

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T. C.
Yükseköğretim Kurumu
Dokümanasyon Birimi

**TAGUCHI YÖNTEMİNİN KALİTE KONTROLUNA
UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Zeynep BAYRAK

57956

Ana Bilim Dalı: ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: Yüksek Lisans

EKİM 1996

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHI YÖNTEMİNİN KALİTE KONTROLUNA
UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End. Müh. Zeynep BAYRAK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Ekim 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Ocak 1997

**Tez Danışmanı
Prof.Dr.Alptekin GÜNEL**

()

**Üye
Doç.Dr.Zerrin ALADAĞ**

()

**Üye
Doç.Dr.Seçkin POLAT**

()

EKİM 1996

TAGUCHI YÖNTEMİNİN KALİTE KONTROLUNA UYGULANMASI

Zeynep BAYRAK

Anahtar Kelimeler: Kalite Geliştirme, Off-Line Kalite Kontrol, Parametre Tasarımı, Ortogonal Diziler

Özet: Artan uluslararası rekabet sonucu müşteriye daha çok çeşidi daha kaliteli ve daha ucuza mal ederek sunma zorlaması, gerek gelişen teknolojik yenilenme ve gerekse müşterilerin artan bilinci kalite geliştirme çalışmalarını gündeme getirmiştir. Kalitenin sadece üretim hattında değil mamul ve proses tasarımı esnasında da etkin bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

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 sektörüne kabul görmesini sağlamıştır. Ortogonal diziler faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önerirler.

Taguchi, kaliteyi sağlamak için yapılan çalışmaları On-line (çevrim içi) ve Off-line (çevrim dışı, imalat öncesi) olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır. İstatistiksel deneysel tasarım Taguchi'nin kalite sisteminde Off-line kalite kontrol içinde yer almaktadır.

Bu çalışmada Taguchi deneysel tasarım metodu tanıtılmış ve Federal Elektrik AŞ'de üretilen şalter gövdelerinin kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak optimum proses şartları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçla, üründe ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) optimal değerleri belirlenmeye, ürün ve prosesteki varyasyon en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ürünün performans karakteristiğini etkilediği düşünülen yedi kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, bunlar kullanılarak seçilen ortogonal diziyeye atama yapılmış ve denemeler buna göre sürdürülmüştür. Kontrol edilemeyen faktörler kullanılarak bir dış dizi oluşturmaktansa, kontrol faktörleri kullanılarak oluşturulan iç dizide denemeler beşer kez tekrar edilmiş ve kontrol edilemeyen faktörlerin meydana getirecekleri değişim gözlenmeye çalışılmıştır.

Denemeler sonucunda elde edilen datalar Varyans Analizine tabi tutulmuş ve çeşitli yorumlama metotları kullanılarak optimum proses şartlarını veren faktör kombinasyonu belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak belirlenen optimum proses şartlarında sağlama deneyi yapılmış ve bu deneyin sonuçlarının ortalaması, daha önce test edilen faktör ve seviyelerine göre belirlenen ortalama ile karşılaştırılmış, gerekli yorumlar yapılmıştır.

APPLYING TAGUCHI METHOD IN THE SIELD OF PRACTISING QUALITY CONTROL

Zeynep BAYRAK

Keywords: Quality Improvement, Off-Line Quality Control, Parameter Design, Orthogonal Arrays

Abstract: Increasing international competition leads to produce various products with high-quality and less costly. Both developing new technology and customer's increasing expects and needs for high-quality made quality development studies to be started. Quality has to be effectively arranged not only through production but also during product and process design.

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, firstly Taguchi experimental design method is introduced. Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş. produce breaker arms , optimum process conditions, which induce these breaker arms resistance to possible strokes in the areas they are used, are tried to be determined.

Factors causing variation in product and process are tried to be reduced to minimum and controllable factors' (parameters) optimum values are tried to be determined in order to be robust against uncontrollable factors. Seven controllable factors which are thought to be affective on product performance characteristics are determined and by using these, factors are assigned to chosen orthogonal array and trials are continued according to this.

Instead of arranging outer array by using uncontrollable factors, in inner array, arranged by using controllable factors, trials are repeated 5 times per trial and changes that are going to be appeared uncontrollable factors are tried to be observed.

Trial results applied to ANOVA and by using various interpretation methods, factor combinations that give optimum process conditions are tried to be determined.

Inconclusion, confirmation experiments are made in certain optimum process conditions and the average result of experiments are compared with the averages established according to factors and levels that are tested before and necessary interpretations are discussed.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

1980'lerde birçok büyük Amerikan şirketinin pazar paylarını uluslararası rakiplerine özellikle Japonlara kaptırmaları, Amerikan endüstrisini Japonların başarılarını incelemeye sevk etmiştir. Bu şirketler, Off-line (çevrim dışı) kalite kontrol yöntemlerinin içinde yer alan deneysel tasarımın, kalite geliştirme amacıyla etkin bir şekilde kullanıldığının farkına varmışlardır. Taguchi metodunun bu yıllarda Amerikan endüstrisine tanıtılmasıyla ürün kalitesi, üretilebilirliği ve güvenilirliği düşük üretim maliyetiyle sağlanmış ve kaybedilen pazar payı tekrar kazanılmıştır.

Kaliteyi sürekli geliştirme, ürün mükemmelliği yoluyla rekabet ortamında pazar payı elde etmek için 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.

Bu çalışmada, Japon kalite uzmanı Genichi TAGUCHI tarafından geliştirilen Taguchi deneysel tasarım metodu tanıtılarak endüstriyel bir uygulama anlatılmıştır. Ülkemizde Taguchi metodu ile ilgili çalışmalara henüz birkaç firmada başlanmış olduğunu göz önüne alarak yapılan çalışmanın, metodun kullanımının yaygınlaşmasında katkısı olmasını dilerim.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım sayın Prof.Dr. Alptekin GÜNEL (KOÜ. İşletme Böl. Sayısal Yöntemler Ana Bilim Dalı Bşk.) başta olmak üzere, yardımlarını gördüğüm öğretim görevlileri Kasım BAYNAL (KOÜ. Endüstri Müh. Böl.) ve Semra BORAN'a (SAÜ. Endüstri Müh. Böl.), endüstriyel uygulamanın gerçekleşmesinde sağladıkları destek ve katkılardan dolayı başta Genel Müdür Mustafa NURDOĞAN olmak üzere tüm Federal Elektrik A.Ş. çalışanlarına özellikle Kimya Müh. Volkan SERDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞERKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM 1: GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2: TAGUCHI METODU.....	5
2.1. Taguchi Metoduna Genel Bir Bakış.....	5
2.1.1. Geleneksel Kalite Kontrol Yaklaşımı ve Toplumsal Kayıp.....	6
2.1.2. Taguchi Kayıp Fonksiyon Örneği.....	9
2.1.3. On-Line ve Off-Line Kalite Kontrol Kavramları.....	13
2.2 Parametre Tasarımı.....	17
2.3. Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Prosedürleri.....	19
2.3.1. Çözülecek Olan Problemin Belirlenmesi.....	20
2.3.2. Performans Karakteristikleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi.....	20
2.3.3. Performans Karakteristiklerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin Belirlenmesi.....	20
2.3.4 Faktörlerin Kontrol ve Hata Faktörleri Olarak Ayrılması.....	22
2.3.5. İncelenecek Bileşik Etkilerin Belirlenmesi.....	22
2.3.6. Ortogonal Diziler ve Seçimleri.....	24
2.3.6.1. Ortogonal Diziler.....	24
2.3.6.2. Ortogonal Dizilerin Seçimi.....	25
2.3.7 Lineer Grafiğin çizimi ve faktörlerin sütunlara atanması.....	26
2.3.7.1. Lineer Grafikler.....	26

2.3.7.2. Üçgensel Tablolar.....	27
2.4. Çok Seviyeli Deneylerin Ortogonal Düzene Yerleştirilmesi.....	29
2.4.1. İki Seviyeden Dört Seviyeye Dönüştürme.....	29
2.4.2. Sütun Seviyesi Düşürme.....	31
2.5. Deneyin Yönlendirilmesi.....	32
2.5.1. Rassallaştırma.....	32
2.5.2. Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesi.....	33
2.6. Varyans Analizi.....	33
2.6.1. Kareler Toplamı	34
2.6.2 Serbestlik Derecesi.....	36
2.6.3. Varyans.....	37
2.6.4. F- Testi.....	38
2.7. Deneysel Sonuçların Yorumu.....	40
2.7.1. Katkı Yüzdesi.....	40
2.7.2. Ortalamanın Tahmini.....	41
2.7.3. Kestirilen Ortalama Etrafında Güven Aralığı.....	43
2.7.3.1. Gerçekleme Deneyini Öngören Güven Aralığı.....	44
BÖLÜM 3 : LİTERATÜR TANIMI	46
3.1. Vites Kutusu Yağlama Sistemi.....	48
3.2. Fosforik Asit Üterim Sürecinin Eniyilenmesi.....	54
BÖLÜM 4: TAGUCHI DENEYSEL TASARIM METODU KULLANILARAK PROSES GELİŞTİRME UYGULAMASI.....	62
4.1. Giriş.....	62
4.2. Çözülecek Olan Problemin Belirlenmesi.....	65
4.3. Performans Karakteristiği ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi.....	65
4.4. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi.....	66
4.5. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi.....	68
4.6. Faktör ve Etkileşimlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması.....	69

4.7. Deneyin Yönlendirilmesi.....	70
4.8. Deneylerin yapılması ve Dataların Toplanması.....	72
BÖLÜM 5: DENEY BULGULARI.....	76
5.1. Ortalamaya Göre Varyans Analizi.....	76
5.1.1. Kareler Toplamı Varyasyon.....	76
5.1.2. Serbestlik Derecesi (ν).....	79
5.1.3. Varyans.....	79
5.1.4. F-Testi.....	80
5.2. Sütun Etkisi Metoduna Göre Etkin Faktörlerin Belirlenmesi.....	85
5.3. Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi.....	85
5.4. Doğrulama Deneyi.....	92
5.5. S/N Oranına Göre Yapılan Varyans Analizi.....	92
BÖLÜM 6: DENEY SONUÇLARINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR VE	
TARTIŞMALAR.....	98
6.1. Etkileşimlerle İlgili Bulgular ve Tartışmalar.....	100
6.2. Öneriler.....	105
6.3. Sonuç.....	107
KAYNAKLAR.....	109
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	113

SİMGELER DİZİNİ

- A_i : A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı
 \bar{A}_i : A_i seviyesi altındaki gözlemlerin ortalaması
 α : Alfa
AL : Alt spesifikasyon limiti
 β : Beta
c : Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı
CI : Güven Aralığı
k : Spesifikasyon limitlerine ve genişliğine bağlı bir katsayı
 k_A : A faktörünün seviyelerinin sayısı
L : Belirli bir y değeri için oluşan kayıp
m : Spesifikasyonun nominal değeri
 $\hat{\mu}$: Ortalamanın tahmini
 ν : Serbestlik derecesi
 ν_A : A faktörünün serbestlik derecesi
 ν_e : Hata serbestlik derecesi
N : Gözlemlerin toplam sayısı
 n_{A_i} : A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı
P : Katkı yüzdesi
r : gerçekleştirme deneyi için örnek hacmi
SS : Kareler Toplamı
 SS_T : Toplam Kareler Toplamı
 SS_A : A faktörüne ait kareler toplamı
 SS_e : Hata kareler toplamı
 SS'_A : A faktörüne göre karelerin net toplamı

- S/N : Signal / Noise (S/N oranı)
T : Tüm gözlemlerin toplamı
 \bar{T} : Gözlemlerin ortalaması
ÜL : Üst spesifikasyon limiti
V : Varyans
 V_e : Hata varyansı
y : Gözlem, sonuç
 y_i : i. Gözlem
ANOVA: Analysis of variance (Varyans analizi)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sony-A.B.D. ve Japon TV'lerin Renk Yoğunluğu (Phadke,1989,s.32, Singpurwalla, 1992, s.19, Sudhaker, 1995, s.53).....	8
Şekil 2. 2. Kayıp Fonksiyon Eğrisi (Kackar, 1989-a, s.8)	8
Şekil 2. 3. Parça Dağılım Histogramı (Ross, 1988,s.9)	10
Şekil 2. 4. Örneğin Kayıp Fonksiyon Eğrisi(Ross,1988,s.10).....	11
Şekil 2. 5. Ürün / Kalite Çemberi (Lochner and Matar,1990,s.16).....	14
Şekil 2. 6. Robust Dizayn (Tsui, 1992,S.45)	16
Şekil 2.7.A-)Etkileşimli Durum Grafiği.....	23
Şekil 2.7.B-)Etkileşimsiz Durum Grafiği.....	23
Şekil 2. 8. L4 Lineer Grafiği (Robinson, 1993,S.6).....	27
Şekil 2. 9.A-) A Tipi L8 Lineer Grafiği.....	27
Şekil 2. 9.B-) B Tipi L8 Lineer Grafiği.....	27
Şekil 2. 10. L ₉ Lineer Grafik.....	28
Şekil 2. 11. Etkileşmeyen Faktörlerin Grafiği.....	43
Şekil 3. 1. Faktör ve etkileşimlerin lineer grafikleri.....	51
Şekil 4. 1. Kompresör kalıp prensibi.....	63
Şekil 4. 2. Kalıplama Prosesinde Sebep- Sonuç Diyagramı.....	65
Şekil 4. 3. Probleme ait Lineer Grafik.....	70
Şekil 5. 1 Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi.....	88
Şekil 6.1. Ave B Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	101
Şekil 6. 2. Ave C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	102
Şekil 6.3. Ave F Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği	103
Şekil 6.4. B ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	103
Şekil 6.5. B ve E Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	103
Şekil 6.6. D ve E Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	104

Şekil 6.7. E ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği	104
Şekil 6.8. F ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	104
Şekil 6.9. D ve G Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	105
Şekil 6.10 G ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği.....	105
Şekil 6.11 . Doğrulama Deneyi Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi.....	106



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2. 1. Kayıp Fonksiyon Tipleri (Ross,1989, s.19).....	12
Tablo 2. 2. İç/Dış Ortogonal Dizi (Ross,1989, s.171).....	18
Tablo 2. 3. A-) Etkileşimli Durum.....	23
Tablo 2. 3. B-) Etkileşimsiz Durum.....	23
Tablo 2. 4. Ortogonal Dizilerden L4 ve L9	25
Tablo 2. 5. L4 Üçgensel Tablo	28
Tablo 2. 6. L9 Üçgensel Tablo	28
Tablo 2. 7 Dört Seviyeli Sütun Oluşturma Kuralları	30
Tablo 2. 8. Dört- Seviyeli Faktör İçin Düzenlenmiş L8 Ortogonal Dizi	30
Tablo 2. 9 İki-Seviyeli Faktör İçin Standart L8 Ortogonal Dizi	30
Tablo 2. 10. L16 Dizisi İçin Sekiz-Seviyeli Sütun Hazırlama Kuralları	31
Tablo 2. 11 Etkileşim Tablosu.....	35
Tablo 3. 1 Vites Kutusu Yağlama Deneyi İçin Faktörler.....	49
Tablo 3. 2. Serbestlik Dereceleri Ve Toplam Serbestlik Derecesi.....	49
Tablo 3. 3 Faktör Ve Etkileşimlerin L ₁₆ Ortogonal Dizisine Atanması.....	51
Tablo 3. 4 Varyans Analizi Sonuçları.....	52
Tablo 3. 5 Birleştirilmiş Varyans Analizi Sonuçları.....	52
Tablo 3. 6 Belirlenen Faktörler Ve Seviyeleri.....	54
Tablo 3. 7 Seçilen L ₂₅ Deney Planı ve 1. Sütuna Göre Blok İçinde Rassallaştırılmış Deney Sırası.....	56
Tablo 3. 8 Deneysel Sonuçlar ve Performans İstatistikleri	57
Tablo 3. 9 Performans İstatistiği “Fosforik Asit Miktarı” Üzerine Yapılan Varyans Analizi	58
Tablo 3. 10 Performans İstatistiği “Kalsiyum Miktarı” Üzerine Yapılan Varyans Analizi	58
Tablo 3. 11 En İyi Değişken-Seviye Birleşimi Seçimi.....	59
Tablo 3. 12 Fosforik Asit Miktarı Ortalamaları Üzerine Yapılan Varyans Analizi	60

