Taguchi'nin robust parametre tasarımı yaklaşımıyla ilgili beş önemli eleştiri bulunmaktadır. Bunlar; [9]

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

Taguchi'nin SN oranları hakkında da pek çok eleştiri ve alternatifleri içeren çalışmalar yapılmıştır. Box özellikle yanıtın hedef değeri olduğu durumlar için SN oranının yerini alacak bir yaklaşım geliştirilmiştir. 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 yanıtta 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.

Taguchi tarafından önerilen tasarımlar kontrol değişkenleri arasındaki etkileşimin öngörülmesini sağlamaz. İç ve dış dizilerde kontrol ve gürültü faktörlerinin kullanılması ortogonal dizi kullanımı maliyet açısından avantajlı olmasına rağmen deneyin birçok defa tekrarlanmasını gerektirmektedir.

BÖLÜM: 5. ÇOK YANITLI PROBLEMLER

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 [9].

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; bazıları ise birimin düşük kapasite ile çalışmasına yol açar. İşte farklı görev/performans seviyeleri olabilen sisteme çok-durumlu sistem (MSS:Multi-State System) denir. 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 yada 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 [9].

Çok yanıtli bir problemde en önemli amaç, tüm yanıtların hedeflerini karşılamak ve tüm yanıtların değişebilirliğini eşzamanlı olarak en küçük 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 [9].

Çok yanıtli bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle yanıt değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Yanıtlar arasında var olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda. Birden çok yanıt fonksiyonu eş zamanlı olarak eniyelenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyelerin elde edilmesi anlamsızdır [37].

Çok yanıtli problemde görev, eşzamanlı olarak bir kaç yanıtı eniyileyen tasarım değişkenlerine ait değerler kümesini bulmaktır. Örnek olarak, toplam ağırlığın ve malzeme maliyetinin asgariye indirilmesi, ele alınabilir. 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 eniyelenir ve varyanslar en küçükleir. Bu yine de zor bir problemdir ve bu konuda az sayıda teknik geliştirilebilmiştir [38].

Çok yanıtli mühendislik problemlerine bir yaklaşım da tek tek yanıtları birleştirici hedefte kombine etmektir. Yarar teorisinde çoklu hedef tekniklerini karşılaştırmak ve eleştirmek için bazı karakteristikler kullanılır. Bunlar riski önlemek, marjinal ikame oranları ve birleştirilmiş fonksiyondaki yanıtların ilişkileridir. Kullanıcı tarafından bilinmese de, çoklu yanıt teknikleri bu karakteristiklerle ilgili kuvvetli varsayımlar taşırlar. Kros ve Mastrangelo'nun, çalışmalarında bu karakteristiklerin dört-çok yanıtli yöntemle ait eniyi yanıt üzerine olan varsayımları aydınlatılmaktadır [39].

Çok yanıtli bir deneyden elde edilen verilerin analizi, verilerin çok değişkenli yapısının dikkatli bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Diğer bir deyişle, yanıt

değişkenleri bireysel ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Yanıtlar arasında var olabilecek ilişkiler, bu tip tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olur. Bu durumda, birkaç yanıt fonksiyonu eşzamanlı olarak eniyilenmek isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır. Bir yanıt için 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 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 [25].

5.1. Çok Yanıtlı Problemler İçin Eniyileme Prosedürü

Çok yanıtlı prosesleri en iyi şekilde kullanmak için Taguchi Yöntemi'nin uygulanması aşağıdaki düşünceleri içerir; [40]

1. Çoklu durumlarda nitelik ve kayıp fonksiyonları, her bir yanıt için daima farklıdır. Bu nedenle, her bir yanıt için kayıp, doğrudan karşılaştırılamaz ve toplanamaz.
2. Çoklu durumlarda ölçü birimleri, her bir yanıt için farklıdır. Dolayısıyla, her bir yanıtın her biriminin neden olduğu kayıp farklı olabilir.
3. Çoklu durumlarda önem, her bir yanıt için farklıdır.
4. 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; [40]

Aşama 1: Kalite kaybını hesaplamak

Aşama 2: Çok yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) oranını belirlemek

Aşama 3: En iyi faktör/seviye kombinasyonunu belirlemek.

Aşama 4: Doğrulama deneyinin yapılması

Bu aşamalar birer alt başlık altında açıklanmaktadır. [9]

5.1.1 Kalite kaybını hesaplama

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

Daha küçük daha iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_1 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (5.1)$$

Daha büyük daha iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_2 \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (5.2)$$

Nominal en iyi yanıtı için,

$$L_{ij} = k_3 \left(\frac{s_{ij}}{\bar{y}_{ij}} \right)^2 \quad (5.3)$$

Burada;

L_{ij} = j. denemede i. yanıtın kaybı

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

n_i = i. yanıtın tekrar sayısı

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk} \quad (5.4)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2 \quad (5.5)$$

k_1, k_2, k_3 = kalite kayıp katsayılarıdır.

Nominal en iyi kalite karakteristiği için Taguchi, SN'i

$$-10 \log_{10}(MSD) = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2 + (\bar{y} - T)^2 \right] \quad (5.6)$$

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

$$SN = -10 \log_{10} \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (5.7)$$

$1/n \sum (y - \bar{y})^2$ ve $(\bar{y} - T)^2$ 'nin ikisini de en küçüklenmesini gerektirmeyen $SN = -10 \log_{10}(MSD)$ 'yi en büyükleyen en iyi faktör seviyelerini seçmek ana nedendir. Denklem (5.7) herhangi bir proses için istenen özellik olan SN'nin en büyüklenmesi s^2/y^2 'nin en küçüklenmeye uygun olması gerektiğini gösterir. Sonuç olarak nominal en iyi yanıt için kalite kaybı aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$L = k \left(\frac{s^2}{y^2} \right) \quad (5.8)$$

5.1.2 Çok yanıtlı Sinyal-Gürültü (MRSN) oranını belirleme

Varyasyonun azaltılmasında ilk olarak, her yanıtın kalite kaybının ölçüsünü (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 yanıtı uygun bir ağırlık verilir. En sonunda, MRSN oranı da TNQL'a dayanarak hesaplanır. Bu üç adım aşağıdaki gibi özetlenir;

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

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*}, \quad L_i^* = \max\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\} \text{ dir.} \quad (5.9)$$

Adım 2: Her deneme için normalleştirilen kalite kaybını hesapla.

$$TNQL_j = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \quad (5.10)$$

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

Adım 3: Her deneme için MRSN oranı belirle.

$$MRSN_j = -10 \log_{10}(NTNQL_j) \quad (5.11)$$

5.1.3 Eniyi faktör/seviye kombinasyonunu belirleme

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

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 faktörü olarak seçilebilir. Birincisi, nominal en iyi karakteristikler için, MRSN'de anlamlı etkiye sahip olmayan, fakat ortalama yanıt üzerinde anlamlı etkiye sahip olan herhangi bir faktör, ayarlama faktörü olarak seçilebilir. İkincisi, ayarlama faktörü, ortalamayı hedef değere getirmek için kullanıldığı zaman, kalite karakteristiklerinin iyileştirildiği yön, daha küçük daha iyi ve daha büyük daha iyi durumlarının amacını eşzamanlı olarak karşılamalıdır. MRSN' de anlamlı etkiye sahip olmayan, onun (aday faktörün) kalite karakteristiği için ortalama yanıt üzerinde etkiye sahip olan ve diğer kalite karakteristikleri için ortalama yanıt üzerinde bir etkiye sahip olmayan herhangi bir faktör 4. durum için ayarlama faktörü olarak seçilebilir.

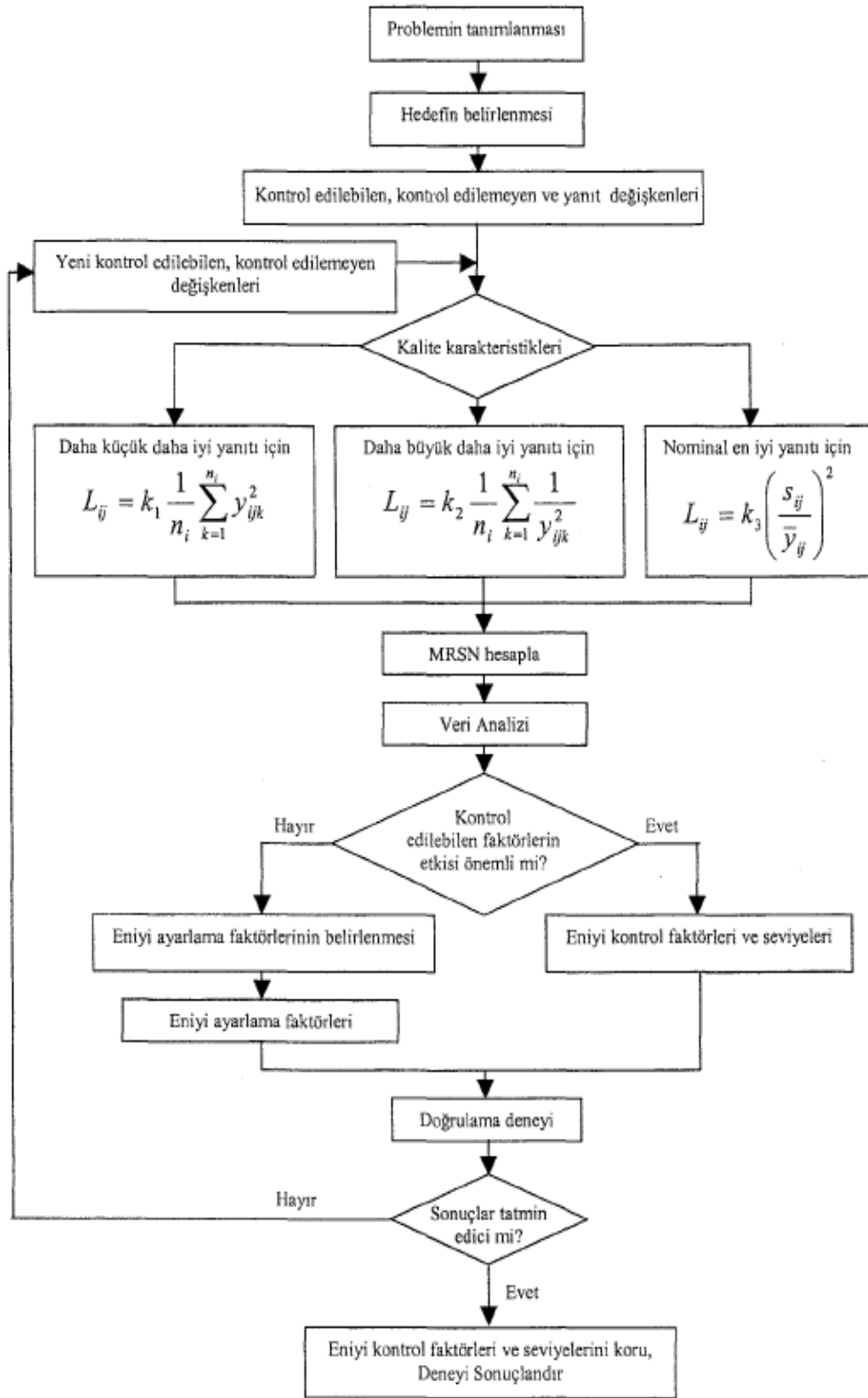
Çok yanıtlı bir problemde eniyi ayarlama faktörlerini belirlemek için ana noktalar (guidelines) yukarıda verilmiştir. Bu ana noktalardan, eniyilenecek çok yönlü

karakteristikler olduğu zaman, eniyi ayarlama faktörlerini belirleme işleminin daha karışık hale geldiği sonucu çıkarılabilir. Bazen, uygun ayarlama faktörleri seçmek için gerekli ödünleşimler (trade-offs) yapılmalıdır. Bununla birlikte, ayarlama faktörlerinin seçiminde Phadke; uygun şekilde değiştirilebilen bir ayarlama faktörünün bulunmasının ortalamayı tam hedefe getiren ayarlama faktörünün seviyesini bulmaktan daha yüksek önceliğe sahip olduğunu, vurgular.

5.1.4 Doğrulama deneyinin yapılması

Eniyileme prosedüründe doğrulama deneyi için MRSN değeri olan temel sınırlama, denklem (5.11) kullanılarak hesaplanamaz. Bununla birlikte, gözlenen MRSN ile öngörülen değerin karşılaştırılması o kadar önemli değildir. Doğrulama deneyi, deneyde elde edilen eniyi durumun gerçekten bir iyileştirme sağladığını kanıtlamak için yapılır. Eğer her bir yanıt için gözlenen ve öngörülen SN oranları birbirlerine yakınsa, üzerinde deney yapılan toplamalı modelin (additive model) iyi bir öngörü olduğuna karar verilebilir. Sonuç olarak, önerilen 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 kuşulanılır. Bu durumda, istenen amacı başarmak için başka bir deney yapmak gerekebilir.

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. 5.1' de verilmiştir.