Tablo 3. 13 Kalsiyum Miktarı Ortalamaları Üzerine Yapılan Varyans Analizi.....	60
Tablo 4. 1. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktörler ve Seviyeleri.....	67
Tablo 4. 2. Faktör ve Etkileşimlerin Serbestlik Dereceleri ve Toplam Serbestlik Derecesi.....	69
Tablo 4. 3 Faktörlerin Sütunlara Atanması.....	70
Tablo 4. 4. Standart L16 Ortogonal Dizisine Faktör ve Etkileşimlerin Atanması.....	71
Tablo 4. 5. Standart L ₁₆ Dizisine Göre Belirlenen Deney Koşulları.....	73
Tablo 4. 6. Rassallaştırılmış L ₁₆ Dizisine Göre Belirlenen Deney Şartları.....	74
Tablo 4. 7 Deneyler Sonucunda Elde Edilen Datalar ve İlgili Hesaplamalar	75
Tablo 5.1.Ortalamalar Üzerine Yapılan Varyans Analizi Özet Tablosu.....	81
Tablo 5.2.Ortalamalar Üzerine Yapılan Birleştirilmiş Varyans Analizi Özet Tablosu.....	84
Tablo 5.3. Sütun Etkisine Ait Tablo.....	86-87
Tablo 5.4. Eğilme Testi Sonuçları ve Ortalama Performans Değerleri.....	89-90
Tablo 5.5. S/N Oranına Göre Ortalama Performans Değerleri.....	95-96
Tablo 5.6. S/N Oranı Üzerine Yapılan Birleştirilmiş Varyans Analizi Özet Tablosu.....	97
Tablo 6 1 Optimal Faktör-Seviye Birleşimi Tablosu	99
Tablo 6. 2. A ve B Faktörlerine ait Değerler.....	101

BÖLÜM 1: GİRİŞ

Günümüzün hızla gelişen teknolojik şartlarıyla birlikte, tüketici bilincinin sürekli artması kalite kavramının konuşulur olmasını sağlamış ve aranır hale getirmiştir. İşletmelerin artan rekabet ortamında varlığını sürdürebilmesi; kalitenin ve verimliliğin artırılması ve bu artışın sürekli kılınabilmesine bağlıdır .

Günümüz anlayışında kalite, kontrol edilmesi gereken bir özellik değil, üretilmesi gereken bir özellik olarak ele alınmaktadır. En genel şekliyle kalite “kullanım amacına uygunluk” olarak tanımlanabilir. Burada amaç malı kullanacak olan kişinin ihtiyacına ve ödeme olanaklarına göre belirlenir. O halde bir ürünün kalitesinden söz edilebilmesi için

- Kullanış amacının
- Fiyatının

göz önüne alınması gerekir. Ancak bir ürünün kalite düzeyinin önce tasarlanması ve sonra üretimle beraber gerçekleşmesi söz konusu olduğuna göre, tüm faktörleri iki temel unsur içinde toplamak mümkündür.

- Tasarım kalitesi; bir ürünün genel olarak tüketicilerin isteklerini karşılama derecesidir.
- Uygunluk kalitesi; belirli bir ürünün üretildiği zaman kendisi için tasarlanan kalite düzeyine uyma derecesidir.

Sonuç olarak; bir ürün veya hizmetin kalitesi “isteklerin; optimal tasarım ve uygunluğa sahip olarak, ideal bir ekonomik düzeyde karşılanmasıdır” şeklinde tanımlanabilir.

Günümüz endüstrisinin hızla gelişen rolü, otomasyona artan ilgi, hammadde ve işçilik giderlerinin artışı; daha güvenilir, bakım maliyetleri ve hata oranı düşük, müşteri güvenini kazanmış daha kaliteli mamullerin üretimini bugün bir zorluluk haline

getirmiştir. Dolayısıyla kalite iyileştirme ve geliştirme, pek çok organizasyonun rekabet edebilmesi ve ayakta kalabilmesi için en temel faaliyetler haline gelmiştir, (Montgomery, 1992, s.4).

Kalite geliştirmenin maliyet arttırıcı özelliği olduğunu kabul edenlerin sayısı oldukça fazla olmakla birlikte kalite geliştirme, eğer bir mamulün imal edildikten sonra veya onun ara işlemleri sırasında yapılan kontrol ve muayene olarak tanımlanırsa maliyet arttırıcıdır.

Son zamanlardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak mamüller belirlenen özelliklere uygun üretilebilmektedir. Buda kalitenin üretim esnasında olduğundan daha çok tasarım esnasında geliştirilmesinin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Birçok kalite uzmanının işaret ettiği gibi rekabete dayanan pazarda, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve pazar paylarını arttırabilmeleri için kalite geliştirme çalışmalarına önem vermeleri gerekmektedir, (Tsuji, 1992, s.44).

Bu işletmeler kalitenin, ürüne tasarım aşamasında kazandırıldığı, başarısı tüm kalite mühendisliği araştırmacılarınca da kabul edilen ve kalite danışmanı GENICHI TAGUCHI tarafından geliştirilen TAGUCHI METODUNU tercih etmişlerdir.

Taguchi tarafından kaliteyi sağlamak amacıyla yapılan çalışmalar On-line(çevrim içi) ve Off-line (çevrim dışı) kalite kontrol olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Taguchi Off-line kalite kontrol içinde kalite sağlamaya yönelik üç aşamalı bir yaklaşım geliştirmiştir. Bunlar, Sistem Tasarımı, Parametre Tasarımı ve Tolerans Tasarımıdır.

Taguchi'ye göre ürünün kalitesini geliştirmede en belirgin çalışmaların yapılabileceği aşama Parametre Tasarım aşamasıdır. Bu aşamada; üründe ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek ürün ve prosesteki varyasyonu enaza indirmek amacıyla istatistiksel deney tasarımı kullanılmaktadır.

Japonya'da Genichi Taguchi'nin önderliğinde istatistiksel deney tasarımı, imalat sektöründe kalitenin geliştirilmesi için çok etkin bir biçimde uygulanmıştır. Deneysel tasarıma yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, Taguchi sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek,

deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur,(Şirvancı,1994,s.43). Taguchi'nin kalite mühendisliği ve tasarımına en büyük katkısı, faktöriyel denemelerin ürün ve proses tasarımında daha etkin kullanımını sağlaması olmuştur.

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

Ürün geliştirme ve proses tasarımı için deneysel tasarımın kullanımı; kalite aktivitelerini on-line (çevrim içi) üretim prosesinden geriye tasarım ve geliştirme (Off-line) safhasına çekmektedir.

Deneysel tasarımın kullanımı ile ürün ve proses performansı, kontrol edilmesi güç hata faktörlerine karşı duyarsızlaştırılarak ürün kalitesi geliştirilirken; kalite kayıp fonksiyonu, ortogonal diziler, lineer grafikler, Varyans Analizi, S/N oranı gibi istatistiksel teknikler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Taguchi'nin felsefesinden bahsedilmiş ve kalite sağlamada en belirgin çalışmaların yapılabileceği Parametre tasarımı aşaması üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapılan bir uygulama ile, performans karakteristiğini etkileyen kontrol edilebilen faktörlerin uygun seviyeleri, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak belirlenmeye ve proses kontrol edilemeyen faktörlere karşı güçlü (robust) yapılmaya çalışılmıştır.

Bölüm 2'de, Geleneksel kalite anlayışı ile Taguchi'nin kalite yaklaşımı karşılaştırılıp, kayıp foksiyon, On-line ve Off-line kalite kontrolundan bahsedilmiştir. Taguchi deneysel tasarımın metodunun prosedürleri, deneyden elde edilen sonuçların yorumlanması ve varyans analizi bu bölümün konularındandır.

Bölüm 3'de, Taguchi deneysel tasarım metodu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar ve önemli sonuçları üzerinde durulmuş ve konu ile ilgili iki çalışma özetlenmiştir.

Bölüm 4'de, Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş.'de; yüksek mukavemete sahip şalter gövdelerinin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenebilmesi ve ürünün geliştirilmesi amacıyla yapılan uygulama anlatılmıştır. Bu bölümde performans

karakteristiğini etkileyen faktörler belirlenmiş, uygun ortogonal dizi seçilip deney yönlendirilmiştir.

Bölüm 5'de, deneyden elde edilen sonuçlar ortalamaya göre ve S/N oranına göre varyans analizine tabi tutulup optimum faktör-seviye birleşimi bulunmuştur. Belirlenen optimum şartlarda doğrulayıcı olması bakımından sağlama (doğrulama) deneyi yapılmış ve bu deneyden elde edilen sonuçların ortalamasının ve S/N oranının, belirlenen güven aralığının içinde olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Bölüm 6'da , elde edilen sonuçların daha önceki çalışmalarla ne derece uyum (veya uyumsuzluk) içinde olduğu tartışılıp, önerilerde bulunulmuş ve metodun avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

BÖLÜM 2: TAGUCHI METODU

2.1. Taguchi Metoduna Genel Bir Bakış

Kalite teknolojisi ve bilimindeki gelişme sürecinin önemli bir elemanı olan Taguchi metodu, kalite tanımına değişik bir bakış açısı getirmiş olup dizayn kalitesi ve kalite-maliyet optimizasyonu konuları ile ilgilidir.

Genichi Taguchi Japonya'nın endüstriyel ürün ve proses geliştirilmesinde 1940'lı yılların sonlarından beri aktif olan bir Japon mühendisidir. Deneysel tasarla ilgili çeşitli çalışmaları vardır, (Sudhaker, 1995, s.53). A.B.D.'de 1970 yılı başlarından beri çalışmalar yapmasına rağmen ancak 1980'de Amerikan şirketleri tarafından farkedilerek fikirleri uygulanmaya başlanmıştır. Son zamanlarda Genichi Taguchi'de M.E. Deming, K.Ishikawa ve J.M. Juran gibi kalite uzmanları arasında sık sık sözü edilen biri olmuştur,(Kackar,1989-a, s.3).

Taguchi'nin methodu kalite mühendislerinin süregelen çalışmalarından tamamıyla farklıdır. Methodolojisi, kalitenin ürün ve proseste tasarlanmasını öngörür. Geleneksel method ise muayeneye dayanmaktadır. Taguchi kalite geliştirme çalışmalarında istatistiki yöntemler kullanmış ve yaklaşımı Japon ürünlerinde kalitenin geliştirilmesinde son derece etkili olmuştur. Batı Endüstrileride bu methodu kalite geliştirmede basit fakat yüksek derecede etkili bir yaklaşım olarak benimsemeye başlamışlardır.

Kısaca yedi nokta Genichi Taguchi'nin kalite felsefesinin temel elementlerini anlatmaktadır .

- Bir mamulün kalitesinin önemli bir boyutu onun toplumda meydana getirdiği toplam kayıptır.
- Artan rekabet ortamında, işletmelerin ayakta durabilmesi ve varlıklarını

sürdürebilmeleri için kalite geliştirme ve maliyet düşürme çalışmalarının sürekli olması gerekmektedir.

- Sürekli bir kalite geliştirme programı, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının sürekli olarak azaltılması çalışmalarını içermelidir.
- Ürünün performansındaki kayıptan dolayı tüketicinin maruz kaldığı kayıp; sözkonusu performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının karesi ile orantılıdır.
- Bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti, önemli ölçüde mamulün ve ilgili imalat sürecinin mühendislik tasarımları ile belirlenir.
- Bir ürün veya prosesin performansındaki değişkenlik mamul performansı üzerinde etkili olan bir takım parametrelerin non-lineer etkilerini gidermekle düşürülebilir.
- İstatistiksel deney tasarımları mamul performansındaki değişkenliğe etki eden parametrelerin etkilerini azaltmada kullanılabilir,(Kackar, 1989-a,s.3).

Taguchi methodu ile ürün kalitesinin ancak tasarım aşamasında sağlanabileceği ve yapılacak deneysel çalışma ile gelecekte ortaya çıkması muhtemel hata ve aksaklıklar önceden tespit edilerek prosesin etkilere duyarsızlığının sağlanması vurgulanmaktadır.

2.1.1. Geleneksel Kalite Kontrol Yaklaşımı ve Toplumsal Kayıp

1980'li yıllarda Amerika'da kaliteyi meydana getiren faktörler çok dar bir bakış açısından değerlendirilmekteydi. Philip B. Crosby "Quality is Free" kitabında, mamulün belirlenen ölçülerde, izin verilen toleranslar dahilinde yapılmasının "yüksek kaliteyi" sağladığını savunmuştur. Sadece tasarımcıyı ve imalatçıyı memnun eden bu görüş Goalpost (kaledireği) sendromudur.

Nasıl, futbolda top kaledirekleri içerisinde hangi noktadan olursa olsun ağırları bulunduğu gol oluyorsa, bu felsefede de mamul karakteristikleri, toleranslar dahilinde hangi değeri alırsa alsın kaliteli sayılmaktadır,(Ross,1988.s.2-3).

Oysa kalite, sadece alt ve üst limitler arasında üretmek değil, hedeften mümkün olduğunca az saptır. Kayıplar ürün tasarımında kalite uygulamasıyla minimize

edilebilir.

Kalite kayıpları hem finansal hem de sosyal kayıplardır. Ayrıca müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Kalite kayıplarının minimizasyonu bugünün uluslararası iş çevrelerinde rekabete dayanmak ve hayatta kalmak için tek yoldur, (Tsuı,1992, s.45).

Taguchi'ye göre ise kalite; "Ürünün gönderildikten sonra toplumda meydana getirdiği kayıptır", (Sudhaker, 1995, s.53).

Kayıp bir ürünün talebini etkileyen bir faktördür ve kayıp ne kadar az olursa ürüne karşı istek o kadar çok olacaktır. Bir ürünün toplumsal kayıpları şunlardır:

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

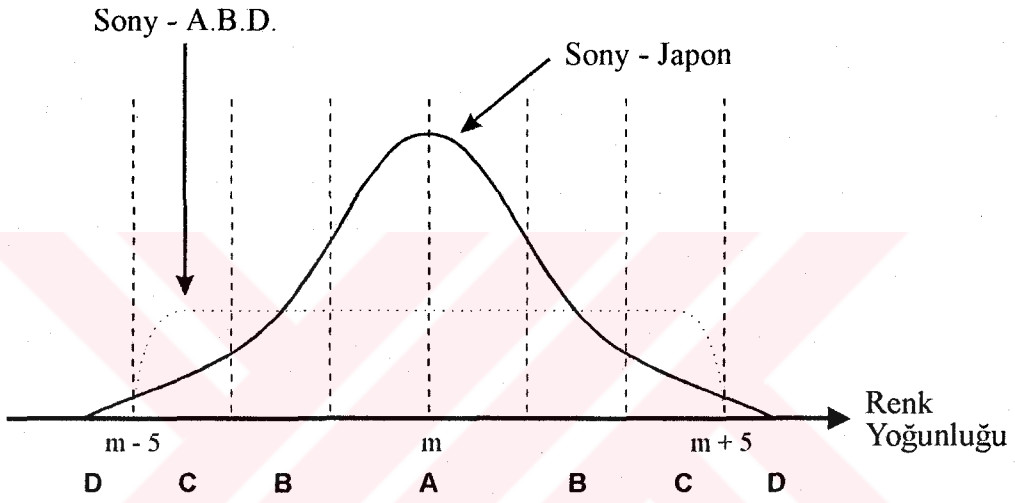
Bir ürünün zayıf performansının etkisi ile meydana gelen kayıpların tamamı ürün kalitesini belirlemektedir, (Baraılı, 1992, s.132).

Yalnızca spesifikasyonları karşılamak kalitenin zayıf bir göstergesidir. Kalite ölçütü öngörülen hedeften uzaklaştıkça performans buna bağılı olarak aşınmaktadır. Önemli olan spesifikasyonlar karşılandığı halde değışkenliğı azaltmaktadır.