Şekil 5.1: Taguchi Yöntemi'nde çok yanıtlı problemler için eniyileme prosedürü[9]

BÖLÜM 6. TAGUCHİ YÖNTEMİ'NİN ALKOLLÜ İÇKİLER SEKTÖRÜ'NDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMADA FERMANTASYON PROSESİ ÜZERİNDE UYGULANMASI

6.1. Uygulamanın Yapıldığı Firma Hakkında Genel Bilgi

Uygulamanın yapıldığı firma Türkiye'nin önde gelen alkollü içkiler üreticilerinden biridir. Ürünleri arasında rakı, votka, cin, likör, şarap bulunmaktadır. 5 farklı ildeki fabrikalarında üretilen bu ürünlerin yanı sıra 4 farklı ilde rakının hammaddesi olan suma ve votkanın hammaddesi olan Extra Nature Alcohol (ENA) üretimi yapılmaktadır. Ayrıca 1 fabrikasında rakıda esans olarak kullanılan anason tohumu işleme yapılmaktadır. %5 Türk %95 Amerikan ortaklı bir firmadır.

En önemli hammaddesinin üzüm olması dolayısıyla en önemli tedarikçileri arasında üzüm üreticileri gelmektedir. Ayrıca belli yasal sınırlar içinde ve üretim kapasitesine göre etil alkol alımı da yapmaktadır. Yurtiçinde çok geniş satış ve dağıtım ağına sahip olan firma ayrıca ihracat da yapmaktadır. Hızlı Tüketim Malları Sektörü (FMCG) yer almaktadır.

6.2. Etil Alkol Üretimi ve Fermantasyon Prosesi Hakkında Genel Bilgi

Firmada etil alkol üretimi için işlem sırası aşağıdaki gibidir.

- 1) Üzüm işleme
- 2) Fermantasyon
- 3) Suma distilasyon

6.2.1. Etil alkol üretimi

Alkol, hidrojen atomunun hidroksil grubu ile yer değiştirdiği hidrokarbon bileşimlerinin genel adıdır. Alkol kelimesi genel olarak kimyada etil alkolü

(C₂H₅OH) belirtmek için kullanılır. Etil alkolün dışında bir dizi başka alkolde bulunduğundan , bilimsel tanımlamalarda alkol kelimesi yalnız başına kullanılamaz. Alkoller türedikleri alkanın sonuna -ol eki getirilerek adlandırılırlar. Konuşma dilinde ise yanlış olarak farklı alkolleri de belirtmekte kullanılır. Örneğin ; sağlığa zararlı metil alkol için alkol kelimesi yanlış anlamlara ve zehirlenmelere sebep olabilmektedir. Halk arasında ispiroto olarak bilinen etil alkol , şekerli ve şekere dönüştürülebilen ham maddelerin fermantasyonu sonucu oluşan alkollü maişenin damıtılması ile elde edilir [41].

Etil alkol en iyi bilinen alkoldür. Bütün alkollü içeceklerin esas maddesidir. Etil alkol aynı zamanda alkol, etanol, tane (hububat) alkolü, fermantasyon alkolü, etil hidroksit ve metil karbinol olarak da adlandırılır. Ticari olarak etil alkol büyük miktarlarda, şeker sanayiinde bir yan ürün olan melastan elde edilir. Burada melas maya ile fermente edilir. Bu şekilde elde edilen alkol, melas alkolü olarak adlandırılır. Alkol aynı zamanda nişastadan genellikle mısır nişastasından fermantasyonla da elde edilir. Bu yöntemde nişasta önce maya ile şekerle hidroliz edilir ve elde edilen şekerler alkole ve CO₂'e maya etkisi ile dönüştürülür. Bu işlem sırasında yan ürün olarak CO₂ oluşur. Bu şekilde elde edilen alkol ise hububat alkolüdür [41].

6.2.2. Fermentasyonla alkol eldesi

Fermentasyon; alkol, yoğurt, sirke, boza, turşu, ekmek, peynir gibi adı hemen akla gelen, gerçekte türü bunlarla sınırlı olmayan bir çok gıda maddesi üretiminde uygulanması gereken bir işlemdir. Halk dilinde karşılığı “mayalanma” ve “ihtimar”dır. Genel anlamda fermentasyon; üretimi amaçlanan ürünün elde edilmesi için fermantasyonu gerçekleştirilecek, maya, bakteri veya mantar gibi mikroorganizmaların faaliyetine olanak sağlayan temel bir üretim aşamasıdır. Fermentasyon koşulları, üretilecek gıda maddesinin türüne göre seçilmiş olan, fermantasyonu gerçekleştirecek mikroorganizma talebine bağlı kalınarak oluşturulur. Örneğin: alkol üretiminde “alkol mayasının”, sirke üretiminde “sirke bakterisinin” faaliyeti istenir ve fermentasyon ortamı bu mikroorganizmaların talebine uygun hale getirilir. Fermentasyon üretilecek ürüne veya fermantasyonu yapan mikroorganizma

türüne göre adlandırılır. Örneğin: alkol fermantasyonu, ekmek mayası fermantasyonu, sirke fermantasyonu gibi.

Fermantasyon ortamında çalışan mikroorganizma, üremesi ve beslenmesi için ortamda bulunan ve kendisi için gıda maddesi olan maddeyi tüketir ve bu esnada da, fermantasyondan beklenen ürünü, yan ürün olarak meydana getirir. Örneğin: alkol fermantasyonunda maya, ortamda bulunan şeker maddesini tüketirken, yan ürün olarak alkol meydana getirmektedir.

6.2.2.1. Alkol fermantasyonunu etkileyen faktörler

Alkol fermantasyonunu etkileyen 9 faktör aşağıda açıklanmıştır; [42]

a. Havanın (Oksijen) etkisi: Hava veya oksijen daha çok maya üretiminde söz konusudur. Çünkü mayanın normal olarak tomurcuklanıp çoğalabilmesi için gerekli enerjinin ortamdaki şekerlerden sağlanmasında hava mutlak zorunluluktur. Fakat alkol üretiminde şekerlerin hücresel yapı yerine , alkole dönüşmesi söz konusu olduğu için hava daha az gereklidir. Ancak mayanın hızlı bir fermantasyon yapabilmesi ve ortamdaki şekerin tamamını fermente edebilmesi için yeterli enzim ve aktive olması gerekir. Buda fermantasyonun önce ve başlangıç fermantasyonu sırasında mayayı hızlı bir çoğalmaya sevk etmekle olur. Bu amaçla kesikli fermantasyon yöntemlerinde , maya çoğalma ve başlangıç fermantasyonu sırasında ortama maya için yeterli hava verilmelidir. Fakat asıl fermantasyon safhasına girildikten sonra mayanın hava ile teması gelmesi sakıncalıdır. Çünkü bu sırada ortama hava karışması , alkol üretimi yerine mayayı hücresel çoğalmaya ve fermantasyon yan ürünlerini artırmak teşvik eder.

b. Karbondioksit etkisi: Fermantasyon sırasında karbondioksit atmosferi yaratılması mayanın çoğalmasını ve fermantasyonun hızını olumlu veya olumsuz etkiler. Bunlara bağlı olarak alkol verimi de etkilenir. Araştırmacılar maya çoğalmasının 1 atm'lik CO₂ basıncında belirgin olarak önlendiğini, artan CO₂ basıncıyla gelişmenin yavaşladığını ve 20 atm üzerinde tümüyle durduğunu belirlemişlerdir. Artan CO₂ basıncı ile mayanın fermantasyon gücü önce artan, 10 atm'de en yüksek düzeye

ulaşır ve daha sonra hızla düşer. Etkilenmenin basınç nedeni ile değil, artan CO₂ konsantrasyonu ile olduğu belirtilmiştir. Bu duruma göre kapalı fermantasyon kaplarında ve CO₂ yıkayıcı sistemler kullanılarak yapılan fermantasyonlarda oluşacak CO₂ basıncının fermantasyon ve alkol verimine olumsuz etkisi olmadığı gibi, azda olsa verim artırıcı etkisi vardır.

c. Fermantasyon sıcaklığının etkisi: Alkol üretiminde alkol fermantasyonu gerçekleştirilirken maya bir canlı olduğuna göre, diğer canlılar gibi onun da sıcaklıktan olumlu veya olumsuz etkilenmesi doğaldır. Bu ise sıcaklığın fermantasyondaki önemini ortaya koyar. Bilindiği gibi alkol fermantasyonu yapan mayalar çoğunlukla 28 °C dolayında en iyi faaliyet bu sıcaklıkta gösterirler. Sıcaklık 28 °C'nin altına düştükçe faaliyet giderek yavaşlar, fakat 7 – 8 °C'de bile yavaşta olsa rahatlıkla fermantasyona devam ederler. Biracılıkta mayaların bu özelliğinden yararlanılır. Fakat alkol üretiminde amaç fermantasyonun olanaklar ölçüsünde çabuk bitmesi olduğuna göre mayanın en iyi çalışma koşulları sıcaklık yönünden de yaratılmalıdır. Sıcaklık 30 °C'nin üzerine çıkınca kimi etil alkol mayalarında 36 °C'ye kadar fermantasyon hızlanır, fakat çoğalma durur ve hücre giderek gücünü yitirir. 40 °C de ise mayalar fermantasyon yeteneklerini de önemli ölçüde yitirmiş olurlar. 25 – 30 °C arasındaki sıcaklık maya çoğalması bakımından 30 – 37 °C arasındaki sıcaklıklar ise alkol bakımından daha uygun bulunmuştur. Yüksek fermantasyon sıcaklıkları çabuk bir başlangıç fermantasyonu sağlandığından, alkol üretiminde 37 °C'ye kadar olan sıcaklıklara izin verilir. Fakat fermantasyon sıcaklığı daha da artacak olursa fermantasyon hızı düşmekte ve tüm şeker fermente edilen fermantasyon durmaktadır. Sıcaklığın tüm etkileri göz önünde bulundurularak aşılama sıcaklıkları olarak ise 30 – 36 °C arasındaki sıcaklıklar seçilir.

d. Fermantasyon sıvısının pH'sının etkisi: Fermantasyonda önemli diğer bir etken, fermantasyon sıvısının pH'sı, yani asitlik durumudur. Mayalar çoğunlukla zayıf asit ortamda gelişip, faaliyet gösterirler. Çok düşük (pH = 2.8'in altında) ve yüksek pH'larda olumsuz etkilenirler. Alkol üretiminde pH bakımından maya çoğaltma ve asıl fermantasyonda değişik değerler söz konusudur. İşletme mayası üretiminde, mayalık maişe asitlendirilerek çoğunlukla pH'sı 3.5 dolayına getirilir. Sülfürik aside mayanın muamele edilerek yeniden kuvvetlendirilip, fermantasyonda kullanıldığı

yöntemde ise pH 3.0, hatta 2.8'e kadar düşürülür. Fermantasyonda ise pH biraz daha yüksektir. Genellikle alkol fermantasyonunda pH en uygun olarak 3.8 – 4.2 arasında bulunur ve bu hammaddeye göre çok değişir. Fermantasyonda pH özellikle nişastalı hammaddelerin işlenmesinde önem kazanır. Çünkü son şekerlenme ile nişastanın parçalanması, fermantasyon sırasında da sürer ve pH bu parçalanmayı yapacak enzimlerin çalışmasına uygun olmalıdır. Buradaki değerler daha çok olgun maişenin, yani fermantasyonu bitirmiş maişenin pH'sının 4.2'nin altına düşmemesi gerekmektedir.

e. Aşılama oranının etkisi: Fermantasyonda aşılama oranı önemli olup, uygulanan fermantasyon yöntemlerine göre değişir. Aşılama mayası miktarı kullanılan maişeyi kısa sürede ve hızla fermante ederek, tüm şekeri arzulanan süre içinde alkole dönüştürecek düzeyde olmalıdır. Düşük oranlı aşılama oranlarında maya ortamındaki şekeri fermante edebilmek için önce yeterli oranda çoğalmaktadır. Başlangıç fermantasyonu bu nedenle yavaş seyreder ve uzun sürer. Bu ise bulaşmalara neden olabileceği gibi, hem şeker ve hem de zaman kaybı demektir. Bir çok işletmede hala maya çoğaltma ile çalışılmakta olup ön fermantasyondan elde edilen fermantasyon mayası üzerine kademeli olarak mayaya verilerek fermantasyon yapılır. En yüksek alkol verimi %1.2'lik aşılama ile elde edilir. Bu nedenle %1.2 (MKM)lik aşılama oranı en uygun olarak kabul edilmiştir. Ayrıca maya işletmede çoğaltılmayıp, preslenmiş maya olarak dışarıdan alınıyorsa aşılama oranı biraz daha fazla maya kullanılır. Aşılama oranı, uygulanan fermantasyon yöntemine göre de çok farklı olur. Örneğin, nişastalı hammadde alkol üretiminde üç günlük fermantasyon uygulanırsa aşılama oranı, işletme mayası olarak, maişenin %4-5'i, iki gün fermantasyonunda %8 – 10'u ve bir buçuk gün fermantasyonunda %12 – 15'i oranındadır.

f. Maya suşu etkisi: Alkol fermantasyonunda kullanılan maya suşu maişenin fermantasyonunu önemli ölçüde etkilemektedir. Kullanılacak maya, mayada bulunan şekerleri fermente etme yeteneğinde olmalı ve ayrıca fermantasyonu istenilen süre içinde bitirebilmelidir.

g. Maişe (şeker) konsantrasyonunun etkisi: Fermantasyonda kullanılan maişenin maya üzerine olan ozmotik basıncı fermantasyonda çok önemli etkiye sahiptir. Maya fermantasyon sırasında ortamdaki şeker alkole dönüştürürse de şeker konsantrasyonu arttıkça ozmotik basıncında artması sonucu mayaya yavaşlatıcı ve hatta durdurucu etki yapar. Böylece maişedeki şeker konsantrasyonunun üst sınırını belirlemek çok önem kazanır. Bu sınır sakkaroz cinsinden %17,5 şeker miktarı olarak saptanmıştır. Şekerinin tümünün ortalama başlangıçta verilmesi yerine, fermantasyon sırasında aşamalı olarak verilmesi ile verim artışı sağlanmaktadır. Nişastalı hammaddelerde maişe konsantrasyonunun üst sınırı %20 olarak saptanmıştır.

h. Alkol konsantrasyonunun etkisi: Fermantasyon sırasında oluşan alkolün maya üzerine ozmotik basıncı önemlidir. Örneğin, %20 hacim alkol 0 °C'de 84,4 atmosferlik bir ozmotik basınca sahiptir. %20'lik sakkaroz eriyiğinin ozmotik basıncı ise bunun yaklaşık 1/5'i kadardır. %17,5 sakkaroz eriyiğinin ozmotik basıncı yaklaşık 18 atmosfere, bunun fermantasyonu ile oluşan %11,2 hacim alkolün ozmotik basıncı ile 50 atmosfere yakındır. Bu nedenle etil alkol üretiminde kullanılan mayaların alkol veriminin artması, ozmotik basınca karşı iyi bir dayanma yeteneği göstermeleri ile olanaklıdır. Çoğunlukla mayalar, alkol konsantrasyonu %11'in üzerine çıkınca fermantasyon faaliyetlerini yavaşlatırlar ve bu nedenle maişe konsantrasyonu, yapacağı alkol miktarı %8-10 olacak şekilde ayarlanmalıdır.

1. Besin maddelerinin etkisi: Alkol üretiminde kullanılan bazı hammaddeler maya besini bakımından yetersiz olabilirler. Bu durumda maya fermantasyon sırasında yeterli besini bulamayacağı için hem başlangıç fermantasyonunda, hem de asıl fermantasyonda yeterince çoğalıp etkinlik kazanamaz ve fermantasyon aksar. Maya besini olarak en çok azotlu ve fosforlu maddeler söz konusudur.

6.2.2.2. Kuru üzümünden alkol eldesi

Alkol üretiminde küçük taneli, yemeklik olmayan çekirdekli üzümler kullanılır. Ülkemizde çekirdeksiz Sultaniye kuru üzümleri de kullanılmaktadır. Bu kuru üzümlerin şekerinin %50-60 gibi yüksek oranda ve su miktarının, %14 ve yabancı

madde miktarının, %1'in altında olması istenir. Kuru üzümünden alkol eldesi aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilir; [42]

1. Öğütme
2. Maişeleme
3. Fermantasyon
4. Damıtma

Öğütme: Üzümler işletmeye 50-60 kiloluk çuvallar ile getirildiği için baskıdan dolayı topaklanmış kitlenin önce dağıtılması gerekir. Bu amaçla püskürtülen basınçlı su kısmen bir yıkamayı da sağlar. Bundan sonra üzümler elevatörler ile kıyma makineleri gibi çalışan parçalama değirmenlerine gönderilir. Üzümlerin değirmene bulaşmaması ve topraklanmaması için az miktarda su sürekli olarak verilir. Kıyılarak parçalanmış üzümler özel maişeleme kazanlarına (melanjör) gönderilir.

Maişeleme: Karıştırma, soğutma ve ısıtma düzenlerine sahip olan melanjörlerde yapılır. Melanjöre alınan her bir birim üzüm için dört birim su ilave edilir. Maişeleme sıcaklığı 22-25⁰ C'a ayarlanır ve bu sıcaklıkta devamlı karıştırılmak suretiyle 30 dakika tutulur. Elde edilen maişenin şeker konsantrasyonu 15-16 Balling'e ayarlanır ve fermantasyon kaplarına gönderilir.

Fermantasyon ve distilasyon: Fermantasyonda saf maya kullanılır. Çeşitli kaynaklardan sağlanan saf kültürler, laboratuvarlarda üzüm şırası içinde 5 L'ye kadar çoğaltılır. Bu aşamadaki çoğaltma işlemi basamaklı olarak 50, 150, 500, 5000 ml pastörize edilmiş şıraya yapılır. Mayanın düzenli çalışmasını sağlamak ve enfeksiyonu önlemek amacı ile mayalık maişeye %0,1 oranında H₂SO₄ katılarak pH=3,5 civarına düşürülür. Maişeye aynı zamanda maya besini olarak %0,1 oranında (NH₄)₂SO₄ verilir.

Önceden hazırlanan 5 L maya ile aşılama yapılarak çoğaltılma işlemine başlanır. Bome derecesi yarıya düşünce bu maya aynı şekilde hazırlanmış 250 L'lik kaptaki maişeye aşılanır. Burada yeterli çoğaltma sağlandıktan sonra 500 L'lik çoğaltma kabına gönderilir. Bu şekilde 500 L'ye çoğaltılan maya 5 tonluk ön fermentasyon

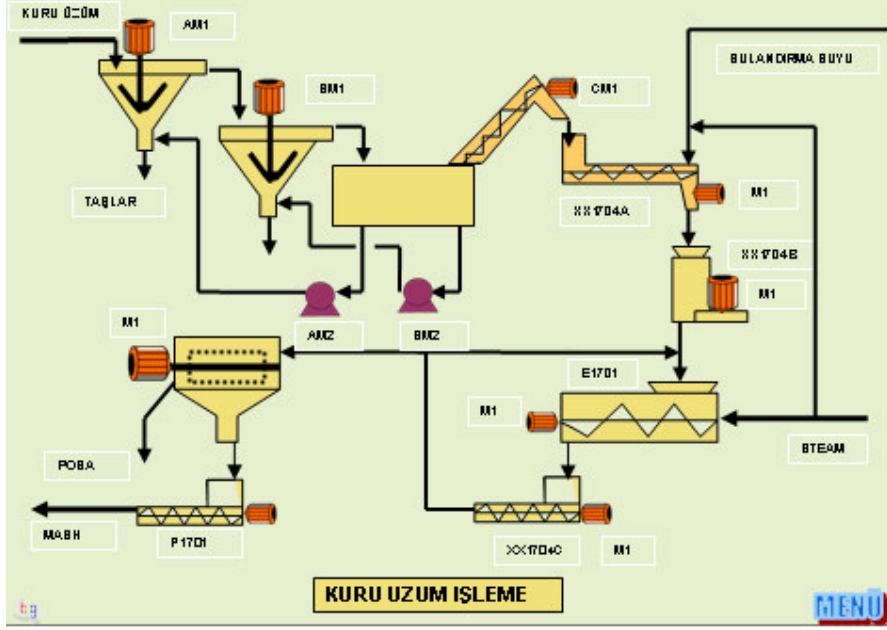
kabına gönderilir. Maişeleme kazanından buraya gönderilen normal kuru üzüm maişesi asit ve besin maddesi katıldıktan sonra sterilize edilir, soğutulur ve 500 L maya ile aşılanarak çoğaltma işlemi son aşamaya gelmiş olur.

Fermantasyon kaplarına (5 – 50 tonluk) gelen maişe bekletilmeden hemen daha önce hazırlanmış olan maya ile aşılanır. Fermantasyonun gidişi balling veya benzeri bir areometre ile kontrol edilir ve balling derecesi 6-6,5'e düşüncü, hazırlanan ikinci parti maişe katılır. Bu işlem kap doluncaya kadar sürdürülür. Toplam fermantasyon üresi 50 – 60 saat, fermantasyon sıcaklığı, 28 – 31 °C olur. Fermantasyon, balling derecesi sıfıra düşüncü sona erer. Fermantasyonu bitiren %8 alkollü maişe kaba tortunun dibe çökmesi için 8 – 10 saat dinlendirilir ve sonra damıtmaya gönderilir. Kuru üzüm etil alkol üretiminde kullanılan fermantasyon kaplarının kapalı olması fermantasyonun kontrolünü, temizlik ve alkol kaybının olmaması gibi yararlar sağlar.

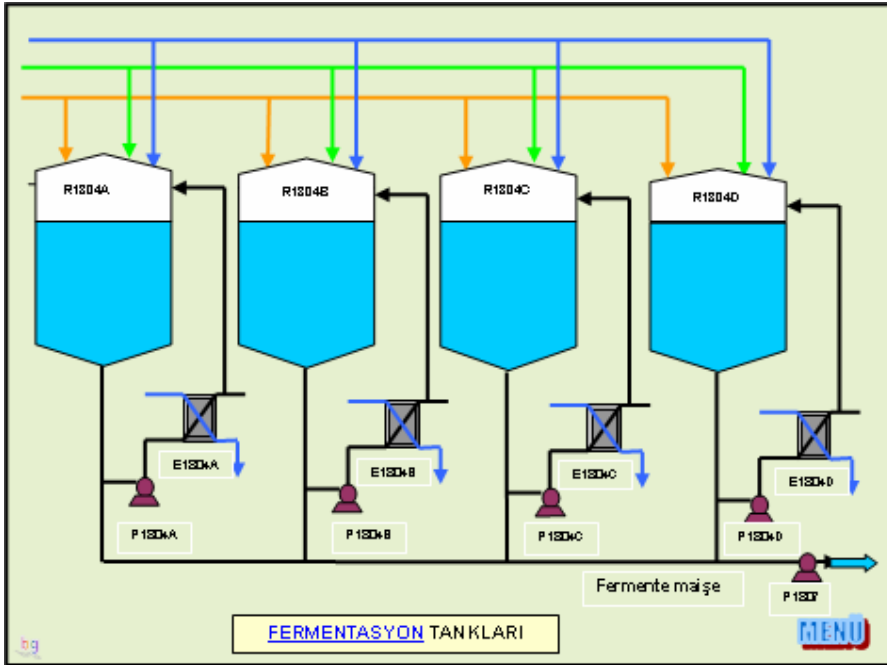
Fermantasyon sırasında sürekli izlenen parametrelerden en önemlisi fermantasyonun sıcaklığıdır. Alkol fermantasyonu ekzotermik bir olay olduğundan sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Sıcaklığın fazla yükselmesiyle alkol fermantasyonunda aksamalar ve alkol kaybına neden olabilir. Bu sakıncaları önlemek için fermantasyon kaplarının soğutma sistemleri ve karıştırıcı monte edilmelidir. fermantasyon genellikle 22 – 25 °C başlatılır ve zamanla sıcaklık yükselerek 28 – 30 °C'ye çıkar. Bu sıcaklık aralıkları en uygundur. Soğutma sistemi ile sıcaklığın 30 °C'yi geçmemesi ve karıştırıcı sistemi ile de fermantasyon sırasında sıvı yüzeyinde şapka denen cibre tabakası oluşmaması sağlanır.

Fermantasyon sırasında izlenen diğeri bir parametre şeker konsantrasyonudur. Fermantasyonu alınan kuru üzüm maişesinin şeker konsantrasyonu %13-17 olacak şekilde ayarlanmalıdır. Maişenin şeker konsantrasyonuna bağılı olarak maişede oluşacak alkol miktarı da değışir. Fermantasyonun bitişi şeker konsantrasyonunun sıfır olmasıyla anlaşılır. Fermantasyon sırasında maişenin genel ve uçar asidi de izlenmelidir. Normal koşullarda özellikle uçucu asit oluşumu çok az oluşur. İspirtoculukta fermantasyon sonunda oluşan uçucu asit miktarı 0,3 g/L'den fazla olmamalıdır. Firmadaki fermantasyon akış şeması Ek-B1 ve Ek-B2'de verilmiş,

üzüm işleme ünitesi ve fermantasyon ünitesi de Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Kuru üzüm işleme ünitesi



Şekil 6.2: Fermantasyon ünitesi

6.2.2.3. Fermentasyon ürünleri

1) Temel ürünler: [42]

Etil alkol: Fermentasyonun temel ürünü olan etil alkole ilişkin bilgiler daha önceki bölümlerde verilmiştir.

Karbondioksit: Fermentasyonda maya tarafından tüketilen her 100 gr besin maddesinden 48.86 gr karbondioksit meydana gelir. Havadan ağır olduğu için dibeye çökerek tabaka oluşturur. Bu tabakanın içine giren canlı boğularak ölür. Bazı alkol işletmelerinde toplanıp sıvı veya katı hale getirilerek geri kazanılmaktadır. Karbondioksit renksizdir, gıcıklayıcıdır, kokusu ve tadı asidiktir.

2) Yan ürünler: Fermentasyon ortamında bulunan karbonhidratın maya tarafından besin maddesi olarak tüketilmesi esnasında, mayanın metabolizma faaliyetleri sonucu meydana gelen organik maddelerdir.

Gliserin: Fermentasyonda, mayanın tükettiği her 100 gr besin maddesinden yaklaşık 3 gr gliserin meydana gelir. Distilasyonda uygulanan sıcaklık derecesinde buharlaşmadığı için distilata geçemez.