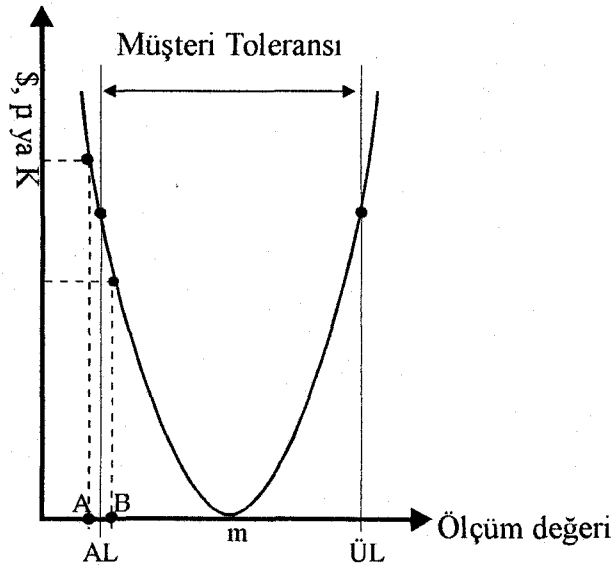
Bu durumu bir örnekle açıklamaya çalışırsak Şekil 2.1'de Sony marka renkli T.V. alıcıları üreten biri Japonya'da diğeri A.B.D.'de iki ayrı fabrikadan alınan eşit sayıda örnek üzerinde yapılan deneyin sonuçlarını göstermektedir. Bu deneylerde ölçülen performans karakteristiğı T.V. alıcılarının renk yoğunluğu olur. Şekilde de görüldüğü gibi Japonya'da üretilen T.V. alıcılarında renk yoğunluğu bir normal dağılım gösterirken, kategorik olarak örneklerin sayıca büyük bir kısmı "A"derecesine ve giderek azalan bir şekilde "B" ve "C"derecelerine sahiptirler. A.B.D."de üretilen T.V. alıcılarında yapılan ölçümlerde renk yoğunluğunun dağılımında herhangi bir uyumsuzluk görülmemekte, yani tüm ölçümler spesifikasyon limitleri arasında kalmakta ve dağılımın benzer olduğı görülmektedir. Aynı firmanın, aynı tasarıma göre üretilmiş olan eşit sayıda ürün örneğı üzerinde yapılan bu deney sonuçları Japonya'da üretilen T.V.'nin kalitesinin A.B.D.'de üretilenlerden daha iyi olduğunu göstermiştir.

Her iki firmada da benzer tasarımlar ve toleranslar kullanılarak üretim yapılıyorsa da, kalitelerinde görülen farklılık nasıl açıklanabilirdi?

Ayrıca; gönderilen Sony Japon yapımı T.V.'lerde tolerans limitleri dışındaki oran % 0,3 iken, Sony-A.B.D. T.V. 'lerinin gerçekte hiçbirisi tolerans limitleri dışında değildir. Kısacası; müşterilerin kalite anlayışındaki farklılık Sony-A.B.D.'nin sadece toleransları karşılamak için gösterdiği çabanın bir sonucudur, (Phadke,1989,s.32, Singpurwalla,1992,s.19, Sudhaker,1995,s.53).



Şekil 2.1. Sony-A.B.D. ve Japon TV'lerin Renk Yoğunluğu (Phadke,1989,s.32, Singpurwalla, 1992, s.19, Sudhaker, 1995, s.53)



Şekil 2. 2. Kayıp Fonksiyon Eğrisi (Kackar, 1989-a, s.8)

Taguchi, kalite kaybını kayıp fonksiyon olarak tanımlamış ve şu formülle açıklanmıştır.

$$L = k (y-m)^2 \quad (2.1)$$

L: Belirli bir y değeri için oluşan kayıp

m: Spesifikasyonun nominal değeri

k: Spesifikasyon limitlerine ve genişliğine bağlı bir katsayı (Ross, 1988, s.9).

Taguchi kayıp fonksiyonu, müşterilerin isteğinin daha istikrarlı ürünler, üreticilerin isteğinin ise daha az maliyetli ürünler üretmek olduğunu fark etmiştir.

Topluma mal olan zararları minimum yapmak için uniform ürünlerin üretimine özen gösterilmelidir. Yukarıdaki formül, en kolay bir kayıp fonksiyon hesap edilmesine yarayan bir formüldür. Şekil 2.2'de görülen kayıp fonksiyonun da AL alt spesifikasyon limitini ve ÜL'de üst spesifikasyon limitini göstermektedir. Değerler nominal değere yakın olduğu sürece bir maliyet oluşturmaz. Nominal değerden uzaklaştıkça maliyetler artar ve limit değere gelindiğinde ayarlama maliyetine eşit olur.

Taguchi kayıp fonksiyonu proseste görülen değişkenliği ölçmektedir.

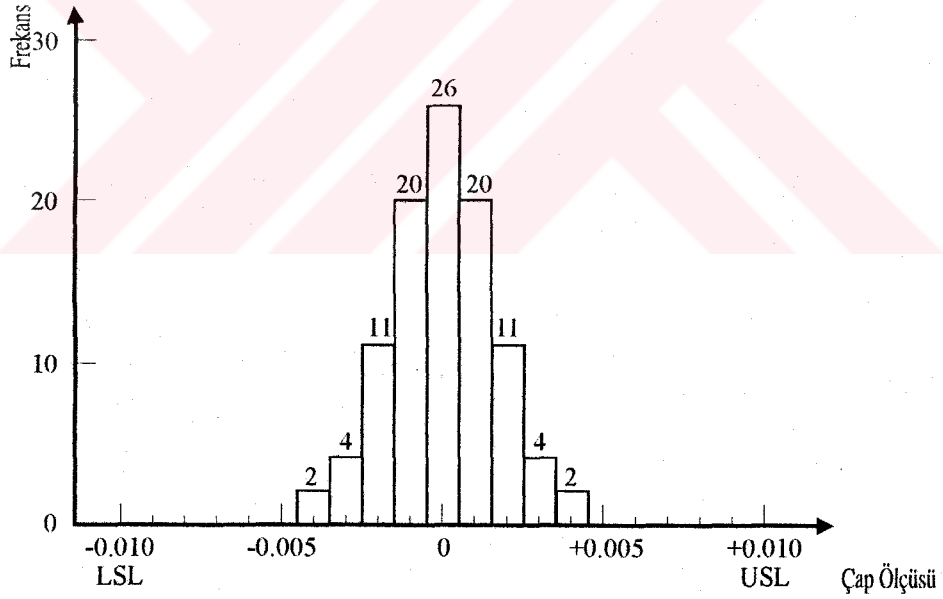
2.1.2. Taguchi Kayıp Fonksiyon Örneği

Kayıp fonksiyonu değişik bir kalite kontrolü yaklaşımını içermektedir. Bunu anlamak için de, bir Frekans olasılığı, ürünlerin performans karakterlerinin ölçülen değerlerine göre dağılımı gibi bir görüş ortaya koyulmuştur. Tipik bir frekans dağılımının normal dağılıma uygun olması ve belirli limitler içinde kalması istenir. Fakat birçok işletmede bu durum böyle değildir. Yani dağılımlar normal dağılım içermez ve içermeyebilir.

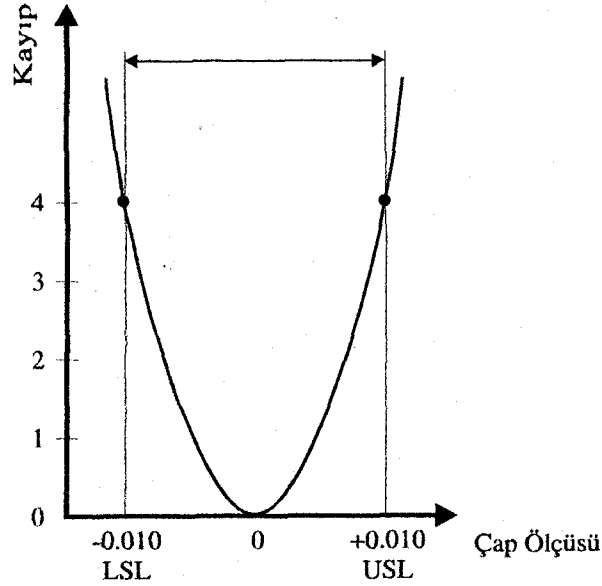
Üretim ve işletim kalitesinin önemli yönlerinden biri de dağılım genişliği ve üretim spesifikasyon limitlerinin birbirine uygunluğudur. Eğer dağılım, spesifikasyon limitlerinden daha dar ise, yani spesifikasyon limitleri içinde kalıyorsa o zaman hemen hemen bütün parçalar kabul edilebilir durumdadır. Bu durum istatistiksel açıdan böyledir, ancak kayıp fonksiyonu açısından durum nasıldır? Bunu açıklamak için bir kayıp fonksiyon uygulaması örnekleniyor.

Bir makine parçasının üretiminde toleranslar ± 0.01 inch (± 0.25 mm) olarak verilmiştir. Eğer üretimler bu toleransa uygunluk gösterirse, ürünler için spesifikasyonları sağlıyor denebilir. Şekil 2.3'de görülen histogram 100 değişik parçadan oluşmaktadır. Eğer bir parça imalat hattını limitlerin altında veya üstünde bir dış çapla tamamlarsa \$4'lık bir hurda maliyeti oluştuğunu varsayalım. Bu maliyet toplumsal kaybın sadece bir kısmını oluşturmaktadır.

Spesifikasyonlar mamulün güvenilirliği ile ilgili olduğuna göre, spesifikasyon limitlerine yaklaştıkça mamul daha az müşteri tatmini sağlar. Limitler arasında kalındığında da müşteri veya imalatçı bazı kayıplara maruz kalır, bunlar da işletmeye hurda ve topluma da kayıp olarak etki eder. Bu durum için hurda maliyeti referans değer olarak alındığında kayıp fonksiyonunun uygulandığı Şekil 2.4'de görülmektedir , (Ross, 1988, s.7-11).



Şekil 2. 3. Parça Dağılım Histogramı (Ross, 1988,s.9)



Şekil 2. 4. Örneğin Kayıp Fonksiyon Eğrisi(Ross,1988,s.10)

Örnekte, $L = k (y-m)^2$ ile verilen kayıp fonksiyonunda, verilen verilere göre k sabiti hesaplanabilir.

$$L = \$ 4$$

$$y = \pm 0.010 \text{ (Alt ve Üst spesifikasyon limiti)}$$

$$m = 0 \quad \text{(Hedeflenen değer)} \quad \text{olarak veriliyor.}$$

$$L = k (y-m)^2$$

$$4 = k (AS-m)^2 \Rightarrow k = 4 / (AS-m)^2$$

$$m = 0 \text{ olduğunda } k = \$ 40000 \text{ olur.}$$

Burada alt spesifikasyon limiti yerine üst spesifikasyon limiti de kullanılabilirdi.

Formül ; $L = \$40000 (y-0)^2$ şeklini alır ve artık herhangi bir parçanın ölçülen değerine göre kayıp hesaplaması yapılabılır.

Örneğin $y = 0.002$ inch için kayıp;

$L = \$40000 (0.002 - 0.0)^2 \Rightarrow L = \0.16 'dır ve sadece bir parça içindir. Yukarıdaki histogramda (bkz. Şekil 2.3.) görüldüğü gibi 0.002 inch ölçüsünde 11 adet parça

olduğuna göre bunların oluşturduğu toplam kayıp \$1.76 olur.

Bu hesaplama tüm parçalar için yapılırsa, bir parça için ortalama kayıp;
 $L = 10.56 / 100 = \$ 0.11 / \text{parça}$ 'dır.

rnler belli fonksiyonları gerçekleştirmek amacıyla tasarlandıklarına göre kalite karakteristiği olarak adlandırılan bazı ölçülebilir karakteristiklerle, ürünün istenen fonksiyonları ne ölçüde yerine getirdiği ölçülebilir.

Kayıp fonksiyonu; örneğimizdeki gibi nominal değerin en iyi değer olduğu mamul karakteristiklerinden başka EN-DüşüK-EN-İYİ ve EN-YÜKSEK-EN-İYİ gibi diğer karakteristikler için de uygulanabilmektedir. Sürtünme kaybı, aşınma veya gürültü en-düşük-en-iyi mamul karakteristiklerine örnektir. Etkenlik, dayanıklılık ve kullanım kolaylığı da en-yüksek-en-iyi mamul karakteristiklerine örnek oluşturmaktadır. Tablo 2.1'de belirlenen karakteristik tipine göre kayıp fonksiyon tipleri özetlenmektedir.

Topluma olan maliyeti en kkleyebilmek için performans karakteristiğinin nominal değer etrafında toplanması gerekir. Böylece bu karakteristiğin varyansında da azalma olacaktır.

Tablo 2. 1. Kayıp Fonksiyon Tipleri (Ross,1988, s.19)

KARAKTERİSTİK TİPİ	KAYIP
En-yüksek-en-iyi	$k (1/y^2)$
Nominal-en-iyi	$k (y - m)^2$
En -düşük-en-iyi	$k(y)^2$

Kayıp fonksiyonu kalite yönetimine iki temel görev vermektedir.

- Üretim başlamadan önce varyansın belirlenmesi ve zamanla kaybı azaltacak şekilde çalışmalarını geliştirme görevini yerine getirmeleri,
- Üretim görevlilerinin dağılımının nominal bir değer etrafında toplanmasını sağlama sorumluluğudur.

Bunlar Çevrim -içi (On-line) Kalite kontrol ve Çevrim- dışı (Off-line) Kalite kontrol kavramlarının çıkış noktalarıdır, (Ross, 1988, s.18). Böylece kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line kalite kontrol olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır,(Lochner and Matar ,1990, s.15).

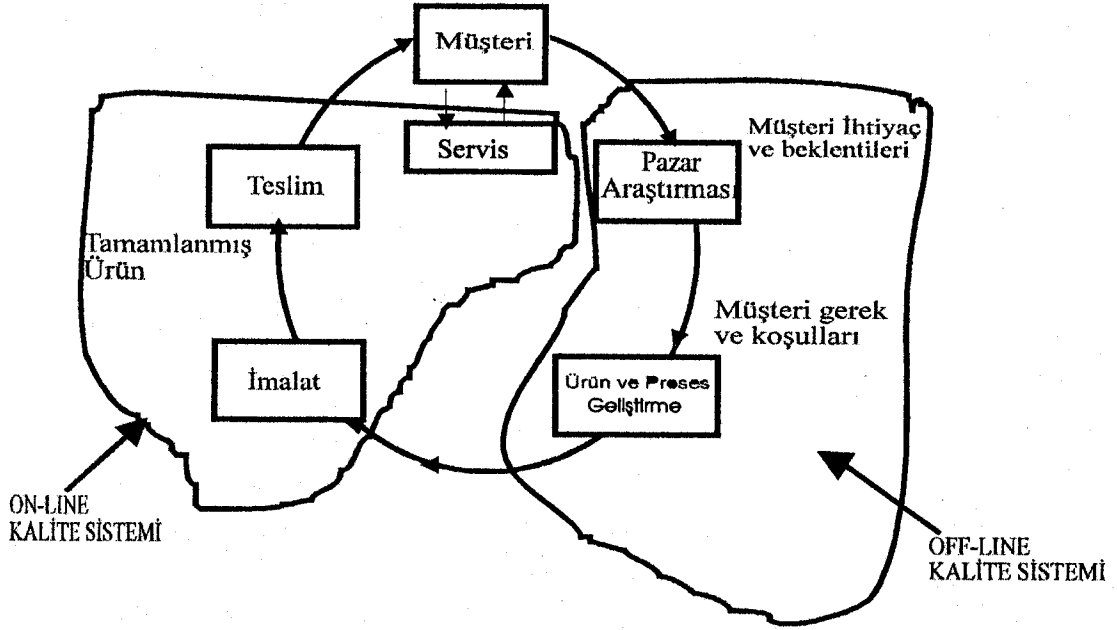
2.1.3. On-Line ve Off-Line Kalite Kontrol Kavramları

On-line kalite kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel proses kontrolü ve çeşitli muayeneler, on-line kalite kontrol faaliyetlerindedir. Ürünler müşteri için imal edilmeye başlandığında on-line (çevrim-içi) kalite kontrol aktiviteleri başlar.

Off-line kalite kontrolü metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır, (Kackar, 1989-b, s.55). Off-line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır. Off-line kalite kontrol metotları kalite ve maliyetin kontrolü için teknik destek çalışmalarıdır. Şekil 2.5’de de görüldüğü gibi bu aşama, müşteri istek ve beklentilerinin belirlenmesi, bu beklentileri karşılayacak ekonomik ürün tasarımı ve üretim için spesifikasyonların, prosedürlerin, ekipmanın geliştirilmesi konularını kapsamaktadır. Deneysel tasarım, Taguchi’nin kalite sisteminde Off-line kalite kontrol içinde yer almaktadır. (Kalite kontrol, kalite planlama ve kalite iyileştirmeyi kapsayacak şekilde geniş anlamda kullanılmıştır.)

Taguchi, Off-line kalite kontrolü, ürün tasarımı ve proses tasarımı açısından ikiye ayırıyor. Ürün tasarımı aşamasında yeni bir ürün geliştirilir veya mevcut ürünün tasarımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır. Buradaki amaç, müşteri isteklerini karşılayabilecek ve üretilebilir ürün tasarlamaktır. Proses tasarımı aşamasında ise ürün tasarımı aşamasında spesifikasyonları karşılayacak üretim prosesleri geliştirilir, (Şirvancı, 1994, s.44).

Taguchi Off-line kalite kontrolünün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım geliştirmiştir, (Pignotiello,1988,s.247).



Şekil 2. 5. Ürün / Kalite Çemberi (Lochner and Matar,1990,s.16)

- Sistem Tasarımı
- Parametre Tasarımı
- Tolerans Tasarımı aşamalarıdır.

Sistem tasarımı metodun ilk aşamasıdır. Bu aşamada tasarımcı tarafından yapıların değişimi inceleniyor ve bir ürünün istenen fonksiyonları elde edebilmesi için teknolojiler tasarlanıyor ve ürün için en uygun olan bir tanesi seçiliyor, (Sudhaker,1995,s.55). Tasarlanan ürün prototipinin geliştirilmesi için gerekli yatırım ve tercihlerle ilgili kararlar da bu aşamada verilir. Malzeme, bileşen parça ve alt montajların seçimi, yeni bilimsel ve teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesi makine ve teçhizatlarla ilgili verilecek yeni kararlar bu aşamanın konusunu oluşturur.

Taguchi'ye göre, ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama hem ürün hem de proses için parametre tasarımı aşamasıdır.

Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç üründe ortaya çıkabilecek varyasyonu asgariye indirerek, ürünün maliyetini azaltmaktır.

Proses parametre tasarımı; kontrol edilebilen proses parametreleri için optimal düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her iki parametre tasarımında da amaç üründe ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal seçerek ürün ve prosesteki varyasyonu en aza indirmektir,(Şirvancı, 1994,s.44). Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına robust dizayn demektedir.

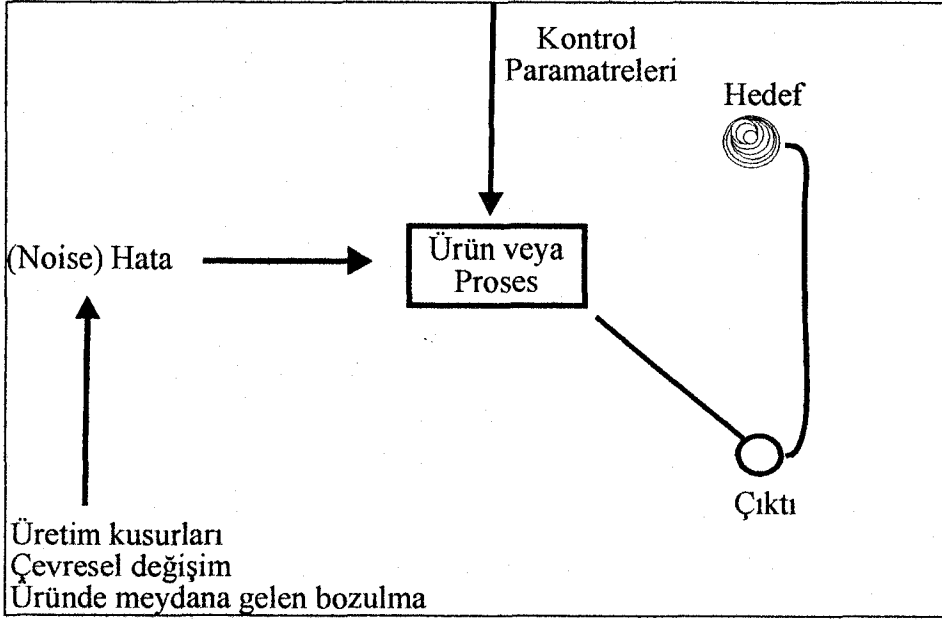
Ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük üretim maliyetiyle geliştiren bu metodun ana fikri performansı; hata (noise) faktörlerine karşı duyarsızlaştırarak hedef değerden sapmayı en aza indirmektir. Şekil 2.6'da robust dizayn metodunu objektif olarak özetlemektedir. Şekilde de görüldüğü gibi ürün veya proses kontrol faktörleri ve noise(hata) faktörleri tarafından etkilenmektedir ve çıktı değeri noise faktörlerin varlığından dolayı hedef değerden sapma göstermektedir,(Tsuı,1992,s.44).

Kontrol faktörleri; seviyeleri deney sırasında veya sonrasında belirtilebilen ve kontrol edilebilen faktörlerdir.

Kontrol edilemeyen faktörler; ürün yada proses sonuçları üzerinde etkisi olan fakat üretim esnasındayken kontrol edilmeleri genellikle pahalı veya imkansız olan faktörlerdir. Noise (Hata) faktörü olarak da bilinirler.

Robust dizayn ile ürün geliştirme ve proses tasarımı için deneysel tasarımın kullanımı; kalite aktivitelerini, On-line üretim prosesinden geriye tasarım ve geliştirme safhasına çekmektedir.

Çok faktörlü bir deneyde tüm mümkün durumları belirleme ve inceleme tekniği, deney tasarımı olarak bilinmekte ve faktör etkilerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde yapılacak her yeni denemede mevcut faktörlerden birinin kademesi değiştirilir ve diğer faktörler sabit tutulur. Böylece herhangi bir karakteristik için yapılacak deneyin deneme sayısı faktör ve seviye sayısına bağlı olarak; faktörler iki seviyeli ise 2^n , seviye sayısı üç ise 3^n olur (n faktör sayısıdır). Her bir faktöre ait tüm seviyeler için deneme yapmak gerekmektedir. Bu da faktör sayısı arttıkça deneme sayısında da bir artışa sebep olacaktır. Deneme sayısındaki söz konusu artış maliyetleri de buna bağlı olarak artırdığından ve önemli ölçüde vakit aldığından kalite geliştirme de kullanılmaya elverişli olamamıştır.



Şekil 2. 6. Robust Dizayn (Tsui, 1992,s.45)

Bu şekilde tüm faktör bileşenlerinin denendiği tasarım metoduna tam faktöriyel tasarım denir.

Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda çok daha az denemeli ve en az klasik olanı kadar iyi sonuç veren deney dizileri geliştirmiştir. Bu dizilere ortogonal diziler adı verilir. Kısmi faktöriyel tasarıma dayanarak hazırlanan bu metotta bütün deneyleri tek tek yapmak yerine deney setinin tümünü temsil edebilecek daha az sayıda bir deney seti ile optimuma yakın bir faktör bileşiminin bulunması sağlanır.

Tolerans tasarımı, parametre tasarımının varyasyonu azaltmada yeterli olmadığı kanıtlandığı durumlarda kullanılır. Parametre tasarımında düşük maliyetli, geniş ölçüde değişen bileşenler veya faktörler kullanılabilir. Varyasyonu istenilen değere düşürmek için bu bileşenlerin kalitesinin geliştirilmesi halen gerekiyorsa, tolerans tasarımı gündeme gelir.

Bu aşamada, belirlenen nominal değer etrafındaki toleranslar saptanır. Dar toleransların üretim maliyetini yüksetmesi, geniş toleransların da performans sapmalarını arttırması dolayısıyla tolerans tasarımında bu ikisi arasında optimum noktanın belirlenmesi gerekir.

Mamul geliştirilirken bir problemle karşılaşıldığında tolerans tasarımı aşamasına

geçilmeden, ilk olarak parametre tasarımının kullanılması daha uygundur. Tolerans tasarımında, toleransları daraltarak varyasyonu düşürmenin ve kaliteyi iyileştirmenin maliyeti yüksek olabilir. Oysa ilk olarak parametre tasarımı kullanıldığında tolerans tasarımına gerek bile kalmayabilir. Bir tasarımcının yapabileceği en önemli hata; parametre tasarımı yaklaşımını uygulayarak mamul için düşük maliyetli bileşenler, maddeler ya da proses kullanılabileceği halde pahalılarını kullanmak olacaktır.

2.2 Parametre Tasarımı

Parametre tasarımı, varyasyonun nedenini araştırmadan ve ortadan kaldırmadan kaliteyi geliştirmek ve mamulü kontrol edilemeyen faktörlere karşı güçlü yapmak için kullanılır. Parametre tasarımı ile kontrol faktörleri için uygun bir seviye seçilerek kontrol edilemeyen faktörlerin bozucu etkilerini azaltmak amaçlanmaktadır. Bu uygun seviyenin oluşturulmasında; kontrol faktörlerinin değişen değerleri ile ilgili deneyler yapılır ve bu faktörlerin farklı kombinasyonları ile yapılan her bir deney için hata faktörlerinin farklı kombinasyonlarının etkisi ölçülür. Bu durum, performans karakteristiğini etkileyen faktörler arasında hata faktörlerinin bulunduğu durumlarda geçerlidir. Parametre tasarım stratejisi, iç ve dış dizileri kullanarak kontrol faktörlerini hata faktörlerinden ayırır ve kontrol faktörlerinin seviyelerini belirlemek için hata faktörleri dış diziyeye atanır. Tablo 2.2'de görüldüğü gibi bu deney planında kontrol faktörleri için ayrı bir dizi (İç dizi) ve hata (kontrol edilemeyen) faktörleri için ayrı bir dizi (dış dizi) bulunmaktadır.

Tabloda'da görüldüğü gibi gözlem değerleri her iki dizinin şartları göz önünde bulundurularak elde edilir.

Datalar elde edilirken her bir denemede kontrol faktörleri baştan ayarlanır ve denemenin tekrarları olarak bilinen hata faktörleri dizisi' de denemenin sonuna dek her seferinde yeniden ayarlanır. Tablo'daki deneysel planda 32 farklı koşul gözükmektedir.

Bir deneme numarası, kontrol faktörlerine göre bir test koşulunu belirlediği halde dış dizi bu deneme koşulu için hata faktörlerine göre 4 test koşulunu belirler. Testlerin yapılmasının yüksek maliyetli olduğu durumlarda önemli olduğu sanılan sadece bir hata faktörü göz önüne alınır ve diğerleri dış diziden çıkartılır, (Ross,1988, s.171).

Tablo 2.2. İç/Dış Ortogonal Dizi (Ross,1988, s.171)

		İÇ DİZİ (KONTROL FAK.)							DIŞ DİZİ (NOİSE,HATA FAK.)			
		A	B	C	D	E	F	G	Z	Y	X	
DENEME NO	Sütun no.	1	2	3	4	5	6	7	Y1	Y2	Y3	Y4
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	*	*	*	*

Taguchi performans istatistiği olarak S/N (Signal / Noise) oranı olarak adlandırdığı bir kriterin kullanımını tavsiye etmektedir. Performans istatistikleri, kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece kontrol faktörlerinin en uygun bileşimleri bulunmuş olacaktır,(Kackar, 1989-a,s.16-17, Lochner and Matar, 1990, s.137).

Taguchi, kayıp fonksiyonun daha önce belirtilen tipleri (bkz Tablo 2.1) ile ilişkili olarak 3 tane S/N oranı geliştirilmiştir, (Pignatiello, 1988, s.251).

Bunlar aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

Performans karakteristiğinin en-düşük-en-iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.2)$$

En-yüksek (büyük)-en-iyi olduğunda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.3)$$

Nominal-en-iyi olduğunda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (2.4)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.4.1)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \text{ dir.} \quad (2.4.2)$$

y_i = Performans karakteristiğinin i . gözlem değeri

n = Bir denemedeki test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin ortalaması

S^2 = Gözlem değerlerinin varyansı, (Kackar,1989,s.17).

S/N oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Analizlerde S/N'nin en büyük değeri daha tercih edilir durumu belirtmektedir, (Lochner and Matar,1990,s.137). S/N oranı, çok sayıda tekrarı mevcut varyasyonu yansıtan tek bir değerde birleştirir.

2.3. Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Prosedürleri

Taguchi'nin kalite geliştirme anlayışına değindikten sonra Taguchi deneysel tasarım metodunun uygulanış aşamasında izlenecek prosedür üzerinde durmak yerinde olacaktır. Taguchi'nin deneysel tasarımı aşağıdaki temel adımları içermektedir(Ross, 1988.s.203).

- 1- Çözülecek olan problemin belirlenmesi
- 2- Performans karakteristikleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi
- 3- Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin

belirlenmesi

- 4- Faktörlerin kontrol ve hata faktörleri olarak ayrılması
- 5- İncelenecek bileşik etkilerin belirlenmesi
- 6- Uygun ortogonal dizi seçimi
- 7- Kontrol faktörleri ve etkileşimleri için lineer grafiğin çizilmesi
- 8- Faktörlerin ve etkileşimlerin sütunlara atanması
- 9- Kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistiklerinin seçilmesi
- 10- Deneylerin yapılması ve sonuçların kaydedilmesi
- 11- Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi
- 12- Gerçekleme deneyinin yapılması ve deneyin sonuçlandırılması

2.3.1. Çözülecek Olan Problemin Belirlenmesi

Problemin iyi anlaşılması deneyin kurulabilmesinde çok önemlidir. Burada ya ilgili üretimin herhangi bir safhasında daha önce tespit edilmiş bir problem üzerinde durulur yada Kaizen felsefesi gereği yapılan sürekli kalite geliştirme çalışmalarında tespit edilmiş herhangi bir aksaklık üzerinde durulur.

2.3.2. Performans Karakteristikleri ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi

Performans karakteristiklerinin ve deney tamamlandığında ulaşılmak istenen sonucun tanımlanmasını içerir. Burada performans karakteristiğinde anlaşılması gereken ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli ve performansı için belirleyici olan özelliklerdir. Öte yandan belirlenen performans karakteristiğinin ölçümü için gereken aletlerin seçimi ve ölçme metotlarının belirlenmesi de gerekmektedir.

2.3.3. Performans Karakteristiklerini Etkileyen Faktörlerin Seçimi ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Hedef tespit çalışmaları tamamlandıktan sonra performans karakteristiğini etkileyeceğine inanılan faktörlerin belirlenmesi ve listelenmesini içerir. Faktör tespiti yapılırken mamul ve prosesle ilgili kişilerden bir grup kurulur ve bütün proses göz önüne alınır. Beyin fırtınası, akış şeması veya balık kılıcı diyagramı incelemek faktörlerin belirlenmesinde yardımcı olabilir.

Beyin Fırtınası tekniği, belirli problemlerle ilgili bir grup insanı bir araya getirmeyi ve

onların hangi faktörün incelenmesi gerektiği hususundaki önerilerine başvurmayı kapsar. Mamul ya da proses uzmanlarını ve istatistik bilgisi tam olan insanları; faktörleri ve deney yapısını tartışmak üzere bir araya getirmek çok uygundur.

Akış şeması oluşturularak; prosesle ilgili olan durumlarda proses sonuçlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi mümkündür ve bu yöntem ile önemli faktörlerin gözden kaçması önlenir.