Fuzel yağı: Tek bir madde olmayıp, Fermentasyonda meydana gelen ve kaynama sıcaklıkları 80 – 160 oC arasında değişen yan ürünlere verilen addır. Bu kapsamda yer alan 50'ye yakın madde saptanmıştır. Fuzel yağında nitel olarak en çok yüksek alkol bulunur. Fermentasyonda kullanılan tarımsal hammaddenin türü, oluşacak ve fuzel yağ olarak adlandırılacak maddelerin niteliği ve niceliği üzerinde belirleyicidir.

Asetaldehit: Etil alkolün oksidasyon ürünüdür. Fermentasyonda etil alkol oluşumuna kadar uzanan aşamalı reaksiyonda, etil alkolden hemen önce meydana gelen maddedir. Yanıcı ve renksiz bir sıvıdır.

Süksinik asit: Canlı organizmaların tümünde bulunan kokusuz ve kuvvetli asidik tadı olan bir asittir.

3. Refakatçi ürünler: Bu maddeler, fermentasyon öncesinde uygulanan ön hazırlık işlemleri ve Fermentasyon esnasında, ortamda bulunan maya dışındaki mikroorganizmalar, özellikle bakteriler tarafından meydana getirilir. Meydana gelişleri ile mayanın metabolizma faaliyeti arasında ilişki yoktur.

Asitler: Fermantasyon ortamında bulunan ve enfeksiyon olarak nitelenen bakteriler tarafından meydana getirilen “asetik asit”, “laktik asit”, “süt asidi” ve “butirik asit” türü asitlerdir. İçkiye asidik tat verirler. Etil alkolün tat üzerindeki etkinliği, dengeleyici rolleri de vardır. Butirik asit, maya için kuvvetli bir toksik maddedir.

Esterler: Alkol ve alkollü içki üretiminde fermantasyon, distilasyon ve eksitme aşamalarında alkollerle asitlerin reaksiyona girmesi ile meydana gelir. Beğenilen kokuları ile içkiye aroma verirler. İçkilerde miktar olarak istinasız en çok bulunan ester “etilasetat” dır. Bu esterin de itici olmasına karşın hoş gidecek bir kokusu yoktur.

Metil alkol: Tarımsal hammaddede bulunan poligalaktronik asidin metil esterinin (pektin) pektin esteraz enzimi tarafından parçalanması sonucu oluşur. Meydana geldiği üretim aşaması ise; fermantasyon öncesi yapılan ön hazırlık (Mayşeleme) ve fermantasyondur. Ön hazırlık ve fermantasyon süresi uzadıkça metanol oluşumu artar. Kolay buharlaşan ve buharlaşma sıcaklığı 64.7 oC’dir. Toksik ve narkotik bir maddedir.

Akrolein: Temizlik ve dezenfeksiyona özen gösterilmediği için her türlü yüzeyde yaşayan bakterilerin fermantasyon ortamına bulaşması ve bu bakterilerin gliserini parçalayarak akrolein oluşturması nedeni ile, alkol ve alkollü içkide akrolein bulunması, bir üretim hatası olarak kabul edilmektedir. Akrolein bayır turpunu çağrıştıran tadı ve iğneleyici ama buna karşı beğeneni de olan bir kokuya sahip, toksik bir maddedir.

Asetal: Fermantasyonun yan ürünü olan aldehitlerin alkollerle reaksiyona girmesiyle meydana gelirler. Asetaldehitin etil alkolle reaksiyona girmesiyle oluşan ve alkollü içkilerde en çok bulunan “dietylasetal” alkollü içkiye çiçeksi aroma verir.

6.3. Taguchi Yönteminin Uygulanması

6.3.1. Problemin belirlenmesi ve çalışma ekibinin kurulması

Fermantasyon süreci yukarıda da anlatıldığı gibi bir çok faktörün etkisi altındadır. Bunların bir kısmı kontrol edilebilir bir kısmı kontrol edilemeyen faktörlerdir. Uygulamanın yapıldığı firmada, rakının hammaddesi olan suma da üretilmektedir. Tesis entegre bir tesis olup üzüm işlemeden rakı üretimine kadar tüm proses sürekli

olarak devam etmektedir. Rakı firmanın diğer fabrikalarında da üretilmektedir. Dolayısıyla 2 fabrika arasındaki farklılık rakı tadında ayırt edilebilir farklar yaratmakta, müşteri gözünde ürünler arasında ayırım olduğu düşünülmektedir. Bu farkın rakı hammaddesi olan sumadan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Uygulamanın yapıldığı fabrikada suma spek dışı çıkmakta ve diğer fabrikalardan alınan sumalarla paçal yapıp spek içine taşınmaktadır. Paçallama yüksek maliyetli ve uzun zaman alan bir işlemdir. Ayrıca yine spek içinde çıkmama riski fazladır.

Problem belirlenirken suma oluşumu düşünülmüş ve yine sorunun önemli bir kısmını suma hammaddesi olan fermente maişenin oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca suma üretiminde kapalı bir sistem olan distilasyon sürecine çok fazla müdahale edilemeyeceğinden dolayı hammaddenin eniyilenmesi yoluna gidilmiştir. Fermantasyon süreci ve ona etki eden faktörler çok nettir ve literatürde açıkça tanımlanmıştır. Dolayısıyla problem belirlendikten sonra faktörleri belirlemek zor olmamıştır.

6.3.2. Faktör ve seviyelerin belirlenmesi

Yapılan çalışmada fermentasyon prosesi sonucu ortaya çıkan fermente maişenin analiz değerlerine etki ettiği düşünülen kontrol edilebilir faktörler ve hammaddenin özelliklerine bağlı olarak değişebilen kontrol edilemeyen faktörler belirlenmiştir.

Faktörler belirlenirken, genel olarak tüm fermantasyon proseslerinde çıktıya etki eden faktörler üzerinde tartışılmış ve alkol fermentasyonuna özellikle etkisi büyük olan 4 faktör seçilmiştir. Tüm faktörler üçayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deney bu üç seviyeli dört kontrol faktörünü içeren bir yapıda $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi kullanılarak ve 9 deney yapılarak yürütülmüştür. Belirlenen faktörler ve seviyeleri Tablo 6.1’de verilmektedir.

Seviyeler belirlenirken ise bazı faktörlere belli aralıklar verilmiştir. Özellikle kimyasal reaksiyonların olduğu prosesler için seviyelerin aralık değerler içinde ve +/- toleranslarla belirlenmesi normaldir. Özellikle ısı için geçerlidir, çünkü gerçekleşen reaksiyonun etkisiyle kapalı sistem içinde ısı açığa çıkar ve ısı düzeyini etkiler. [43]

Tablo 6.1: Kontrol faktörleri ve seviye değerleri

FAKTÖRLER		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
1	A: Maya Miktarı (gr)	200	500	700
2	B: Fermantasyon Isısı (°C)	30-32	33-34	35-36
3	C: Fermantasyon Süresi	24-28	28-32	32-36
4	D: Üre Miktarı (mg)	0	8	16

6.3.3. 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 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 faktöre ait seviye sayısı olmak üzere i. faktörün serbestlik derecesi

$$v_i = k_i - 1 \quad (6.1)$$

dir. Eşit seviyede n faktörün toplam serbestlik derecesi de

$$v_T = \sum v_i = n v_i = N - 1 \quad (N \text{ toplam deneme sayısı}) \quad (6.2)$$

eşitliğinden bulunur. Buna göre dört faktörün hepsi üç seviyeli olduğundan her faktörün serbestlik derecesi eşittir. Örneğin, A faktörünün serbestlik derecesi v_A ve seviye sayısı k_A olsun. Buna göre A faktörünün serbestlik derecesi $v_A = k_A - 1 = 3 - 1 = 2$ olarak bulunur. Bu deney için bütün faktörlerin serbestlik dereceleri birbirine eşit ve 2 olduğundan 4 faktörün toplam serbestlik derecesi olan v_T de aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$v_T = \sum v_i = 4 * 2 = 8$$

Bu koşullarda üç seviyeli ve 8 serbestlik derecesini kaldırabilecek ortogonal dizi L_9 olduğundan deney için $L_9(3^4)$ ortogonal dizisi seçilmiştir. Seçilen ortogonal dizi Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Bu deneyde üç seviyeli dört faktörün ana etkileri analiz edilmektedir. Bu faktörlerin ana etkilerinin yanıtları nasıl etkilediği ortaya konulmaktadır. Uygulanacak deney koşulları da Tablo 6.3’de verilmektedir.

Tablo 6.2: Seçilen ortogonal dizi

Deney No	FAKTÖRLER			
	A	B	C	D
1	3	3	2	1
2	2	2	3	1
3	1	1	1	1
4	3	1	3	2
5	3	2	1	3
6	1	3	3	3
7	2	1	2	3
8	1	2	2	2
9	2	3	1	2

Tablo 6.3: L_9 ortogonal dizisi için deney koşulları

DENEY NO	FAKTÖRLER			
	A	B	C	D
	MAYA MİKTARI	FERM. İSİSİ	FERM. SÜRE	ÜRE MİKTARI
1	700	35-36	28-32	0
2	500	33-34	32-36	0
3	200	30-32	24-28	0
4	700	30-32	32-36	8
5	700	33-34	24-28	16
6	200	35-36	32-36	16
7	500	30-32	28-32	16
8	200	33-34	28-32	8
9	500	35-36	24-28	8

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 3'er kez deneye tabi tutulmaktadır. Aynı şey diğerk tüm faktörler için de geçerlidir.

6.3.4. Deneyin uygulanması ve verilerin analizi

Deneyler fermantasyon ekibi tarafından deney planına uygun olarak yapılmıştır. Her deney konusunda 2 deneme yapılmıştır. Denemeler aynı ebatta ve özellikteki farklı tanklarda yapılmıştır. 32 adet fermantasyon tankından 5 adedi bu denemeler için kullanılmış ve deney verileri elde edilene kadar başka bir üretim için kullanılmamıştır. Fermantasyonu biten tanklarda oluşan fermente maışeden deney tüplerine alınan örnekler kimyasal analiz laboratuarında test edilmiştir. Kimyasal analizler GC denilen cihazlar kullanılarak yapılmıştır. Fermentasyon prosesinin max. 36 saat sürmesi ve GC analiz sonucunun yaklaşık 3 saatte çıkması deney sonuçlarının uzun süreçlerde elde edilebilmesine sebep olmuştur. GC cihazının çok hassas ölçümler yapabilme yeteneği ve tüm deneylerde tek bir cihazın kullanılması dolayısıyla verilerin hassaslığı şüphe götürmez. Fakat hammadde kaynaklı birtakım kontrol edilemeyen faktörler ve farklı 5 tankın kullanılması deneylerimizde kontrol edilebilen faktörlere etki eden gürültü faktörleri olarak kabul edilmelidir.

Her deneyde yedi yanıt (kalite karakteristiği) için 2'şer tekrar olmak üzere toplam 126 (= 9*2*7) veri elde edilmiş ve sözkonusu yedi karakteristiğe ait veriler Tablo 6.4 – Tablo 6.10'da gösterilmiştir. Bu verilere dayanarak her bir yanıtın ortalama, standart sapma ve değişim aralığı değerleri deney bazında hesaplanmıştır. Fermantasyon sonucu oluşan ve buradan suma distilasyon aşamasına giden fermente maışede analiz edilen ve kontrol altında olması gereken 7 kimyasal değer kalite karakteristiklerini oluşturmaktadır.

Deneylerin toplam süresi hakkında bilgi vermek gerekirse; fermantasyon ünitesi 24 saat çalışmaktadır. Toplam 5 tank kullanılmıştır. Dolayısıyla 1 günde toplam 120 saatlik deney yapılabilmiştir. 1 deney için harcanan süre 39 saat olduğunu düşünürsek 126 deney için toplam 4914 saat gereklidir. Mevcut koşullarda bu deneyler yaklaşık 41 günde tamamlanmıştır. Proseste sürenin uzunluğuna baktığımızda deney verisi almanın güçlüğü ortaya çıkmaktadır. Bu ve benzer

proseslerde yapılan deney tasarımlarında Taguchi Yöntemi'ndeki az deney yapma avantajını da tekrar vurgulamak gerekir.