Sebebe -Sonuç diyagramları kullanılarak; elde edilen temel bir sonuçla başlanır ve bu sonucu doğurabilecek sebeplerin incelenmesi ile gelişir. Sonuç ağacının gövdesinden birincil, ikincil ve hatta üçüncül sebepler dallanır. Bu diyagram bir problemin olabilecek sebeplerini bulmada kullanışlı ve etkili bir yöntemdir. İyi çizilmiş bir diyagram, problem üzerinde etkili olabilecek tüm sebepler arasındaki ilişkiyi açıkça gösterir, (Ross, 1988,s.71-73).

Deneyde ilk önce performans karakteristiklerini etkileyeceği düşünülen tüm faktörler göz önünde bulundurulur. İlk deneyde az seviyesi olan çok sayıda faktör kullanımı tercih edilmelidir, çünkü ilk deneyin amacı bazı önemsiz faktörleri elemeye ve mamulün problemi ile ilgili ya da kalite değerini arttırmaya katkıda bulunan önemli bir kaç faktörü belirlemektir,(Ross1989,s.72).

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin kaç değişik seviyede inceleneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörlerin kademeleri en az iki olmak üzere üç veya daha çok olabilir. Ancak seviyeleri iki veya üç olarak belirlemek büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesinin o faktör için kullanılan seviye sayısından bir eksikliğine eşit olduğu bilinmektedir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir,(Ross,1988,s.74). Seviye sayısını arttırmakla toplam serbestlik derecesi artacak buna bağlı olarak yapılacak test sayısı da artacaktır. Her bir faktör için serbestlik derecesinin bir olması toplam test sayısını en küçükleme için. Deneyin ilk aşamasında bir çok faktör elenir ve kalanları deney hacminde, maliyet ve zamanı arttıran bir artışa neden olmadan bir kaç seviyede incelenir.

2.3.4 Faktörlerin Kontrol ve Hata Faktörleri Olarak Ayrılması

Taguchi faktörleri iki ana gruba ayırır; kontrol faktörleri(kontrol edilebilen faktörler) ve hata faktörleri (kontrol edilemeyen, noise faktörler).

Kontrol faktörleri; imalatçı tarafından oluşturulan ve müşteri tarafından doğrudan değiştirilemeyen faktörlerdir.

Hata faktörleri; imalatçının doğrudan kontrol edemediği, müşterinin çevresi ve kullanımına göre çeşitlilik gösteren faktörlerdir.

Hata (noise) faktörleri 3 kategoriye ayrılabilir,(Taguchi and Phadke, 1989, s.78).

Dışsal hata (noise) faktörleri; ısı, nem, basınç veya insanlar gibi çevresel faktörlerdir.

İçsel hata (noise) faktörleri; bozulma, yıpranma, rengin solması, küçülme vb. fonksiyon ve zamana bağlı faktörlerdir.

Mamul hata (noise) faktörleri; kendilerini bölümden bölüme değişimlerde gösterirler. Birimler arası hata olarak da bilinirler. Aynı spesifikasyonlara göre üretilen mamullerde malzeme, imalat ekipmanları ve montaj prosesinde değişkenlikler sebebi ile oluşan farklılıklardır.

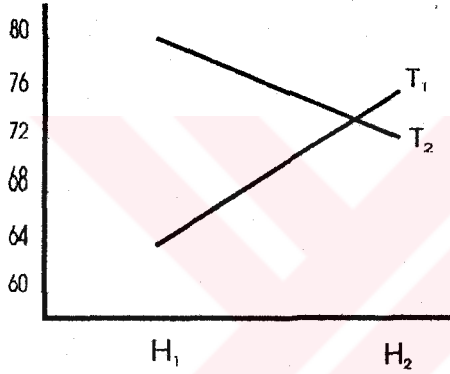
Proses ya da mamulün tasarım kalitesi, içsel ve dışsal hata faktörlerinden dolayı oluşan fonksiyonel varsayımların daha az olmasını sağlar ve hedef değere yaklaşır.

2.3.5. İncelenecek Bileşik Etkilerin Belirlenmesi

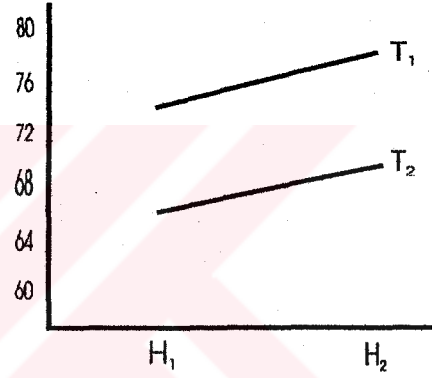
İki faktörün etkileşimli olması, faktörlerden birinin etkisinin diğerine bağımlı olmasıdır. A faktörünün etkisinin B faktörünün etkisini değiştirmesi gibi. Bu durum AxB şeklinde gösterilir. Örneğin sıcaklık ve nem arasında insan rahatlığı açısından güçlü bir etkileşim vardır. Sıcaklıktaki bir artış küçük bir rahatsızlık verebilir fakat nem arttıkça rahatsızlık daha fazla artar. Rahatsızlık seviyesinin bu iki faktöre bağlı olduğunu düşünürsek, etkileşimli ve etkileşimsiz durumlar için veriler Tablo 2.3'de gösterilmektedir, (Özbayrak,1995).

Tablo 2. 3. a-) Etkileşimli Durum Tablo 2. 3. b-) Etkileşimsiz Durum

	T ₁	T ₂	Toplam		T ₁	T ₂	oplam
H ₁	62	80	142	H ₁	62	75	142
H ₂	75	73	148	H ₂	70	78	148
Toplam	137	153	290	Toplam	137	153	290



Şekil 2.7a-) Etkileşimli Durum Grafiği



Şekil 2.7.b-) Etkileşimsiz Durum Grafiği

Şekillerden de anlaşıldığı gibi, etkileşimli durumda çizgiler kesişir, diğer durumda ise kesişmez. İki faktör arasında etkileşim olup olmadığını daha önceden belirlemek için bir metot yoktur. Bu konuda deneyimlerden yada daha önceki Taguchi deneylerinden yararlanılabilir. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, bu faktörlerin dışında bir de etkileşimlerin oluşturduğu bir sütun bulunur ve etkileşimlerde faktör gibi kabul edilip diziye atanır, (Pignatiello and Ramberg, 1991, s.211).

Karşılaşabilecek bazı bileşik etkilerin deney planına katılması seçilecek deney planının boyutunu artırır, kaynak sınırlaması nedeniyle başlangıçta daha büyük deney planı seçerek bu bileşik etkileri sayısal olarak gözlemlemek yerine en iyi değişken seviye bileşimine karşı gelen doğrulama deneylerinde beklenen sonuçlara ulaşıp ulaşılamamasıyla “önemli bileşik etki olmadığı” varsayımının kontrol edilmesi yerinde olur, (Burnak ve Çelik, 1994, s.12).

2.3.6. Ortogonal Diziler ve Seçimleri

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur.¹ Ortogonal düzenin en önemli özelliği, bir çok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlaması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir, (Katz and Phadke,1989,s.26).

Örneğin 2 seviyeli 7 faktörden oluşan bir deneyde geleneksel yol tercih edildiğinde (tam faktöriyel deneyler) deney sayısı $2^7=128$ olur.(Burada 2,seviye sayısını 7 de 2 seviyeli faktörlerin sayısını göstermektedir.) Tamamlanmış faktöriyel deneyler sadece birkaç faktör incelendiğinde kabul edilebilir, çok sayıda faktör incelendiğinde pek kullanışlı değildir. Zaman ve finansman açısından kısıtların bulunması dolayısıyla tamamlanmış faktöriyel deneyler tercih edilmemektedir. Oysa İstatistikçiler kısmi faktöriyel deneyler (fractional factorial experiments) diye bilinen daha etkili test planları geliştirmişlerdir. Kısmi faktöriyel deneyleri, tüm faktör etkileri ve sadece bazı etkileşimleri kestirebilmek için tüm kombinasyonların sadece bir kısmını kullanır. Taguchi tarafından geliştirilen 8 denemeli L_8 dizisi bu deney için uygundur. Yapılacak 8 deney ile istenilen analizler yapılabilir ve $128-8=120$ deney yapmak için geçen süre ve maliyetten tasarruf edilir. Aynı zamanda istatistiksel açıdan da proses ya da tasarımların genellikle bağlı olarak daha az parametre ile de uygun olarak ifade edilebileceği göz önüne alındığında tam faktöriyel tasarım ve denemenin çok gerekli olmadığı da bir gerçektir,(Phadke,et.al.,1989,s.105).

2.3.6.1. Ortogonal Diziler

Taguchi tarafından geliştirilen ortogonal dizilerden en çok kullanılanları 2, 3 ve 4 seviyeli faktörler için geliştirilmiş olan ortogonal dizilerdir. Daha fazla seviyeye sahip faktörler ve karışık seviyeli faktörler için bir takım metotlar kullanılarak yapılacak dönüşüm işlemleri yardımıyla standart ortogonal dizileri kullanmak mümkün olabilmektedir.

¹ Ortogonal düzen ilk kez 1897'de Fransız Matematikçi, Jacques HADAMARD tarafından matematiksel bir buluş olarak ortaya konmuştur,(Ross,1989,70).

Tablo 2.4. Ortogonal Dizilerden L_4 ve L_9 (Ross, 1988, s.213,227)

Deneme No	Sütun No		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

 L_4

Deneme No	Sütun No			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

 L_9

L_4, L_8, L_{16}, L_{32} en çok kullanılan 2 seviyeli ortogonal dizilere örnektir. Burada 4, 8, 16, 32 sayıları deneme sayısını göstermektedir. Tablo 2.4'de 4 denemeden oluşan 2 seviyeli L_4 ve 9 denemeden oluşan 3 seviyeli L_9 dizileri görülmektedir.

L_9, L_{18}, L_{27} de sık kullanılan üç- seviyeli ortogonal dizilere örnek verilebilir.

2.3.6.2. Ortogonal Dizilerin Seçimi

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

$$V_{LN} = N - 1 \text{ (Deneme sayısı } N \text{ olan diziye ait toplam serbestlik derecesi)} \quad (2.5)$$

$$V_{LN} \geq v_{\text{faktör ve etkileşimler}} \quad (\text{Ross, 1988, s.75})$$

ç in gerekli miktar

(2.6)

Faktörlerde kullanılan seviye sayısı seçilecek olan ortogonal düzenin iki yada üç- seviyeli oluşunu belirler. Eğer bazı faktörler iki-seviyeli, bazıları da üç-seviyeli ise daha baskın olanı kullanılacak olan dizinin tipini belirler. Kullanılacak olan dizinin iki

yada üç- seviyeli oluşuna karar verdikten sonra, yeterli serbestlik derecesini sağlayacak sayıda deney içeren dizi seçilir.

Bir faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamıdır. Bir faktörün serbestlik derecesinde faktörün seviye sayısının bir eksiğidir. Ayrıca her ortogonal dizinin kolonlarının tek tek serbestlik derecelerinin toplamından oluşan bir toplam serbestlik derecesi mevcuttur. Kolonların her birine ait serbestlik derecesi de kolondaki seviye adedinin bir eksiğine eşittir.

Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, doğal olarak etkileşimlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durumda daha büyük bir ortogonal dizinin kullanımına ihtiyaç duyulur. Ortogonal dizilerde etkileşimli faktörler içinde sütunlar bulunmaktadır. Toplam serbestlik derecesi bulunurken, etkileşim sütununun serbestlik derecesi de ilave edilir. Etkileşim sütununun serbestlik derecesi ise, etkileşen faktörlerin serbestlik derecesi çarpılarak elde edilir.

2.3.7 Lineer Grafiğin Çizimi ve Faktörlerin Sütunlara Atanması

Taguchi faktörlerin ve etkileşimlerin yerleştirilmesine yardım etmek amacıyla iki araç geliştirmiştir, (Ross,1988 s.78-86).

- Lineer Grafikler
- Üçgensel Tablolar

Her bir ortogonal dizi belirli bir lineer grafikler kümesine ve bunlarla ilgili bir üçgensel tabloya sahiptir. Lineer grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini değerlendirmekte kullanılacağını belirler. Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşmesi mümkün olan tüm etkileşimleri içerir.

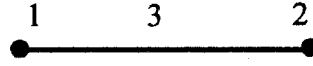
2.3.7.1. Lineer Grafikler

Lineer grafiklerde noktalar ve numaraları birer faktörü, iki noktayı birleştiren çizgi ve numarası da, ilgili faktörler arasındaki etkileşimin sütununu belirtir.

İki-Seviyeli Ortogonal Dizilerde Lineer Grafikler:

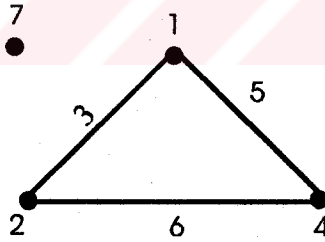
En basit iki-seviyeli ortogonal dizi olan L_4 'e (bkz. Tablo 2.4) ait lineer grafik Şekil 2.8'de görülmektedir. L_4 ortogonal dizisi 3 sütunlu ve 4 denemelidir. Lineer grafik, A

faktörünün 1. sütuna, B faktörünün 2. sütuna, AxB etkileşiminin ise 3. sütuna yerleştirilebileceğini gösterir, (Robinson, 1993, s.6). Nokta, iki-seviyeli ve bir serbestlik dereceli bir sütunu temsil eder. Doğru parçası ise, iki ucundaki noktalarla ifade edilen faktörlerin etkileşimini gösteren sütunu temsil eder. Etkileşim de bu durumda 1 serbestlik derecelidir.

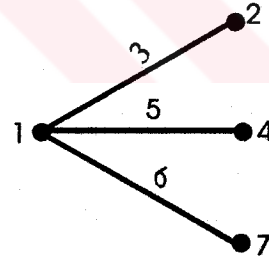


Şekil 2.8. L_4 Linear Grafiği (Robinson, 1993, s.6)

Biraz daha karmaşık olan L_8 ortogonal dizisi için şekil 2.9 'da görüldüğü gibi iki lineer grafik mevcuttur. Bu iki lineer grafikte çeşitli faktörlerin farklı sütunlara atanabileceği ve birçok farklı etkileşimin farklı sütunlarda değerlendirilebileceğine işaret edilmektedir. Örneğin şekil 2.9'daki b tipi lineer grafikte A, B, C ve D faktörleri 1, 2, 4 ve 7 numaralı sütunlara atanabilmektedir. Ayrıca bu grafik AxB etkileşimini 3. sütuna, AxC etkileşimini 5. sütuna ve AxD etkileşimini 6. sütuna yerleştirmektedir. Diğer lineer grafikte (Şekil 2.9.a) farklı etkileşimlerin atanmasında alternatif bir düzenleme sağlamaktadır, (Ross, 1988, s.78).



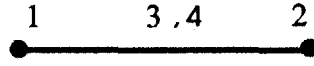
Şekil 2.9.a-) A tipi L_8 Linear Grafiği



Şekil 2.9.b-) B tipi L_8 Linear Grafiği

Üç- Seviyeli Ortogonal Dizilerde Lineer Grafikler:

L_9 ortogonal dizisine (bkz. Tablo 2.4) ait lineer grafik şekil 2.10 'da görülmektedir. Her bir nokta iki serbestlik dereceli, üç-seviyeli bir faktör için mevcut sütunu temsil eder. Her bir çizgi ise noktalarla ilişkilendirilmiş sütunların etkileşimini değerlendiren iki sütunu birden temsil eder. Üç-seviyeli ortogonal dizilerde etkileşim, 4 serbestlik derecesine ihtiyaç duyduğundan iki sütun gereklidir.