Tablo 6.4: Aldehit verileri

Deney No	ALDEHİT		ALDEHİT İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	8,91	8,84	17,75	8,88	0,05	0,07
2	12,40	10,20	22,60	11,30	1,56	2,20
3	5,82	4,78	10,60	5,30	0,74	1,04
4	5,93	4,91	10,84	5,42	0,72	1,02
5	5,03	5,23	10,26	5,13	0,14	0,20
6	3,72	2,40	6,12	3,06	0,93	1,32
7	8,70	8,32	17,02	8,51	0,27	0,38
8	3,85	3,13	6,98	3,49	0,51	0,72
9	7,77	6,64	14,41	7,21	0,80	1,13

Tablo 6.5: Ester verileri

Deney No	ESTER		ESTER İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	7,07	7,43	14,50	7,25	0,25	0,36
2	5,13	5,70	10,83	5,42	0,40	0,57
3	7,16	7,90	15,06	7,53	0,52	0,74
4	14,70	14,36	29,06	14,53	0,24	0,34
5	15,25	16,70	31,95	15,98	1,03	1,45
6	6,89	6,70	13,59	6,80	0,13	0,19
7	6,68	9,54	16,22	8,11	2,02	2,86
8	11,89	11,08	22,97	11,49	0,57	0,81
9	10,84	12,95	23,79	11,90	1,49	2,11

Tablo 6.6: Metenol verileri

Deney No	METENOL		METENOL İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	2,08	1,51	3,59	1,80	0,40	0,57
2	1,16	2,21	3,37	1,69	0,74	1,05
3	4,28	2,57	6,85	3,43	1,21	1,71
4	13,50	13,70	27,20	13,60	0,14	0,20
5	5,41	3,24	8,65	4,33	1,53	2,17
6	3,21	1,54	4,75	2,38	1,18	1,67
7	5,02	5,45	10,47	5,24	0,30	0,43
8	6,48	6,45	12,93	6,47	0,02	0,03
9	3,20	1,69	4,89	2,45	1,07	1,51

Tablo 6.7: N-Proponal verileri

Deney No	N-PROPONAL		N-PROPONAL İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	19,63	26,38	46,01	23,01	4,77	6,75
2	21,47	24,31	45,78	22,89	2,01	2,84
3	16,69	22,11	38,80	19,40	3,83	5,42
4	25,63	22,10	47,73	23,87	2,50	3,53
5	25,86	21,90	47,76	23,88	2,80	3,96
6	31,41	32,85	64,26	32,13	1,02	1,44
7	20,76	15,99	36,75	18,38	3,37	4,77
8	25,42	24,00	49,42	24,71	1,00	1,42
9	18,42	18,42	36,84	18,42	0,00	0,00

Tablo 6.8: İso-Bütanol verileri

Deney No	ISO-BUTANOL		ISO-BUTANOL			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	33,53	43,20	76,73	38,37	6,84	9,67
2	36,99	39,64	76,63	38,32	1,87	2,65
3	31,89	38,03	69,92	34,96	4,34	6,14
4	24,33	19,89	44,22	22,11	3,14	4,44
5	21,63	16,59	38,22	19,11	3,56	5,04
6	32,38	38,65	71,03	35,52	4,43	6,27
7	18,86	15,59	34,45	17,23	2,31	3,27
8	18,90	24,82	43,72	21,86	4,19	5,92
9	20,19	20,19	40,38	20,19	0,00	0,00

Tablo 6.9: İso-Aminoalkol verileri

Deney No	ISO-AMİNOALKOL		ISO-AMİNOALKOL İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	55,10	64,36	119,46	59,73	6,55	9,26
2	50,49	58,85	109,34	54,67	5,91	8,36
3	30,81	35,29	66,10	33,05	3,17	4,48
4	30,20	34,64	64,84	32,42	3,14	4,44
5	23,44	23,27	46,71	23,36	0,12	0,17
6	41,57	44,30	85,87	42,94	1,93	2,73
7	18,93	21,39	40,32	20,16	1,74	2,46
8	17,47	21,86	39,33	19,67	3,10	4,39
9	13,96	13,22	27,18	13,59	0,52	0,74

Tablo 6.10: Derece verileri

Deney No	DERECE		DERECE İÇİN			
	1	2	TOP.	ORT.	SS	R
1	94,00	94,30	188,30	94,15	0,21	0,30
2	93,80	94,30	188,10	94,05	0,35	0,50
3	93,90	94,10	188,00	94,00	0,14	0,20
4	94,10	94,20	188,30	94,15	0,07	0,10
5	94,00	94,30	188,30	94,15	0,21	0,30
6	93,80	94,00	187,80	93,90	0,14	0,20
7	94,40	94,40	188,80	94,40	0,00	0,00
8	94,30	94,00	188,30	94,15	0,21	0,30
9	94,30	94,50	188,80	94,40	0,14	0,20

6.3.4.1. 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. Bu değerlerin hesaplamaları sırasıyla Bölüm 5'teki eşitlikleri kullanılarak yapılmıştır.

Kalite kaybı hesaplanırken, toplam 7 yanıtın ikisi için (aldehit ve metenol) değerlerin minimizasyonu istendiğinden dolayı “daha küçük daha iyi” yanıtının formülü, diğer 5 yanıtın ise spek aralığında olması istendiği için “nominal en iyi” yanıtının formülü kullanılmıştır. Hesaplanan kalite kayıpları Tablo 6.11’de gösterilmiştir.

Tablo 6.11: Hesaplanan kalite kayıp değerleri

Deney No	1	2	3	4	5	6	7
	L_{1j}	L_{2j}	L_{3j}	L_{4j}	L_{5j}	L_{6j}	L_{7j}
1	7,88E+01	1,23E-03	3,30E+00	4,30E-02	3,18E-02	1,20E-02	5,08E-06
2	1,29E+02	5,54E-03	3,11E+00	7,70E-03	2,39E-03	1,17E-02	1,41E-05
3	2,84E+01	4,83E-03	1,25E+01	3,90E-02	1,54E-02	9,19E-03	2,26E-06
4	2,96E+01	2,74E-04	1,85E+02	1,09E-02	2,02E-02	9,38E-03	5,64E-07
5	2,63E+01	4,12E-03	1,99E+01	1,37E-02	3,48E-02	2,65E-05	5,08E-06
6	9,80E+00	3,91E-04	6,34E+00	1,00E-03	1,56E-02	2,02E-03	2,27E-06
7	7,25E+01	6,22E-02	2,75E+01	3,37E-02	1,80E-02	7,44E-03	0,00E+00
8	1,23E+01	2,49E-03	4,18E+01	1,65E-03	3,67E-02	2,49E-02	5,08E-06
9	5,22E+01	1,57E-02	6,55E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-03	2,24E-06

Bu değerlere bağlı olarak normalleştirilen kalite kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$C_{11} = \frac{L_{11}}{L_1^*} = \frac{78,76}{128,9} = 0,611 \text{ bulunur.}$$

C_{i1} : i. kalite karakteristiği için ($i= 1,2,3,4,5,6,7$) 1 nolu deneyde normalleştirilen kalite kaybını ifade etmektedir.

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

Bu formüllere bağlı olarak hesaplanan normalleştirilen kalite kayıpları Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12: Hesaplanan normalleştirilen kalite kayıp değerleri

Deney No	1	2	3	4	5	6	7
	C_{1j}	C_{2j}	C_{3j}	C_{4j}	C_{5j}	C_{6j}	C_{7j}
1	6,11E-01	1,98E-02	1,79E-02	1,00E+00	8,66E-01	4,82E-01	3,59E-01
2	1,00E+00	8,91E-02	1,68E-02	1,79E-01	6,52E-02	4,69E-01	1,00E+00
3	2,20E-01	7,77E-02	6,74E-02	9,07E-01	4,21E-01	3,69E-01	1,60E-01
4	2,30E-01	4,40E-03	1,00E+00	2,54E-01	5,50E-01	3,76E-01	3,99E-02
5	2,04E-01	6,62E-02	1,07E-01	3,19E-01	9,48E-01	1,06E-03	3,59E-01
6	7,60E-02	6,29E-03	3,43E-02	2,33E-02	4,25E-01	8,11E-02	1,61E-01
7	5,62E-01	1,00E+00	1,48E-01	7,83E-01	4,91E-01	2,99E-01	0,00E+00
8	9,55E-02	4,00E-02	2,26E-01	3,84E-02	1,00E+00	1,00E+00	3,59E-01
9	4,05E-01	2,53E-01	3,54E-02	0,00E+00	0,00E+00	5,95E-02	1,59E-01

Normalleştirilen kalite kaybı bulunduktan sonra söz konusu bütün yanıtlara ilişkin toplam normalleştirilen kayıp her yanıtın aldığı ağırlık değeri ile çarpılarak toplanır ve bu şekilde bir deney için TNQL değeri hesaplanır.

$$TNQL_1 = w_1C_{11} + w_2C_{21} + w_3C_{31} + w_4C_{41} + w_5C_{51} + w_6C_{61} + w_7C_{71} = 0,611*0,099 + 0,0198*0,255 + 0,0179*0,353 + 1,0000*0,064 + 0,866*0,04 + 0,482*0,029 + 0,359*0,161 = 0,242$$

$TNQL_1 = 1$ nolu deney için normalleştirilen kalite kaybını ifade etmektedir.

$w_i = i.$ yanıtın aldığı ağırlık katsayısıdır. ($\sum w_i = 1$)

Yanıtların aldığı ağırlıkları hesaplamak için Analitik Hiyerarşi Prosesi'nden (AHP) yararlanılmış ve Expert Choice programı kullanılarak hesaplanmıştır. Yanıtların birbirine göre önem sıralaması yapılırken yasal gerekliliklerle getirilen sınırlamaların önemi, insan sağlığına zararlı olabilecek maddelerin varlığı, belirlenen ürün speklerine ve tanımlarına göre kimyasal değerlerin değişkenliği ve bu değişkenliklerin yaklaşık olarak oranlarını tahmin edebilen çalışanların deneyimleri dikkate alınmıştır. Ortaya çıkan ağırlık değerleri ve yanıtların önem sırası Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de gösterilmiştir.

GOAL: EN UYGUN MAİŞE
With respect to GOAL

ESTER :ESTER
is 3.0 times (MODERATELY) more IMPORTANT than
ALDEHİT :ALDEHİT

	ESTER	METENOL	N-PRO	ISO-BUT	AMINOA	DERECE
ALDEHİT	1	4.0	2.0	3.0	4.0	2.0
ESTER		2.0	3.0	6.0	7.0	3.0
METENOL			5.0	6.0	9.0	3.0
N-PRO				1.5	3.0	3.5
ISO-BUT					1.5	6.0
AMINOA						5.0

1 EQUAL 3 MODERATE 5 STRONG 7 VERY STRONG 9 EXTREME

<End> <Enter> ? <Alt> I Invert Graphical Verbal Stru Avg Other Print Abandon

Şekil 6.3: Yanıtların birbirine karşı olan önem dereceleri

File Edit Compare Synthesis Graphs Defaults Redraw Mark Quit F1-Help

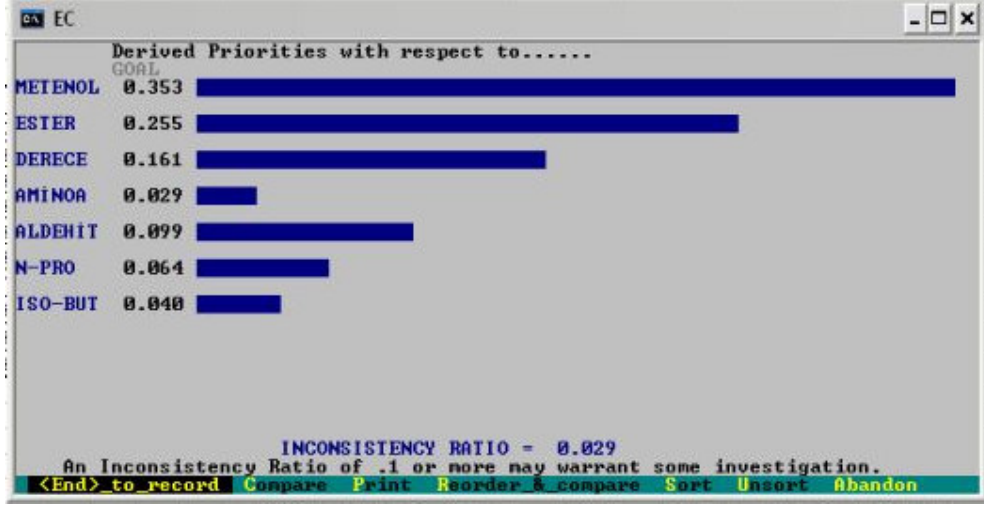
GOAL
LEVEL= 0 NODE= 0 C:\EC\ILKNUR1
LOCAL PRIORITY= 1.000

EN UYGUN MAİŞE

GOAL	ALDEHİT	ESTER	METENOL	N-PRO	ISO-BUT	AMINOA	DERECE
1.000	0.099	0.255	0.353	0.064	0.040	0.029	0.161

Expert Choice Commercial Version 8.0 — Press <Alt> to activate menu

Şekil 6.4: Yanıtların aldığı ağırlık değerleri



Şekil 6.5: Yanıtların aldığı ağırlık değerleri 2

6.3.4.2. Çok yanıtlı sinyal gürültü oranının belirlenmesi

Normalleştirilen toplam kalite kaybı hesaplandıktan sonra her bir deney için MRSN hesaplanır. TNQL'nin daha küçük değeri, daha küçük kalite kaybı anlamına gelmektedir. Atanan ağırlıklara göre sinyal gürültü oranının nasıl hesaplanacağı dair formül bir önceki bölümde verilmişti. Dolayısıyla 1 nolu deneyde bulunan normalleştirilen toplam kalite kaybı deneyde yerine konularak 1 nolu deneyde performans istatistiği olan çok yanıtlı sinyal gürültü oranı;

$$MRSN_1 = -10 \log_{10}(TNQL_1) = -10 \log_{10}(0,242) = 6,156$$

olarak bulunur.

Benzer şekilde bulunan bütün deneylere ait L_{ij} , C_{ij} , $TNQL_j$ ve $MRSN_j$ değerleri Tablo 6.13'de verilmiştir. Tablo 6.14'de ise deneyde kullanılan faktör seviye kombinasyonlarına göre hesaplanan ortalama kalite karakteristik değerleri ve bunlara ait yanıtlar verilmektedir.