Şekil 2. 10. L_9 Lineer Grafiği

2.3.7.2 Üçgensel Tablolar

Bu tablolar söz konusu ortogonal dizi için geçerli tüm etkileşim ilişkilerinin bir listesini oluşturmaktadır. Üçgensel tablo, etkileşen faktörlerin etkileşim faktörünün hangi sütuna yerleştirileceğinin belirlenmesinde kullanılır. L_4 ortogonal dizisi için üçgensel Tablo 2.5' de görülmektedir. Ortogonal diziyeye atanacak ilk faktör herhangi bir sütuna atanabilir, örneğin 2. sütuna. İkinci bir faktörde herhangi bir sütuna atanabilir, örneğin 3. sütuna. Eğer A faktörü 2. sütuna, B faktörü de 3. sütuna atanırsa, üçgensel tablo $A \times B$ etkileşiminin 1. sütunda olması gerektiğini belirler.

Üç seviyeli ortogonal dizilere ait olan L_9 ortogonal dizisi için üçgensel tablo Tablo 2.6'da görülmektedir. Üçgensel tablolar var olan ve değiştirilemeyen tüm mümkün matematiksel sütun ilişkilerini listeler.

Tablo 2. 5. L_4 Üçgensel Tablo

sütun	2	3
1	3	2
A-2		(1)
		A*B

Tablo 2.6. L_9 Üçgensel Tablo

sütun	2	3	4
1	3,4	2,4	2,3
2		1,4	1,3
3			1,2

2.4. Çok Seviyeli Deneylerin Ortogonal Düzene Yerleştirilmesi

İki-seviyeli faktörler için deney düzenlemek standart ortogonal dizilerle oldukça kolaydır. Fakat tüm deneylerde faktörlerin iki seviyeli olması beklenemez. Deneylerle ilgili bazı faktörlerin iki, bazı faktörlerin üç, bazılarının da dört seviyeli olduğu durumlarda, bir takım metotlar kullanılarak yapılacak dönüşüm işlemleri yardımıyla standart ortogonal dizileri kullanmak mümkün olabilmektedir.

Karışık seviyeli faktörler için standart ortogonal diziler vardır. Fakat bunlar en ekonomik yada ihtiyaçlara en uygun diziler olmayabilirler. Taguchi, karışık seviyeli çoğu uygulamalar için standart dizilerde, eldeki şartlara uygun şekilde değişiklikler yapmıştır. Buna göre 2 seviyeli bir sütun, 4 yada 8 seviyeli bir sütuna; 4 seviyeli bir sütun 8 seviyeliye yükseltilebilir. Diğer taraftan sütunların seviye sayıları da düşürülebilir.

2.4.1 İki Seviyeden Dört Seviyeye Dönüştürme

İki seviyeli diziler kolaylıkla dört seviyeli sütunlar içerir hale dönüştürülebilir. Dönüştürme kavramının kullanılmasının sebebi, iki-seviyeli bir sütunun dört-seviyeli hale getirilmesi sırasında, serbestlik derecesinin 1'den 3'e çıkmasıdır. Serbestlik derecesi bir olan sütunun dört-seviyeli faktör için yeterli serbestlik derecesini sağlayabilmesi için iki sütun daha dahil edilmektedir, (Ross, 1988, s.102). Eğer L_8 ortogonal dizisinde 1., 2. ve 3. sütunlar birleşip dört-seviyeli bir tek sütun oluşturuyorsa, dizinin ortogonalliğinin bozulmaması için denemeler, belirli seviyelere ihtiyaç duyar.

İki-seviyeli sütunlardan dört-seviyeli bir sütun oluştururken uygulanacak basamaklar şunlardır:

1. L_8 lineer grafiğinden (bkz. Şekil 2.9.a) üç etkileşimli sütun seçilir. Örneğin 1., 2. ve 3. sütunlar.
2. Bunlardan iki sütun seçilir. 1. ve 2. seçilmiş olsun.
3. İki sütun Tablo 2.7'deki kurallardan yararlanılarak birleştirilir. Orijinal 1,2 ve 3 sütunları kaldırılır. Yeni hazırlanan sütun üç numaralı sütunun yerine yerleştirilir.

Yeni sütunda 1. seviye 1 1'e, 2. seviye 1 2'ye, 3.seviye 2 1'e ve 4. seviye 2 2'ye karşılık gelmektedir. Bir tane dört-seviyeli faktör ve dört tane iki-seviyeli faktör içeren

L_8 ortogonal dizisinin düzeltilmiş hali Tablo 2.8'de görülmektedir. Yeni düzende sütunlar yeniden numaralandırılır. Ayrıca Tablo 2.9'da iki-seviyeli L_8 ortogonal dizisini göstermektedir.

Tablo 2. 7 Dört seviyeli sütun oluşturma kuralları

İlk Sütunun Seviyesi	İkinci Sütunun Seviyesi	Yeni Sütunun Seviyesi
1	1----->	1
1	2----->	2
2	1----->	3
2	2----->	4

Tablo 2. 8. Dört- seviyeli faktör için düzenlenmiş L_8 ortogonal dizi

Deneme No	Sütun No				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

Tablo 2. 9 İki-seviyeli faktör için standart L_8 ortogonal dizi

Deneme No	Sütun No						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

2.4.2 Sütun Seviyesi Düşürme

Ortogonal dizilerin iki-seviyeli kolonları daha yüksek seviyelere yükseltilebildiği gibi, yüksek seviyeli bir kolonda düşük seviyeli kolonlara ayrıştırılabilir. Buna Dummy Treatment denir, (Ross, 1988, s. 109). A, B, C ve D faktörlerini içeren bir deneyi ele alalım. A iki-seviyeli, diğerleri üç-seviyeli olsun. Bu durumda serbestlik derecesi 7'dir.

Bir L_9 dizisinin üç seviyeli 4 sütunu vardır ve serbestlik derecesi 8'dir. Sütunlardan birinin seviyesi, A faktörü için düşürülmelidir. Benzerlik işleminde, A'nın üçüncü seviyesi, gerçekte varmış gibi A_3 olarak alınır. Fakat A_3 yerine A_1 ya da A_2 kullanılır. A faktörü herhangi bir sütuna alınabilir. Bu örnekte, her üç deneme grubunun birinde $3=1'$ değişimi olacak şekilde 3. sütuna alınmıştır (Tablo 2.10).

Tablo 2.10. Sütun seviyesi düşürülmüş L_9 ortogonal dizisi

Faktörler	B	C	A	D
Deneyle/Sütunlar	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	1'	3
4	2	1	2	3
5	2	2	1'	1
6	2	3	1	2
7	3	1	1'	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Dummy Treatment, iki-seviyeden üç-seviyeye dönüştürme prosesi olarak ta bilinir. Bu proses, iki-seviyeden dönüştürülerek elde edilmiş dört-seviyeli ortogonal diziyi esas alır. Bir faktör için dört-seviyeden sadece üçü kullanılarak üç-seviyeli faktörler oluşturulur. Dördüncü seviye ise önceki üç seviyeden biri şeklinde tekrarlanır. Daha anlamlı, daha ucuz veya daha kolay olan herhangi biri tekrarlanarak ortogonalitenin bozulmaması sağlanmış olur.

2.5. Deneyin Yönlendirilmesi

Seçilen ortogonal diziye faktörler yerleştirildiğinde test stratejisi kurulmuş olur ve testi uygulamak için gerekli fiziksel hazırlıklar başlayabilir. Bu aşamadan sonra denemelerin test ediliş sırasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sıra belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılabilir. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir, (Ross,1988,s.86-88).

2.5.1. Rassallaştırma

Denemelerden oluşan testlerin uygulanış sırası rassallık içermelidir. Böylece deney esnasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek, fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek mümkündür. Denemelerin doğruluğu için denemeler rassal şekilde yapılmalıdır, (Lochner and Matar,1990,s.32). Rassallaştırma çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir, en çok kullanılanları:

- Tamamen rassallaştırma
- Basit tekrar
- Bloklar içinde tamamen rassallaştırmadır,(Ross,1988,s.86-88).

Tamamen rassallaştırma yönteminde tüm denemeler ilk testte seçilmek için eşit şansa sahiptir ve ikinci testte hangi denemenin kullanılacağı rassal sayılar tablosundan belirlenebilir. Tekrarlar söz konusu olduğunda bir test tamamlanana kadar tüm denemeler rassal olarak seçilir sonra ikinci tekrar yapılırken deneme sırası rassal olarak bir öncekinden farklı sırada seçilir. Tekrarlar tamamlanana kadar bu yöntem uygulanır.

Basit tekrarda da tüm denemeler ilk test olarak seçilebilmek için eşit şansa sahiptir. Fakat diğerinden farkı , tekrarlar söz konusu olduğunda; seçilen deneme için gerekli olan tüm tekrarlar arka arkaya test edilir. Bu yöntem, deneylerin hazırlanışının zor, zaman alıcı ve pahalı olduğu durumlarda geçerlidir.

Bloklar içinde tamamen rassallaştırma yöntemi, sadece bir faktör için testin kuruluşu ve değiştirilmesi zor veya pahalı olduğunda uygulanmaktadır. Eğer A faktörünün değiştirilmesi zor ise deney iki blokta tekrarlanabilir. A₁ denemelerinin tümü tamamlandıktan sonra A₂ denemeleri tamamlanır.

2.5.2. Örnek Büyüklüğünün Belirlenmesi

Deneyin yapılabilmesi için her deneme en az bir kez test edilmelidir. Fakat tek gözlem, sonuçlardaki mümkün değişkenliği temsil etmez. Her bir deneme için birden fazla test kullanılması ile yığının ortalamasında meydana gelebilecek küçük değişkenlerin saptanabilmesi sağlanacaktır. Bazı deneylerde deneme çalışmaları kolaylıkla ve ekonomik şekilde tekrarlanmaktadır. Bazıları ise yüksek maliyetli ve zaman alıcıdır. Ekonomik açıdan değerlendirilirse, eğer testler çok pahalı ise bir deneme için bir test kullanılır, değilse bir deneme için birden fazla test kullanılabilir, (Ross,1988,s.89).

Kontrol edilemeyen etkili faktörlerinin bulunduğu durumlarda, denemelerin tekrarı çok gereklidir. Bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde ve hedef değer etrafında varyans analizinin yapılabilmesinde tekrarların faydalı olduğu açıktır.

2.6. Varyans Analizi

Ürün veya proses geliştirmenin amacı; müşteri beklentileri ve ihtiyaçları ile ilgili olan ürün veya prosesin performans karakteristiğini geliştirmektir. Deneylerin amacı ise ürün veya prosesin değişimini kontrol etmek ve azaltmaktır. Sonra da performansı etkileyen parametrelerin hangileri olduğu ile ilgili bir karar verilmelidir.

Kalite ile ilgili tartışmaların büyük bir bölümü varyans ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde Varyans analizi (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılmaktadır. Bu metot 1930'larda Ronald FISHER tarafından, tarımsal deneylerden çıkan sonuçları yorumlamak için bulunmuştur.

ANOVA test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiğe dayalı bir karar aracıdır. Varyans analizi, toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. gibi niceliklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır,(Ross,1988,s.23-24).

2.6.1. Kareler Toplamı (Varyasyon)

Toplam varyasyonu (SS_T) bileşenlerine ayırırsak üç çeşit varyasyonla karşılaşırız.

- Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre (A,B,C,...) varyasyon
- Bu faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon
- Hata'ya göre varyasyondur.

Eğer A ve B gibi iki faktörümüz ve bu faktörler arasında bir etkileşim varsa Toplam varyasyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

SS_T = Toplam Kareler Toplamı

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_c \quad (2.7)$$

AxB , A ve B faktörleri arasındaki etkileşimi temsil etmektedir.

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.8)$$

SS_A = A faktörüne ait kareler toplamı.

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.9)$$

Eğer A faktörü iki seviyeli bir faktör ve $T = A_1 + A_2$ ise

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \text{ 'dir.} \quad (2.10)$$

SS_{AxB} = A ve B faktörlerinin etkileşimine ait kareler toplamı

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(AxB)_i^2}{n_{AxB_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - SS_A - SS_B \quad (2.11)$$

Tablo 2.11'deki gibi iki faktörlü ve iki seviyeli faktörlerin bulunduğu deneylerde bu iki faktörün etkileşimi bulunurken köşegen işlemi uygulanır.

Tablo 2. 11 Etkileşim tablosu

	A ₁	A ₂
B ₁	A ₁ B ₁	A ₂ B ₁
B ₂	A ₁ B ₂	A ₂ B ₂

$$\underline{AxB_1} = A_1B_1 + A_2B_2$$

$\underline{AxB_2} = A_1B_2 + A_2B_1$ şekillerinde temsil edilir ve böylece AxB'nin kareleri toplamı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$SS_{AxB} = \frac{(\underline{AxB_1} - \underline{AxB_2})^2}{N} \quad (2.12)$$

Hata varyasyonu hesaplamının en kolay yolu, toplam kareler toplamından tüm faktör ve etkileşimlerin kareler toplamının çıkarılmasıdır.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_c \quad \text{olduğuna göre} \quad (2.7)$$

$SS_c =$ Hata kareler toplamı

$$SS_c = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad \text{olur.}$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı SS_T 'yi verir.

$$SS_T = \sum SS_{SÜTUN} \quad (\text{Ross, 1988, s.92}) \quad (2.13)$$

Yukarıda ki formüllerle ilgili notasyonlar aşağıda açıklanmaktadır.

y = Gözlem, sonuç

y_i = i. Gözlem

N = Gözlemlerin toplam sayısı

T = Tüm gözlemlerin toplamı

\bar{T} = Gözlemlerin ortalaması

n_{A_i} = A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı

A_i = A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı

\bar{A}_i = A_i seviyesi altındaki gözlemlerin ortalaması

k_A = A faktörünün seviyelerinin sayısı

$(A \times B)_i$ = A ve B faktörlerinin kombinasyonlarının i. koşulu altındaki verilerin toplamı

c = Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı ,(Ross,1988,s.23-63).

2.6.2. Serbestlik Derecesi

ANOVA hesaplarını tamamlamak için bir diğer özellik olan serbestlik dereceleri dikkate alınmalıdır. İstatistiksel olarak serbestlik derecesi, verilerden elde edilen her bir parça bilgi ile ilişkilendirilmektedir, (Ross,1988,s.28). Genel bir tanımlama da bir sonuca varabilmek için yapılması gereken bağımsız karşılaştırmaların sayısıdır. Kareler toplamı gibi serbestlik derecelerinin toplamı da toplam serbestlik derecesini verir.

İki faktör ve bunların etkileşimleri göz önüne alınırsa :

v_T = Toplam serbestlik derecesi

$$v_T = v_A + v_B + v_{A \times B} + v_e \text{ olur.} \quad (2.14)$$

Burada ;

v_A = A faktörünün serbestlik derecesi

v_B = B faktörünün serbestlik derecesi

$v_{A \times B}$ = Etkileşimin serbestlik derecesi

v_e = Hata serbestlik derecesi

k_A = A faktörünün seviye sayısı

k_B = B faktörünün seviye sayısı

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$v_T = N-1 \quad (2.15)$$

Bir faktör yada sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$v_A = k_A - 1, \quad v_B = k_B - 1 \quad (2.16)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise, etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$v_{A*B} = (v_A) \cdot (v_B) \quad (2.17)$$

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

$$v_e = v_T - v_A - v_B - v_{A*B}$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi;

$$v_T = \text{Deneme sayısı} \cdot \text{Tekrar sayısı} - 1 \text{ ' dir.}$$

2.6.3. Varyans

ANOVA tablosundan hesaplanabilen bir diğer tanımlayıcı istatistikte varyanstır. Hata varyansı, genellikle varyans olarak bilinir ve hata kareler toplamının hata serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir.

$$V_e = \text{Hata varyansı}$$

$$V_e = \frac{SS_e}{v_e} \quad (2.18)$$

Hata varyansı, hata(kontrol edilemeyen) faktörlerden kaynaklanan değişimin ölçüsüdür ve deneylerdeki ölçüm hatalarını da içine almaktadır. Faktörler ve etkileşimlerin varyansları da aynı şekilde hesaplanmaktadır.