Tablo 6.13: Ağırlıklara göre hesaplanan TNQL ve MRSN değerleri

Deney No	ALDEHİT	ESTER	METENOL	N-PROPONAL	ISO-BUTANOL	ISO-AMİNOALKOL	DERECE	TNQLj	MRSNj
	C1j	C2j	C3j	C4j	C5j	C6j	C7j		
1	6,11E-01	1,98E-02	1,79E-02	1,00E+00	8,66E-01	4,82E-01	3,59E-01	0,2423	6,1560
2	1,00E+00	8,91E-02	1,68E-02	1,79E-01	6,52E-02	4,69E-01	1,00E+00	0,3163	4,9987
3	2,20E-01	7,77E-02	6,74E-02	9,07E-01	4,21E-01	3,69E-01	1,60E-01	0,1767	7,5278
4	2,30E-01	4,40E-03	1,00E+00	2,54E-01	5,50E-01	3,76E-01	3,99E-02	0,4325	3,6403
5	2,04E-01	6,62E-02	1,07E-01	3,19E-01	9,48E-01	1,06E-03	3,59E-01	0,1913	7,1827
6	7,60E-02	6,29E-03	3,43E-02	2,33E-02	4,25E-01	8,11E-02	1,61E-01	0,0679	11,6805
7	5,62E-01	1,00E+00	1,48E-01	7,83E-01	4,91E-01	2,99E-01	0,00E+00	0,4415	3,5511
8	9,55E-02	4,00E-02	2,26E-01	3,84E-02	1,00E+00	1,00E+00	3,59E-01	0,2287	6,4071
9	4,05E-01	2,53E-01	3,54E-02	0,00E+00	0,00E+00	5,95E-02	1,59E-01	0,1444	8,4036

Tablo 6.14: Deney kombinasyonu ve bunlara ait ortalama, standart sapma ve yanıt değerleri

Deney No	FAKTÖRLER				ALDEHİT		ESTER		METANOL		N-PROPONAL		ISO-BUTANOL		ISO-AMİNOALKOL		DERECE		MRSNj
	A	B	C	D	ORT.	SS	ORT.	SS	ORT.	SS	ORT.	SS	ORT.	SS	ORT.	SS	ORT.	SS	
1	3	3	2	1	8,88	0,05	7,25	0,25	3,65	5,09	1,95	2,40	3,52	2,22	2,96	0,79	2,59	0,52	6,156
2	2	2	3	1	11,30	1,56	5,42	0,40	3,49	2,73	1,94	2,18	2,34	0,55	2,26	0,11	1,41	1,20	4,999
3	1	1	1	1	5,30	0,74	7,53	0,52	4,13	4,80	2,33	2,55	3,57	1,75	3,06	0,72	2,41	0,92	7,528
4	3	1	3	2	5,42	0,72	14,53	0,24	7,63	9,76	3,93	5,22	6,85	4,12	6,04	1,15	5,08	1,35	3,640
5	3	2	1	3	5,13	0,14	15,98	1,03	8,06	11,20	4,54	4,97	7,87	4,71	6,42	2,05	5,56	1,21	7,183
6	1	3	3	3	3,06	0,93	6,80	0,13	3,86	4,14	2,00	2,64	3,07	1,52	2,85	0,31	2,19	0,95	11,681
7	2	1	2	3	8,51	0,27	8,11	2,02	4,19	5,54	3,11	1,53	4,33	1,72	2,93	1,97	2,33	0,85	3,551
8	1	2	2	2	3,49	0,51	11,49	0,57	6,00	7,76	3,28	3,84	5,52	3,17	4,68	1,19	3,92	1,07	6,407
9	2	3	1	2	7,21	0,80	11,90	1,49	6,35	7,85	3,92	3,43	5,88	2,78	4,66	1,73	3,72	1,33	8,404

6.3.4.3. Eniyi faktör/seviye kombinasyonunun belirlenmesi

MRSN çok yanıtı problemler için performans istatistiği olarak kullanılmıştır. Deneyde bu performans ölçüsünün enbüyüklenmesi amaçlanmıştır. Bunların yardımıyla faktör etkilerinin analizi yapılarak hangi faktörün 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 en iyi seviye anlamına gelmektedir. Buradan hareketle, eniyi faktör/seviye kombinasyonuna ulaşılmaktadır.

Tablo 6.14’deki $MRSN_j$ değerleri kullanılarak her bir faktörün seviye değerleri hesaplanarak Tablo 6.15’de verilmiştir. Örneğin A faktörünün 1., 2. ve 3. seviyelerine ait değerler sırasıyla A_{S1} , A_{S2} , A_{S3} olsun. Bunlar aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$A_{S1} = (7,528 + 11,681 + 6,407)/3 = 8,5385$$

$$A_{S2} = (4,999 + 3,551 + 8,404)/3 = 5,6511$$

$$A_{S3} = (6,156 + 3,640 + 7,183)/3 = 5,6596$$

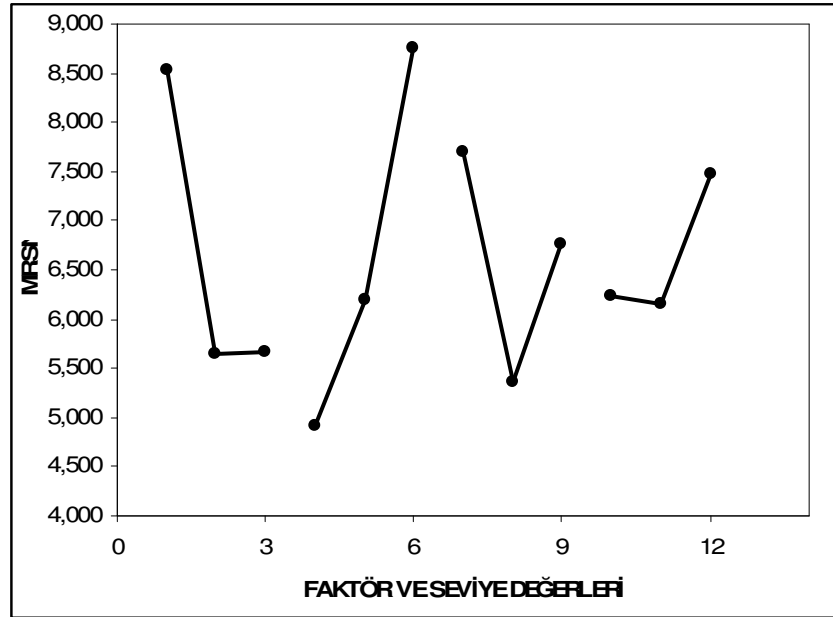
Tablo 6.15: Faktörlerin MRSN üzerindeki ana etkileri

FAKTÖRLER	SEVİYELER			MAKS.- MİN.
	S1	S2	S3	
A	8,53849	5,65113	5,65967	2,887
B	4,90641	6,19619	8,74669	3,840
C	7,70470	5,37142	6,77317	2,333
D	6,22747	6,15034	7,47148	1,321

Bunların içinden en büyük değere sahip olan seviye, eniyi seviye olarak seçilir. Buna göre A faktörü için en iyi seviye 1. seviyedir. Buna göre söz konusu ağırlıklar için eniyi faktör/seviye kombinasyonu $A_1B_3C_1D_3$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi, tüm faktörlerin 2. seviyelerinden oluşan başlangıç kombinasyonundan çok farklı bir kombinasyon

ortaya çıkmış ve hatta seçilen kombinasyonda 2. seviye değerleri hiçbir faktör için uygun bulunmamıştır.

Her faktörün seviyelerindeki değişimler dikkate alındığında problem için en önemli faktörler belirlenebilir. Burada faktörlerin önem sırası dikkate alınarak bir sıralama yapıldığında faktörler B, A, C, D şeklinde sıralanırlar. En önemli faktör olan B faktörünün seviyesi değiştiğinde yanıtta da önemli bir değişim meydana gelecektir. Örneğin B faktörünün S1'deki ortalama etkisi 4,90641 değeri ile en küçük iken, S3'de ortalama etkisi 8,74669 değeri ile en büyüktür. İkisi arasındaki fark 3,84 değeri ile faktörler arasında en büyük farka sahiptir. Bu durum Şekil 6.6'da açıkça görülmektedir. Faktör seviyelerine göre hesaplanan en büyük ile en küçük değerler, arasındaki farklara göre sıralandığında, faktörlerin önem derecelerini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 6.6: Faktörlerin MRSN üzerindeki etkileri

MRSN'de çok önemli etkiye sahip olmayan faktörlerin seviye değerleri arasında önemli bir fark yoktur. Ya da bir başka deyişle, yanıt değişkenleri üzerinde en az etkiye sahip olan faktör maks.-min. farkı en az olan faktördür. Uygulanan deneyde en az etkiye sahip faktör 1,321 değeri ile D faktörü olarak görülmektedir. Diğer faktörlerle kıyaslandığında

etkisi azdır ama aslında değer etkisi azımsanamayacak kadar da büyüktür. Buradan çıkartılacak sonuç 4 faktörün de yanıt değişkenleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğudur.

6.3.5. Doğrulama deneyi

Başlangıç (deney öncesi) faktör/seviye kombinasyonu (üretim koşulları) ve deney verilerinin analizinden elde edilen faktör/seviye kombinasyonuna göre yapılan üretimden altışar deney numuneleri alınmış ve bunların 7 kalite karakteristiğine ait analiz değerleri ölçülmüştür. Her iki faktör/seviye kombinasyonuna göre ayrı ayrı elde edilen bu verilerden 7 karakteristiğe ilişkin ortalama, standart sapma, değişim aralığı hesaplanmıştır. Ayrıca daha önce yapıldığı gibi söz konusu kalite karakteristiklerine ait kayıp (Lij), normalleştirilen kayıp (Cij) hesaplandıktan sonra normalleştirilen toplam kalite kaybı (TNQL) ve çok yanıtlı sinyal gürültü (MRSN) oranı bulunmuştur. Verilerden de görüleceği gibi iki farklı üretim koşulunda üretilen fermente maişe değerleri arasında çarpıcı bir farklılık vardır. Bu fark hesaplanan parametrelerde de kendisini göstermektedir.

Mevcut kombinasyonda ve seçilen kombinasyonda alınan altışar numunenin 7 tane kalite karakteristiğine ait analiz değerleri Tablo 5.16'da verilmiştir. Ayrıca bu değerlerin standart sapma ve değişim aralığı değerlerine baktığımızda da azalma net olarak görülebilmektedir. 7 kalite karakteristiği için de çok daha iyi bir durum ortaya çıkmaktadır.

Burada birinci satırdaki veriler başlangıçtaki yani mevcut üretim koşullarındaki kombinasyonlarla yapılan deney verilerini, ikinci satır ise seçilen kombinasyondaki deney verilerini göstermektedir. Başlangıç koşullarından kasıt işletmede bugüne kadar alışıl gelmiş koşullardır. Maya miktarı 700 gr, fermantasyon ısısı 33-34 derece, fermantasyon süresi 28-32 saat ve kullanılan üre miktarı 8 mg'dır. Seçilen kombinasyonda ise alışıl gelmiş üretim koşullarından farklı olarak maya kullanımı 200 gr'a indirilmiş, fermantasyon ısısı arttırılarak 35-36 derecelere getirilmiş, fermantasyon

süresi kısaltılarak 24-28 saat arısına indirilmiş, üre miktarı arttırılarak 16 gr'a çıkartılmıştır. Aldehit ve metenol değerleri için ise istenen azalma sağlanmıştır.

Tablo 6.16: Doğrulama deneyi verileri

ALDEHİT									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	6,52	5,24	7,30	5,53	5,93	4,91	5,91	0,88	2,39
**	3,72	2,40	2,85	3,78	2,89	2,89	3,09	0,55	1,38
ESTER									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	17,03	11,62	16,02	11,96	14,70	14,36	14,28	2,16	5,41
**	6,89	6,70	7,16	7,90	5,80	7,96	7,07	0,81	2,16
METENOL									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	16,08	19,00	15,31	14,10	13,50	18,70	16,12	2,30	5,50
**	6,09	4,59	4,28	5,27	4,10	7,18	5,25	1,19	3,08
N-PROPONAL									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	31,41	32,85	16,69	22,11	21,23	25,38	24,95	6,24	16,16
**	23,71	26,97	28,20	25,38	25,63	22,10	25,33	2,19	6,10
ISO-BUTANOL									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	26,12	39,86	32,40	32,95	24,33	19,89	29,26	7,18	19,97
**	32,38	38,65	31,89	38,03	24,03	21,42	31,07	7,08	17,23
ISO-AMİNOALKOL									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	17,37	42,85	27,66	51,85	18,62	34,64	32,17	13,64	34,48
**	41,57	42,75	30,81	41,29	39,69	20,56	36,11	8,76	22,19
DERECE									
	1	2	3	4	5	6	ORT.	SS	R
*	93,80	94,00	93,90	94,10	93,70	94,30	93,97	0,22	0,50
**	94,10	94,00	94,10	93,80	94,10	94,20	94,05	0,14	0,20

* Başlangıç üretim koşulları : A3B2C2D2

** Seçilen kombinasyondaki üretim koşulları : A1B3C1D3

Bir önceki bölümlerde olduğu gibi kalite kaybı, normalleştirilen kalite kaybı ve MRSN oranları hesaplanmıştır. Tablo 6.17’deki sonuçlarda da görüldüğü gibi başlangıç üretim koşullarına göre gerçekleştirilen iyileştirme $3.588 - (-0.004) = 3.562$ birimdir.