A faktörü için varyans:

$$V_A = \frac{SS_A}{v_A} \quad (2.19)$$

B faktörü için varyans :

$$V_B = \frac{SS_B}{v_B} \quad (2.20)$$

AxB etkileşimi için varyans:

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}} \quad \text{şeklinde bulunur.} \quad (2.21)$$

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir,(Ross,1988.s.91). Sütunların hata varyansının kestiriminde kullanılması yaklaşımı tüm sütunlara faktörler atandığında da kullanılabilir. Deneyler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler gerçekte önemli olmayabilir. Bu faktörlerin atandığı sütunların varyansı küçük olacağından, bunlar hata varyansının kestiriminde kullanılırlar.

Bir faktörün deney sonucuna katkısı yüzde olarak küçük bir rakamsa, analiz hesaplamalarında gözardı edilmesi, tasarımda daha büyük önem taşıyan faktörlerin belirlenmesi için gereklidir. Yüzdesel etkinin yanısıra, kareler toplamı da hata varyansının hesaplanmasında hangi sütunların birleştirileceğinin belirlenmesi için kullanılabilir.

Hata varyansı için sütun belirleme işlemi yapılırken F-testi'de uygulanabilir. Buna göre; etkisi en küçük olan sütunun takip eden küçük etkili sütuna göre önemli olup olmadığını görmek için F-testi uygulanır. Eğer önemli bir F oranı ortaya çıkmazsa, bu iki sütunun etkisi bir sonraki küçük etkili sütunla karşılaştırılmak üzere birleştirilir. Bu işlem önemli bir F oranı buluncaya kadar devam eder.

2.6.4. F-Testi

Testler yapıpı dalar elde edildikten ve varyanslar bulunduktan sonra hangi faktörlerin önemli bir etkiye sahip olduğunu görmek için F-testi uygulanmaktadır.

Standart F-testi uygulanırken, hataların eşit sapmalarla normal dağıldığı ve bağımsız olduğu varsayılmaktadır. F-testi varsayımları yerine getirilmediği takdirde önem derecesi hesapları doğru sonuçları yansıtmayabilir. Bununla birlikte standart F-testinin varsayımlardan sapmalara karşı duyarsız olması nedeniyle bazı varsayımları sağlamasa da kullanılabileceği belirtilmektedir,(Phadke et al.,1989,s.106).

F-testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan F değerleri ile belirlenen güven seviyesinde ki F-tablo oranları karşılaştırılarak, tablo oranından büyük F değerine

sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür.

Datalardan elde edilen F değeri, faktör yada etkileşimin varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (\text{A faktörüne ait F değeridir}) \quad (2.22)$$

F-tablolarından F oranı bulunurken; seçilen güven düzeyi, payın serbestlik derecesi ve paydanın serbestlik derecesi gerekmektedir.

$$F_{\alpha; v_1, v_2}$$

$$\alpha = \text{Risk}$$

$$\text{Güven} = 1 - \alpha$$

$$v_1 = \text{payın serbestlik derecesi}$$

$$v_2 = \text{paydanın serbestlik derecesi}$$

Her bir güven düzeyi, pay ve paydanın serbestlik derecelerinin oluşturduğu kombinasyon F-tablosunda bir F oranına karşılık gelmektedir.

ANOVA sonuçları yorumlanırken ; bazı kriterleri aşan F değerine sahip faktörler ve bazı kriterlerden daha az F değerine sahip faktörler incelenmektedir. F değeri sözü edilen kriterden (F-tablo değeri) büyük olan faktörlerin yığın için ortalama değeri etkileyeceği düşünülür. F değeri tablo değerinden küçük olan faktörlerin ise ortalama üzerinde hiç bir etkisinin olmadığı düşünülür.

F-testinin bir diğer sınırlandırması da sadece α riskinin göz önüne alınmasıdır. α riski; bir faktörün performans karakteristiği üzerindeki etkisinin büyük olmadığı halde önemli olduğuna karar verilmesi riskidir. F-testi uygulanırken başka bir risk olan β riski dikkate alınmamaktadır. β riski; bazı faktörlerin etkisi önemli olduğu halde önemli olmadığına karar verilmesidir. Önemli olmayan bir faktör deneyin sonraki aşamalarında dikkate alınmayacağından β hatasının düzeltilmesi imkansızdır. Oysa önemsiz bir faktör deneyin sonraki aşamalarında elemine edilebileceğinden α hatası düzeltilebilir, (Ross,1988,s.44-47).

2.7. Deneysel Sonuçların Yorumu

Deney yönlendirildikten ve ANOVA tamamlandıktan sonra önemli faktörler veya etkileşimler belirlenir. Testlerin yapılması maliyeti ile karşılaştırıldığında, data analizi çok daha küçük bir maliyetle yapılabileceği için sonuçların yorumlanmasında dikkatli olunması gerekir. Bu bölümde incelenecek olan yorumlama metotları şunlardır:

- Katkı yüzdesi
- Ortalamanın kestirimi
- Kestirilen ortalama etrafında güven aralığı,(Ross,1988,s.115-125).

2.7.1. Katkı Yüzdesi

Deneyde gözlenen herbir önemli faktör ve etkileşime yüklenen toplam varyasyon oranı katkı yüzdesi ile yansıtılmaktadır. Katkı yüzdesi, herbir önemli faktörün kareleri toplamının bir fonksiyonudur ve varyasyonu indirmede faktör veya etkileşimin gücünü göstermektedir. Şayet faktör ve etkileşim seviyeleri tam manasıyla kontrol edilebilirse, toplam varyasyon katkı yüzdesi ile belirlenen miktarda azaltılabilir,(Ross,1988 s.116-117).

Bir faktör veya etkileşime göre varyans, bir miktar hataya göre varyansı da kapsamaktadır.

Örneğin bunu A faktörü için ortaya koyan denklem;

$$V_A = V'_A + V_e \quad (2.23)$$

V'_A , sadece A faktörüne göre varyansın beklenen miktarıdır. V'_A 'yı denklemden çekeriz:

$$V'_A = V_A - V_e$$

A faktörü için varyansın tanımını hatırlatırsak ;

$$V_A = \frac{SS_A}{v_A}, \quad (2.19)$$

$$V'_A = \frac{SS'_A}{v_A} \quad (2.24)$$

$$\frac{SS'_A}{v_A} = \frac{SS_A}{v_A} - V_e$$

$$SS'_A = SS_A - (V_e)(v_A) \quad \text{denklemini elde ederiz.} \quad (2.25)$$

SS'_A , A faktörüne göre kareler toplamının (Karelerin net toplamı) beklenen değeridir. Artık toplam varyasyondaki katkı yüzdesi (P) hesaplanabilir.

$$P = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \quad (2.26)$$

Hatanın katkı yüzdesi deneyin yeterliliği ile ilgili bir tahmin sağlamaktadır. Eğer hata katkı yüzdesi düşükse %15 veya daha az, bu deneyde hiç bir önemli faktörün gözden kaçmadığını gösterir. Hata katkı yüzdesinin %50 veya üzeri bir değerde olması, bazı önemli faktörlerin gözden kaçtığını, deney koşullarının tam manasıyla kontrol edilemediğini yada ölçüm hatası yapıldığını gösterir, (Ross, 1988 s. 116-117).

2.7.2. Ortalamanın Tahmini (Ross, 1988, s. 118)

Deneyi yapan kişi, genellikle ürün veya prosesten dikkate değer tepkiler almayı bekler. Seçilen karakteristiğinin en-yüksek-en-iyi, nominal-en-iyi veya en-düşük-en-iyi oluşuna göre değişik proses şartları yeterli sonuçların alınabilmesi için seçilmelidir. Deney yürütülüp, optimum proses şartları belirlendiğinde aşağıdaki olasılıklar ortaya çıkar.

- Belirlenen faktör seviyelerinin kombinasyonu, deneydeki deneme koşullarından biridir.
- Belirlenen faktör seviyeleri kombinasyonu deneye dahil edilmemiştir (Çözün gücü düşük, tamamlanmış faktöriyel deneyin küçük bir kısmı kullanılıyor).

Belirlenen proses şartları için ortalamanın tahmininde; prosedür faktöriyel etkilerin toplanabilirliğine bağlıdır. Eğer bir faktöriyel etki bir diğeriyle toplanabilirse toplanabilirlik iyidir ve sonuçlar doğru olarak tahmin edilebilir. Etkileşimin var olduğu durumlarda etkileşen faktörler arasındaki toplanabilirlik zayıftır. Etkileşimin, kendisini

oluşturan faktörler dışındaki faktörlerle toplanabilirliği iyidir.

Şekil 2.11'de aralarında etkileşim olmayan iki faktörün ait grafik görülmektedir. Geometrik olarak B_1 çizgisinin orta noktası \bar{B}_1 'yi temsil etmektedir. \bar{B}_1 , B_1 koşulu altındaki tüm verilerin ortalamasıdır. B_2 koşulu içinde aynı uygulama geçerlidir. \bar{A}_1 , A ilk seviyesinde olduğunda B_1 ve B_2 koşulu arasında ortada bulunabilir.

Eğer bu dört nokta iki doğru parçası ile birleştirilirse, $\bar{A}_1 - \bar{A}_2$ ve $\bar{B}_1 - \bar{B}_2$, bu doğru parçalarının kesişimi, deneysel sonuçların ortalamasını \bar{T} temsil eder.

$A_2 B_2$ proses koşulu tahmin edilmek istendiğinde, $(\bar{A}_2 - \bar{T})$, ortalamayı \bar{T} 'den \bar{A}_2 'ye değiştiren A_2 etkisini ve $(\bar{B}_2 - \bar{T})$, ortalamayı \bar{T} 'den \bar{B}_2 'ye değiştiren B_2 etkisini temsil eder.

$$\hat{\mu}_{A_2 B_2} = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) = \bar{A}_2 + \bar{B}_2 - \bar{T} \quad (2.27)$$

\bar{T} 'nin katsayısı, ortalamanın tahmininde kullanılan toplam faktörlerin sayısının bir eksiğine eşittir. Burada iki faktör toplandığından katsayı 1'e eşittir.

Bir başka örnek olarak da, $B_2 C_1 F_2 G_2$ durumunun ortalamasını tahmin edersek:

$$\hat{\mu}_{B_2 C_1 F_2 G_2} = \bar{B}_2 + \bar{C}_1 + \bar{F}_2 + \bar{G}_2 - 3\bar{T}$$

İncelenen karakteristik, en-yüksek-en-iyi karakteristiği ve ;

$$\bar{B}_1 = 1,30 \quad \bar{B}_2 = 1,50$$

$$\bar{C}_1 = 2,30 \quad \bar{C}_2 = 0,50$$

$$\bar{F}_1 = 0,90 \quad \bar{F}_2 = 1,90$$

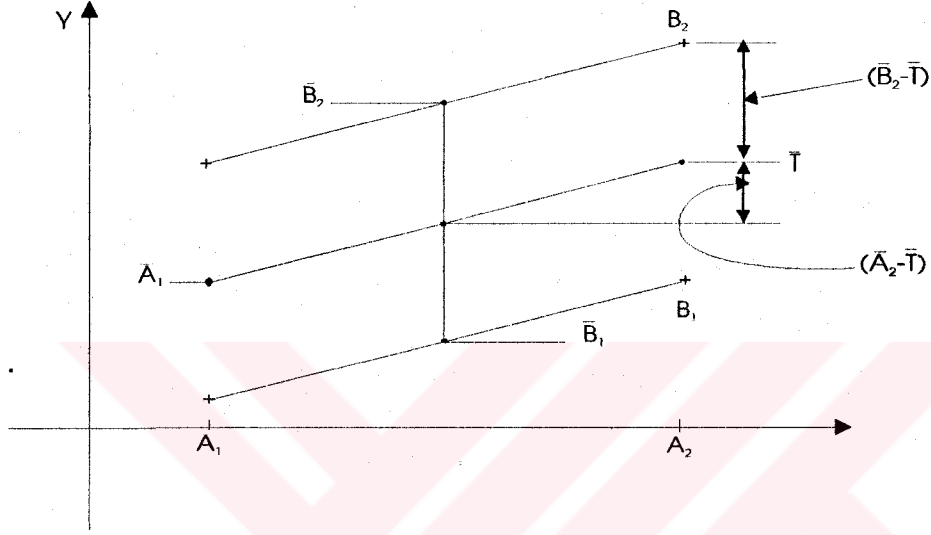
$$\bar{G}_1 = 1,00 \quad \bar{G}_2 = 1,80$$

$$\bar{T} = 1,40$$

$$\hat{\mu}_{B_2 C_1 F_2 G_2} = 1,50 + 2,30 + 1,90 + 1,80 - 3(1,40) = 3,30$$

$B_2 C_1 F_2 G_2$ durumunun ortalaması, faktörlerin toplanabilirliği sayesinde, herhangi bir birey faktör ortalamasından yüksektir.

Etkileşimlerin varlığında, özellikle etkileşimin etkisinin faktörlerin etkisinden büyük olduğu durumlarda, etkileşen faktörler arasındaki toplanabilirlik zayıftır. Ortalamanın; etkileşimlerin var olduğu durumlarda en iyi şekilde tahmin edilebilmesi için, belirlenen proses koşullarındaki denemelerin ortalaması alınmalıdır.



Şekil 2.11 Etkileşmeyen faktörlerin grafiği (Ross,1988,s.118)

2.7.3. Kestirilen Ortalama Etrafında Güven Aralığı

Ortalamanın tahmini $\hat{\mu}$, deneyden elde edilen sonuçların ortalamalarına dayandırılan bir nokta tahminidir. İstatistiksel olarak bu durum, gerçek ortalamanın $\hat{\mu}$ ' den büyük olma ihtimali için % 50 bir şans, küçük olma ihtimali içinde % 50 bir şans tanımaktadır. Deneyi yapan kişi, belirli bir güven düzeyiyle, gerçek ortalamanın içine düşmesi beklenen bir dağılım aralığına sahip olmayı ister. Güven aralığı, belirlenen güven düzeyinde, gerçek ortalamanın arasına düşmesi beklenen maksimum ve minimum değerlerdir.

Güven düzeyi istatistiksel anlamda, hata yapma şansı olduğunu gösterir. Örneğin, standart bir zar da 1, 2, 3, 4 veya 5 gelmesi olasılığı $(\frac{5}{6})$ % 83 'tür. 6 gelmesi de mümkün olduğu için bir risk söz konusudur. Deneyi yapan kişi güven aralığı için güven düzeyi belirlerken kendi amaçlarına göre hareket etmektedir. Riski azaltmak

için yüksek güven düzeyi seçilebilir fakat daha geniş bir güven aralığı, gerçek ortalamanın belirlenen limitlerin dışında olma şansını azaltacaktır.

2.7.3.1. Gerçekleme Deneyini Öngören Güven Aralığı (CI)

Sağlama deneyi, deneyden seçilen faktör ve seviyelerinin ürün veya prosesin belli bir biçimde davranmasına sebep olduğunu doğrulamak için kullanılır. Seçilen sayıda test belirlenen sabit koşullarda yapılır ve gözlemlerin öngörülen değere yakın olması umulur.

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;v_e} V_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad (2.28)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{\left[1 + \hat{\mu} \text{ kestiriminde kullanılan tüm faktörlerin toplam } v' \text{ si} \right]} \quad (2.29)$$

Örneğin; her deneme için bir test içeren L_{16} ortogonal dizisi kullanılırsa;

$$\hat{\mu}_{A_2 B_2 C_1 D_2} = \overline{A_2 B_2} + \overline{C_1} + \overline{D_2} - 2\bar{T}$$

$N = 16$ ise;

$$n_{eff} = \frac{16}{1+1+1+1} = 4 \text{ olur.}$$

r = gerçekleme deneyi için örnek hacmi

$F_{\alpha;1;v_2}$ = Gerekli F oranı

α = Risk 1- risk = Güven

$v_1 = 1$

v_2 = hata serbestlik derecesi = v_e

V_e = hata varyansı

F oranı, ANOVA' da kullanılan F tablolarından elde edilir. Payda yer alan ve devamlı 1'e eşit olan serbestlik derecesi, kestirilmekte olan ortalama ile ilgilidir.

Sağlama deneyi, deneysel sonuçların doğrulanması için tavsiye edilir ve şu şekilde yorumlanır. Eğer sağlama deneyi sonuçlarının ortalaması, güven aralığı limitlerinin içindeyse deneyi yapan kişi, önemli faktörlerin olduğu kadar belirlenen seviyelerinde istenen sonuçları alabilmek için uygun seçildiğine inanır.