Tablo 6.17: Normalleştirilen kalite kayıplarına göre hesaplanan TNQL ve MRSN değerleri

ALDEHİT	ESTER	METENOL	N- PROPONAL	ISO- BUTANOL	ISO- AMİNOALKOL	DERECE
L1j	L2j	L3j	L4j	L5j	L6j	L7j
3,55E+01	2,28E-02	1,21E+02	6,25E-02	6,02E-02	1,80E-01	5,29E-06
1,55E+01	1,31E-02	4,48E+01	7,50E-03	5,20E-02	5,88E-02	2,15E-06

ALDEHİT	ESTER	METENOL	N- PROPONAL	ISO- BUTANOL	ISO- AMİNOALKOL	DERECE	TNQLj	MRSNj
C1j	C2j	C3j	C4j	C5j	C6j	C7j	1,00E+00	-0,004
1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,38E-01	3,588
4,37E-01	5,75E-01	3,70E-01	1,20E-01	8,63E-01	3,27E-01	4,06E-01		

Doğrulama deneyinin yapılmasıyla prostedeki iyileştirme açıkça görülmüştür. Taguchi Yöntemi’nin kullanılması sonucu daha avantajlı bir kombinasyon ortaya çıkartılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Mevcut üretim koşulları ile sürekli spek dışı ürün çıkması sonucu paçallama ihtiyacı ortaya çıkıyor. Bu durumda birçok tank üretim için kullanılmaktansa paçallama için kullanılıyor ve gereksiz tank kapasitesi kısıtı yaratılıyor.
2. Uygun olmayan maişenin spek içine taşınabilmesi için farklı fabrikalardan uygun maişe getiriliyor, ekstra taşıma maliyeti doğuruyor.
3. Üretim maişeyi spek içine taşıyabilmek için sürekli denemeler yapıyor ve her bir denemenin GC cihazında analizi yapılıyor. Bir analizin sonucu ortalama 3 saat içinde çıkıyor ve gereksiz bir zaman kaybı yaratıyor. Ayrıca GC cihazının zamanından erken bakıma alınması gerekiyor, kullanım ömrünü azaltıyor.
4. Seçilen kombinasyonda üretim yapıldığı takdirde daha kısa sürede fermantasyon tamamlandığı için ciddi bir zaman tasarrufu sağlanıyor.
5. Seçilen kombinasyonda mevcut durumda kullanılan daha az maya kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde ediliyor. Hammadde maliyeti azalıyor.

BÖLÜM: 7. SONUÇ

Endüstride zaman ve maliyet açısından bakıldığında da bilimsel metotların kullanılması bir zorunluluktur. Taguchi yöntemi, üründe ve süreçte, varyasyon oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek, ürün ve süreçteki varyasyonu en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem; ürün kalitesinin gelişmesinde etkili olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede çok daha az deneme ile aynı sonuçları alma imkanını sağlamaktadır.

Çalışmada, suma üretimindeki fermantasyon süreci incelenmiştir. İşletmede, fermentasyon prosesi ve onu etkileyen faktörler çok iyi bilinmesine rağmen bu faktörler kontrol altına alınamamakta ve sürekli deneme yanılma yöntemiyle yüzlerce deney yapılmaktaydı. Bu durumda hem tanklar tam kapasite kullanılamamakta hem de çok uzun işlem süresi nedeniyle ciddi bir zaman kaybı yaşanmaktaydı. Uygun olmayan ürün diğer ürünlerle paçallanmak zorundaydı. Taguchi deney tasarımı kullanılıp etkileyen faktörlerin en uygun seviyeleri seçildikten sonra bu kombinasyonla üretilen ürün tek seferde istenen değerler içinde gelmeye başladı.

Taguchi'nin en büyük avantajlarından biri olan az deneyle uygun kombinasyona ulaşmanın faydası ciddi derecede hissedildi. Paçal tanklarına ve deney tanklarına ihtiyaç kalmadığı için bu tanklar stok tankı olarak kullanılabilir hale geldi.

Yöntemin en büyük dezavantajlarından biri, etkileşimlerin göz ardı edilmesi olmakla birlikte bu çalışmada amaçlanan hedef yani, istenen speklerde suma üretimi gerçekleştirilmiş oldu.

Çalışmanın ilerleyen aşamalarında rakı distilasyon aşamasında da benzer bir uygulama yapılabilir ve rakı üretimi de paçallanmaya gerek kalmadan gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Dogan, Ü., “Kalite Yönetimi ve Kontrolü”, *İstiklal Matbaası*, İzmir, (1991).
- [2] Heizer, J., Render, B. “Production and Operations Management: Strategic and Tactical Decisions, Forth edition, *Prentice-Hall, Inc.*, New Jersey, (1996).
- [3] Loncher, R.H., Matar, J.E., “Designing for Quality: An Introduction to the Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design, First edition, *Chapman and Hall*, USA, (1990).
- [4] Ünal, R., Dean, E.B., “Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overview”, *Annual Conference of the Int. Society of Parametric Analysts*, (1991).
- [5] Keleş, Ö. “Matkap uçlarının ark PVD ile TiN kaplamasında proses parametrelerinin taguchi metodları ile optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1996).
- [6] Zairi, M., “Total Quality Management”, *Gulf Publishing Company*, (1993).
- [7] Kobu, B., “Endüstriyel Kalite Kontrolü”, İkinci baskı, *İstanbul Üniversitesi Yayınları*, No: 3425, İstanbul, (1987).
- [8] I.HİBM, “Toplam Kalite Kontrol”, *Beyaz Kitap Dizisi*, Eskişehir, (1993).
- [9] Baynal, K., “Çok yanıtli problemlerin taguchi yöntemi ile eniyilenmesi ve bir uygulama”, Doktora tezi, *İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul, (2003).
- [10] Kagnıcıoğlu, C.H. “Üretim öncesi kalite kontrolünde taguchi yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması”, Doktora tezi, *Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, (1998).
- [11] Moen, R.D., Nolan, T.W., Provost, L.P., “Improving Quality Through Planned Experimentation”, First edition, *McGraw-Hill*, (1991).
- [12] Kasap, Ş., “F-4 savaş uçaklarında yakıt tüketimini etkileyen faktörlerin 2^k deneyleri ve taguchi yöntemiyle belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2005).

- [13] Burnak, N., “Toplam Kalite Yönetimi-İstatistiksel Süreç Kontrolü”, *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, TEKAM Yayın No: TS-97-008-NB, (1997).
- [14] Çelik, C., “Kalite geliştirmede tasarım eniyileme problemine taguchi yöntemlerinin uygulanmasında sistematik bir yaklaşıml”, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1993).
- [15] Koç, S., “Kritik ünitelerin performansını etkileyen faktörlerin deneysel tasarım yöntemi ile optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, F.B.E.*, Adana, (2003).
- [16] Montgomery, D.C., “Introduction to Statistical Quality Control”, *John Wiley&Sons Inc.*, Canada, (1997).
- [17] Şirvancı, M., “Kalite İçin Deney Tasarımı-Taguchi Yaklaşımı”, *Literatür Yayınları*, İstanbul, (1997).
- [18] Mitra, A., “Fundamentals of Quality Control and Improvement”, *Macmillian Publishing Company*, (1993).
- [19] Bhote, K.R., “World Class Quality”, Second edition, *American Management Association*, (1991).
- [20] Krotzmaier, J., “Optimizing Engineering Design”, *McGraw-Hill Book Company*, (1993).
- [21] Graessel, B., Zeidler, P. “Using quality function deployment to improve customer service”, *Quality Progress*, Vol.19, No:2, pp.19-23, (1993).
- [22] Gunst, F., Mason, R.L., “How to Construct Fractional Factorial Experiment”, *American Society for Quality*, (1991)
- [23] Cochran, W.G., Cox, G.M., “Experimental Design”, Second edition, *John Wiley&Sons Inc.*, (1993).
- [24] Barker, T.B., “Quality By Experimental Design”, *Marcel Dekker Inc.*, (1994).
- [25] Özler, C., “Cevap yüzeyi yöntemlerinin süreç iyileştirme amacı ile kullanılması üzerine bir araştırma”, Doktora tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İzmir, (1997).
- [26] Taguchi, G., Chowdhury, S., Taguchi, S. “Robust Engineering: Case Studies”, *McGraw-Hill*, (1999).

- [27] Fowlkes W.Y., Creveling C., “Engineering Methods for Robust Product Design, *Addison Wesley Publishing Company*, (1995).
- [28] Raghu, I., N. Kackar, “Taguchi’s Quality Philosophy: Analysis and Commentary”, *Quality Progress*, Vol.19, No.12, 21-29, (1986).
- [29] Peace, G.S., “Taguchi Methods”, *Addison Wesley Publishing Company*, (1994).
- [30] Taguchi, G., “Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes”, Seventh edition, *Nordica International Limited*, (1990).
- [31] Rajkumar, D., Nguty, t., Ekere, N.N., “Optimising process parameters for flip chip stencil printing using Taguuchi’s Method”, *IEEE/CPMT Int. Electronic Manufacturing Tech.Symposium*, Santa Clara, pp. 382-388, (2000).
- [32] Ross, P.J., “Taguchi Techniques for Quality Engineering”, *McGraw-Hill Book Company*, (1989).
- [33] Xydas, N., Tsi, D., Gurevich, V., Krichever, M., Kao, I., “Dynamic taguchi methods and parameter design as applied in barcod scanning and scanners”, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol.13, No.1, (2005).
- [34] Roy, R.K., “Design of Experiments Using the Taguchi Approach”, *John Wiley&Sons Inc.*, (2001).
- [35] Cho, Y.G., Cho, K.T., “A loss function approach to group preference aggregation in AHP”, *Computers & Operation Research*, 106, 454-461, (2006).
- [36] Lai, H.H., Chang, Y., Chang, H., “A robust design approach for enhancing the feeling quality of a product: a car profile case study”, *Int. Journal of Industrial Ergonomics*, 169, 10-16, (2004).
- [37] Baynal, K., Terzi, Ü., “Taguchi yöntemi ve bulanık mantık kullanılarak üretim parametrelerinin eşzamanlı eniyilenmesi”, *YA/EM’04-XXIV. Ulusal Kongresi*, Gaziantep-Adana, 15-18 Haziran (2004).
- [38] Jayaram, S.R., Yaakop, İ., “Quality note: Robustness for multiple response problems using a loss model”, *Int.Journal of Quality Science*, Vol.2, No.3, pp,199-205, (1997).
- [39] Kros, J.F., Mastrangelo, C.M., “Comparing methods for the multi-response design problem”, *Qual.Reliab.Eogog.Int.*, 17, 323-331, (2001).
- [40] Tong, L.I., Su, C.T., Wang, C.H. “The optimization of multi response problems in the taguchi methods”, *Int. Journal of Quality&Reliability Management*, Vol.14, No.4, pp.367-380, (1997).

[41] Tuncer, N., “Alkol endüstrisi, etil alkolün tarihçesi ve üretim prosesleri”, Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi*, Sivas, (2002).

[42] Aktan, N., Kalkan, H., “Distile Alkollü İçkiler Teknolojisi”, *Ege Üniversitesi*, İzmir-Bornova, (1999).

[43] Madaeni, S.S., Koocheki, S., “Application of taguchi method in the optimization of wastewater treatment using spiral-wound reverse osmosis element”, *Chemical Engineering Journal*, 119, 37-44, (2006).

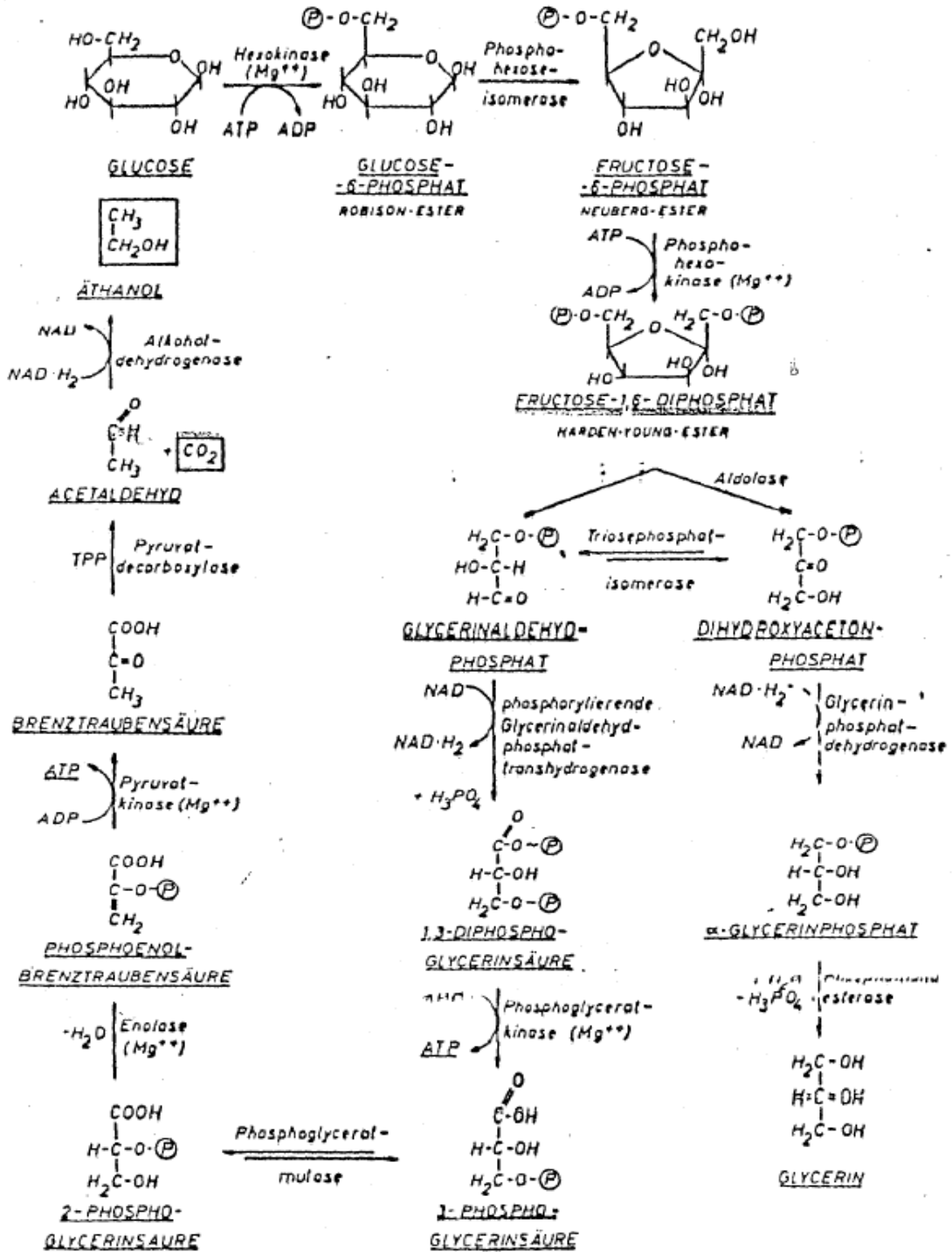
EKLER

EK - A

Tablo A.1: Shainin yedi deney tasarım aracı

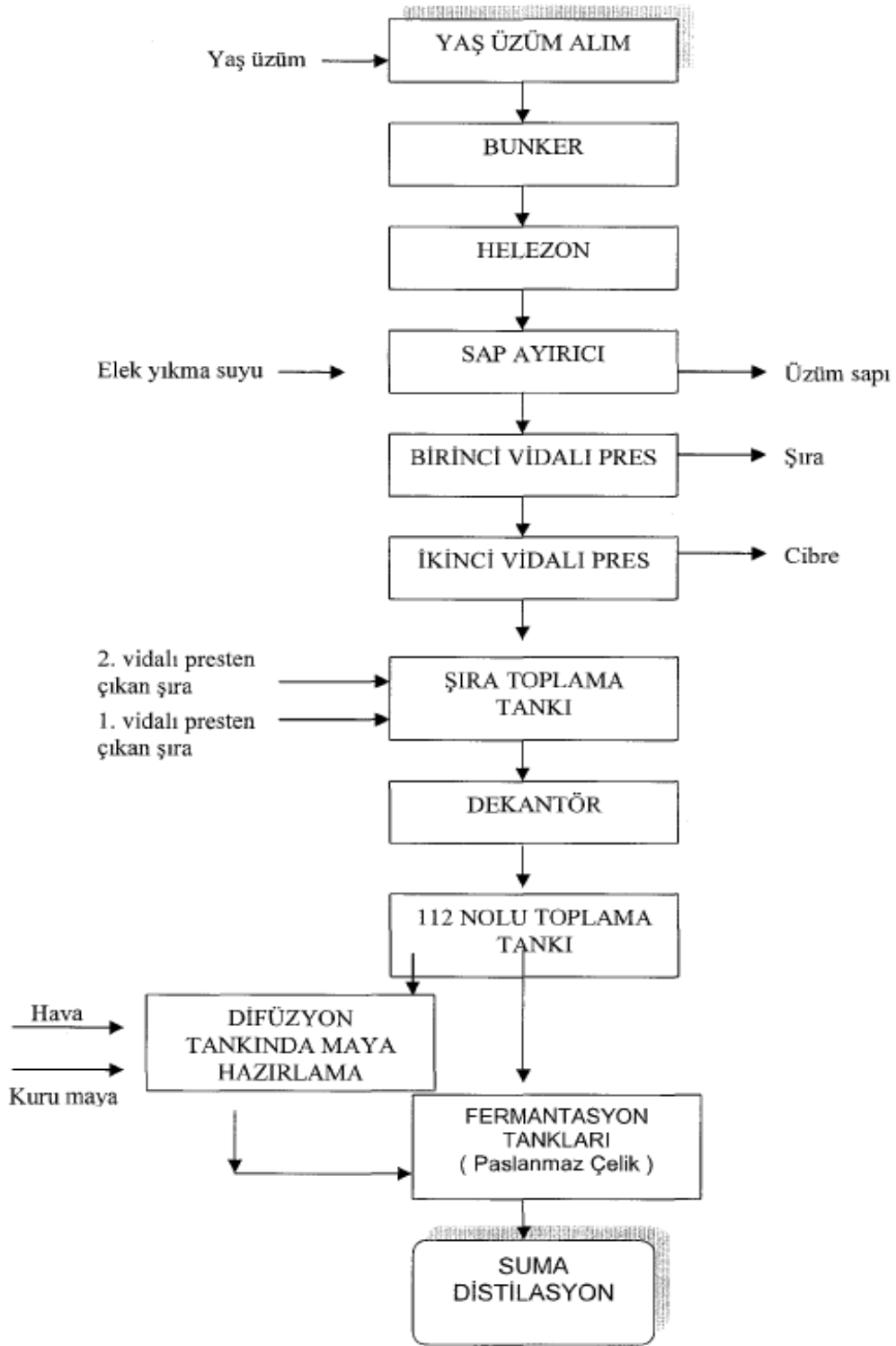
Takım	İlke	Uygulama Alanı	Uygulama Zamanı	Örnek boyutu
Çoklu Değişken Tablosu	İlgisiz veya yönetilemez sayıda sebebi küçük ve ilgili hale indirgeme. Örneğin zamandan zamana, bölümden bölüme, makineden makinaya vs. Tesadüfî olmayan eğilimleri tespit etmek.	Ürün/prosesin nasıl çalıştığını eski veriler olmadan elde etmek. Proses yeterlilik çalışmasını yerleştirir.	Mühendislik ve üretim pilot çalışmaları veya üretim.	Tarihi değişimin minimum %9-15 veya % 802e kadar
Bileşen Araştırma	100 veya 1000 den çok sayıdan temel etki ve etkileşimleri homing in yöntemi ile Kırmızı X le işaretlenir.	yi ve kötü olarak etiketlendirilebilen bileşenler arasında.	Prototipte, mühendislik ve üretim pilot çalışmalarında üretimde.	2
Çiftli karşılaştırma.	Değişik oluşturulmuş ürün çifti arasında tekrarlı farklar elde ederek kırmızı X'e ip ucu sağlamak.	Değişik oluşturulmuş ürünlerin birleştirilmiş kümelerinde (iyi-kötü olarak etiketlenmiş) Bu ürünler ayrılamaz.	Bileşen araştırma ile aynı.	yi ve kötü ürünün 5-8 çiftinde.
Değişken araştırma.	1. Pompa ve kırmızı X leri saptamak. 2. Temel etki ve etkileşimlerin büyüklüklerini belirlemek. 3. Maliyeti azaltmak için önemsiz toleransları aç.	5-20 değişkenin incelenbileceği yerlerde. Mükemmel problem önleme araçları.	Ar-Ge faaliyetleri, proses/ürün karakterizasyonu için üretimde ve mühendislikte. Çoklu değişkenden sonra veya ikili karşılaştırmadan sonra kırmızı X le işaretle.	1-20
Tam Faktöriyel	Değişken araştırma ile aynı.	2-4 değişkenin olduğu yerlerde pratiktir.	Değişken araştırma ile aynı.	1-16
B ye Karşı C testi:	Mühendislik değişimlerini değerlendirme. Maliyet azaltma stenen istatistikî güvence ile çalışan proses üzerine yenisinin üstünlüğünü geçerli kılma.	Üstteki 5 aram birini veya birkaçını izle. Problem çözümü kolaysa diğer araçlara b ye karşı testi by pass sağlayabilir.	Prototip, pilot çalışma veya üretim.	Genellikle 3 B ve 3 C
Gerçekçi Tolerans Paralelogram (dağılım noktaları)	Kırmızı, pembe X değişkenleri için optimum değerler ve onların maksimum izin verilen toleranslarını belirlemek.	Üstteki 6 aracı izler	Proses/ürünün pilot çalışmaları.	30

EK - B



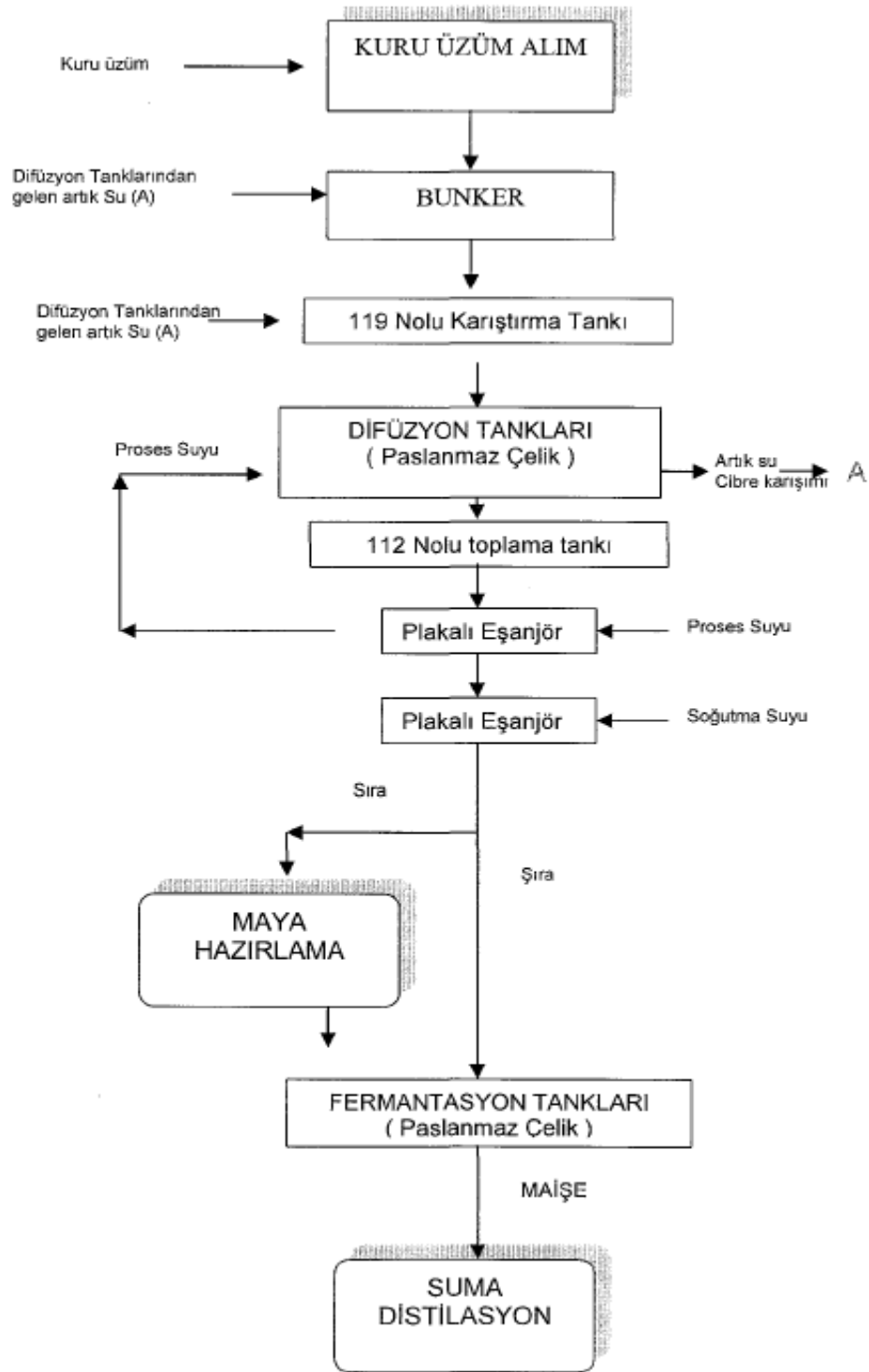
Şekil B.1: Alkol fermentasyonu şeması

EK – B



Şekil B.2: Yaş üzüm işleme ve fermentasyon proses şeması

EK – B



Şekil B.3: Kuru üzüm işleme fermantasyon akış şeması

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2004 yılından itibaren özel sektöre bağlı çeşitli kuruluşlarda Planlama Mühendisi ve Üretim Mühendisi olarak görev aldı. Halen özel sektöre bağlı bir kuruluşta İkmal Operasyonları Sorumlusu olarak çalışmaktadır.