Eğer sağlama deneyi sonuçlarının ortalaması güven aralığı limitlerinin dışındaysa, deneyi yapan kişi istenen değerde sonuçları sağlayacak faktör ve seviyelerinin yanlış seçildiğine yada büyük ölçme hataları yaptığına inanır. Böylece başka deneylerin yapılması gerekliliği doğar. Diğer faktör ve seviyeleri yapılacak yeni deneylerde dikkate alınmalıdır.

Sağlama deneyi, ürün veya prosesin fonksiyonlarını uygun bir şekilde yerine getirmesini neyin sağlayacağını anlamada yapılacak araştırmanın son adımıdır(Ross, 1988,s.120-124).

BÖLÜM 3: LİTERATÜR TANITIMI

Ürün ve proses performansını, kontrol edilmesi güç hata faktörlerine karşı duyarsızlaştırarak ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle geliştiren, Taguchi'nin kalite sisteminde Off-line kalite kontrol içinde yer alan ve Robust dizayn olarak isimlendirilen bu metot esasen Japon kalite uzmanı Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir.

Kalite literatüründe, konu ile ilgili olarak çok sık sözü edilen klasik bir örnek Japonya'da 1953'de İna seramik firmasında gerçekleştirilmiş bir uygulamadır. Seramik imalatı sırasında, fırın içi sıcaklık dağılımındaki farklılık nedeniyle pişirilen seramiklerin boyutlarında önemli farklar oluşmakta ve sonuçta toplam ürünün büyük bir bölümü ıskartaya çıkarılmaktadır. Bu tür durumlarda geleneksel yaklaşım, firmanın fırın içi ısını herhangi bir şekilde kontrol ederek, ısı dağılımını homojen hale getirmeye çalışmasıdır. Geleneksel yaklaşımda amaç, kaliteyi bozan sebebi bularak onu ortadan kaldırmaktır. Burada da görüleceği gibi, bu yaklaşım, fırın içi ısını kontrol edecek cihazların satın alınmasından, fırınları yeni baştan inşasına kadar, hepsi maliyeti yükselten bir dizi önlem anlamına gelmektedir.

İna firması farklı bir yaklaşım benimser. Isı dağılımını kontrol etmek yerine ısı farklılıklarının seramik boyutlarında oluşturduğu etkiyi en aza indirecek bir formül araştırır. Bu amaçla, çeşitli katkı maddelerinin ve diğer faktörlerin seramik boyutlarına olan etkisini belirlemek üzere, oldukça basit bir deney tasarımı ve deney üretim koşullarında uygulanır. Deneyin en önemli sonucu şudur; seramiğin hammadde formülündeki kireç oranının %1'den %5'e çıkarılması, seramik boyutlarındaki varyasyonun mevcut değerinin 1/10'una indirmektedir ve sonuçta ıskarta önemli ölçüde azalacaktır.

Bu sonuç, o yılların toprak endüstrisi için önemli bir buluştur. Deney tasarımı bu amaçla kullanıldığı zaman, maliyeti arttırmadan kaliteyi arttırmak mümkün

olmaktadır,(Leon, Shoemaker and Kackar, 1989, s. 237-238 , Şirvancı, 1994, s.45).

1980'lerde Taguchi'nin, bu metodu AT&T, Ford Motor ve Xeror gibi büyük Amerikan şirketlerine tanıtmasıyla ürün ve proses tasarımıda önemli gelişmeler sağlandı. Bundan sonra metodu anlamak ve kullanılan istatistiksel teknikleri geliştirmek amacıyla vaka çalışmaları yapıldı. Bu vaka çalışmalarından büyük bir çoğunluğu, inanılmayacak derecede maliyet tasarrufu ile ürünü geliştirme ile sonuçlandı.

1983'de Phadke ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalar sonucunda proses varyansını mevcut değerın 1/4'üne, işleme zamanını da 1/2'sine indirmişlerdir. Bu çalışmalarında Off-line kalite kontrol metodunu tanıtip, basamaklarını şöyle sıraladılar.

- Proses faktörlerinin tanımlanması
- Ortogonal diziler kullanılarak, kısmî (fractional) faktöriyel deneylerin yapılması
- Optimum faktör-seviye birleşimine karar verebilmek için, deneyden elde edilen sonuçları kullanarak proses değişkenliğine ve ortalamaya göre analiz yapılması.
- Belirlenen faktör ve seviyelerinin doğruluğunu saptamak amacıyla, doğrulama deneyinin yönlendirilmesi,(Phadke et al , 1989, s.99-142).

Box ve Jones (1990), Shoemaker, Tsui ve Wu (1991), Welch ve diğerleri (1990) ve Lucas (1990) yaptıkları çalışmalarda, kontrol faktörleri için ayrı bir dizi (iç dizi), hata faktörleri için ayrı bir dizi (dış dizi) kullanılarak uygulanan parametre tasarımına alternatif olarak sundukları birleştirilmiş düzen (combined array) formatını tanıtip birçok örnek yapmış ve bu format kullanılarak deney sayısında bir azalma sağlandığını göstermişlerdir. Bu yöntemeye göre, hata faktörleri ve kontrol faktörleri aynı diziyeye atanmaktadır,(Tsui, 1992,s.44-57).

Kackar ve Shoemaker, 1986'da Elektrik endüstrisinde birleştirilmiş düzen formatını uygulayarak deney sayısını azalttiklarını, proses kalitesini geliştirdiklerini ve proses varyansında % 60 bir azalma sağladıklarını bildirmişlerdir,(Shoemaker and Kackar, 1989, s.159-175).

Leon ve diğerleri (1987), Nair (1986), Box (1988), Pignatiello (1988) ve Pignatiello ve Ramberg (1991) yaptıkları çalışmalarda; Taguchi tarafından önerilen S/N oranı,

ortogonal diziler, lineer grafikler ve etkileşim tabloları gibi istatistiksel teknikleri geliştirilmeye açık buldular ve alternatif teknikleri tartıştılar,(Tsui, 1992,s.44).

Aşağıda Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak yapılan iki çalışma üzerinde durulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.1. Vites Kutusu Yağlama Sistemi

İlk çalışma vites kutusu yağlama sistemi ile ilgili olup, vites kutusundaki yağın kritik komponentlere uniform olarak dağıtılması ve toplam yağlama performansının 25 veya üzeri bir değerde olması amaçlanmaktadır.

Bilindiği gibi vites kutuları tipik olarak bütün mekanizmaya yağ gönderen dönen dişli çarklar tarafından yağlanmaktadır. Vites kutusundaki yağ seviyesinin, dişli çarkların alt taraflarının bile yağlanabilmesi için yeterli olması gerekir.

Vites kutuları değişik vites durumlarında (2.,3.,4.,5.vites) belirli devirlerde gözlemlenmiş ve aynı zamanda bir bölüme akan yağlama miktarı plastik gözlemlene araçları vasıtasıyla incelenmiştir. Bir bölüme akan yağlama miktarı; 0, 3 ve 5 değerleri ile derecelendirilmiştir. Yağlama miktarı 0 olduğunda hiç yağlama yapılamadığı, 3 olduğunda uygun yağlama yapıldığı, 5 olduğunda ise yağlama miktarının fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Bu deneyde; belli mesafelerde belli devirlerde kullanılan 4 değişik vites mesafesi hata faktörü olarak kabul edilip deney yönlendirilmiştir. Shoemaker ve Kackar tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi burada da hata faktörü ve kontrol faktörleri aynı diziye yerleştirilmiş ve bunlar arasındaki etkileşimler gözlenmiştir. Bundan başka üç tanede kontrol edilebilen faktör bulunmuştur. İlk faktör olan hata faktörü (A faktörü) 4 seviyeli olup, kontrol faktörleri (B,C,D) iki seviyelidirler (bkz.Tablo3.1.). Yukarıda belirtilen faktörler arasında, A ile B, A ile C ve A ile D arasındaki etkileşim incelenmek istenmiş ve lineer grafikleri Şekil 3.1’de gösterildiği şekilde çizilmiştir.

Belirlenen faktörler ve bunlar arasındaki etkileşimler göz önüne alınarak L_{16} dizisinin bu problem için uygun olacağı belirlenmiştir. Bu çalışmada ele alınan tasarımı oluşturan bir adet 4 seviyeli, 3 adet 2 seviyeli faktör ve 3 faktör etkileşiminin

gerektirdiği minimum deneme sayısı Taguchi metodunda ilk adım olarak tavsiye ettiği toplam serbestlik derecesi ile belirlenmektedir. ¹ Bu tasarım için toplam serbestlik derecesi Tablo 3.2.'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 3. 1 Vites Kutusu Yağlama Deneyi İçin Faktörler

FAKTÖRLER ve SEVİYELERİ		
A ₁	İKİNCİ VİTES ,	3000 DEVİRDE
A ₂	ÜÇÜNCÜ VİTES ,	3000 DEVİRDE
A ₃	DÖRDÜNCÜ VİTES ,	2000 DEVİRDE
A ₄	BEŞİNCİ VİTESTE ,	2000 DEVİRDE
B ₁	SIZDIRMAZ YATAK	
B ₂	STANDART YATAK	
C ₁	SIÇRATMA YARDIMSIZ YAĞLAMA	
C ₂	SIÇRATMA YARDIMLI YAĞLAMA	
D ₁	YENİ KANAL TASARIMI	
D ₂	ESKİ KANAL TASARIMI	

Tablo 3. 2. Serbestlik Dereceleri ve Toplam Serbestlik Derecesi

Faktör / Etkileşim	Serbestlik derecesi
A,B,C,D	$(4-1)+(2-1)*3= 6$
AXB	$(4-1)*(2-1) = 3$
AXC	$(4-1)*(2-1) = 3$
AXD	$(4-1)*(2-1) = 3$
TOPLAM	15

¹ Faktörlerin ve etkileşimlerin serbestlik derecelerinin hesaplanması Bölüm 2.6.2'de gösterilmiştir.

Problemimiz için gereken serbestlik derecesi 15 olduğuna göre L_{16} dizisi bu problem için yeterlidir. Bu dizinin serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$L_N = N-1$ 'e göre L_{16} dizisinin serbestlik derecesi de 15'dir ve problemimiz için yeterlidir.

Dört seviyeli bir faktör olan A faktörü 2 seviyeli bir L_{16} dizisine atanırken Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi ilk üç kolon (1-2-3) birleştirilmiştir.²

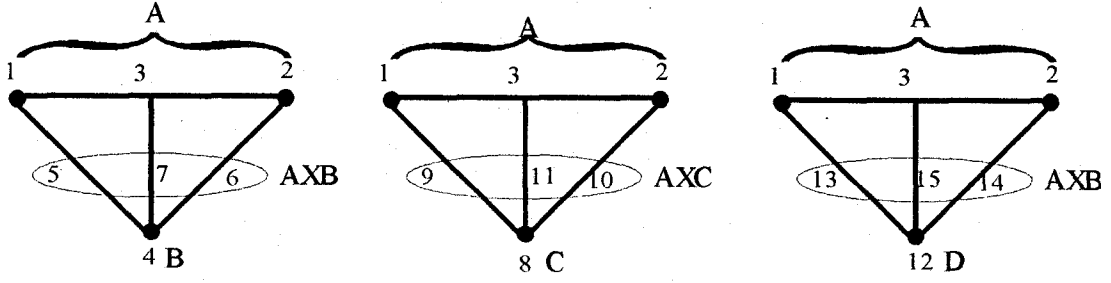
Çünkü L_{16} dizisindeki kolonların serbestlik dereceleri birdir, A faktörünün serbestlik derecesi üç olduğundan dolayı serbestlik dereceleri bir olan kolonlardan üç tanesi birleştirilmiştir.

Etkileşimler söz konusu olduğundan dolayı bunların atama işlemi yapılırken de serbestlik dereceleri göz önüne alınmış ve AXB'nin serbestlik derecesi 3 olarak bulunmuştur. AXB, L_{16} dizisine atanırken tekrar birleştirme işlemi uygulanmış (5-6-7) nolu sütunlar bu etkileşimler için birleştirilmiştir. Ayrıca seçilen L_{16} dizisinin 4. sütununa B faktörü, 8. sütununa C faktörü, 9-10-11 nolu sütunlar birleştirilerek AXC, 12 nolu sütuna D faktörü, 13-14-15 nolu sütunlar birleştirilerek AXD bu sütuna atanmıştır.

Seçilen faktör ve etkileşimlerin L_{16} dizisine atanmasından sonra belirlenen deneme koşullarına göre testler yönlendirilmiş ve yağlama miktarı 7 kritik bölgede gözlemlenmiştir. Bu 7 bölgedeki toplam yağlama performansı Tablo 3.3'de verilmiştir. Bu sonuçlar Varyans Analizine tabi tutulmuş ve performans karakteristiği açısından etkin olan faktörler belirlenmiştir. Yağlama performansı için Varyans Analizi sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre 6 ve altındaki varyans değerine sahip olan faktörler birleştirilmiş ve Tablo 3.5'de birleştirilmiş Varyans Analizi özet tablosu sunulmuştur. Tablo 3.5'e göre en büyük varyans değerine sahip olan B ve C faktörleri gözlenen varyasyonun % 50'den fazlasını temsil etmektedir ve bunların en etkin faktörler olduğu gözükmemektedir.

² Dört seviyeli bir faktörün iki seviyeli bir diziye atanması ile ilgili kurallar Bölüm 2.4.1' de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Faktör ve Etkileşimlerin Linear Grafikleri

Tablo 3. 3 Faktör ve Etkileşimlerin L_{16} Ortogonal Dizisine Atanması

FAKTÖRLER								
	A	B	AXB	C	AXC	D	AXD	
	SÜTUN NO							
Deneme								
No	1-2-3	4	5-6-7-	8	9-10-11	12	13-14-15	Gözlemler
1	1	1	1 1 1	1	1 1 1	1	1 1 1	27.5
2	1	1	1 1 1	2	2 2 2	2	2 2 2	31.5
3	1	2	2 2 2	1	1 1 1	2	2 2 2	27.0
4	1	2	2 2 2	2	2 2 2	1	1 1 1	27.5
5	2	1	1 2 2	1	1 2 2	1	1 2 2	22.0
6	2	1	1 2 2	2	2 1 1	2	2 1 1	30.5
7	2	2	2 1 1	1	1 2 2	2	2 1 1	25.0
8	2	2	2 1 1	2	2 1 1	1	1 2 2	28.5
9	3	1	2 1 2	1	2 1 2	1	2 1 2	26.5
10	3	1	2 1 1	2	1 2 1	2	1 2 1	29.5
11	3	2	1 2 1	1	2 1 2	2	1 2 1	21.5
12	3	2	1 2 1	2	1 2 1	1	2 1 2	29.0
13	4	1	2 2 1	1	2 2 1	1	2 2 1	27.0
14	4	1	2 2 1	2	1 1 2	2	1 1 2	29.5
15	4	2	1 1 2	1	2 2 1	2	1 1 2	21.0
16	4	2	1 1 2	2	1 1 2	1	2 2 1	25.0

Tablo 3. 4 Varyans Analizi Sonuçları

Faktör / Etkileşim	SS	v	V
A	15.92	3	5.31
B	23.77	1	23.77
C	70.14	1	70.14
D	0.39	1	0.39
AXB	16.68	3	5.56
AXC	9.06	3	3.02
AXD	14.55	3	4.85
Toplam	150.48	15	

Tablo 3. 5 Birleştirilmiş Varyans Analizi Sonuçları

Faktör/Etkileşim	SS	v	V	F	P
B	23.77	1	23.77	5.46	12.90
C	70.14	1	70.14	16.12	43.72
e (Hata)	56.58	13	4.35		43.38
Toplam	150.48	15			100.00

Buna göre uygun yağlamanın sağlanabilmesi için bu faktörlerin kontrol altına alınması gerekir. Kontrol edebilmek, her bir etkin faktöre ait en optimal seviyeyi tercih etmekle mümkündür. Problemimiz bir maksimizasyon problemi olduğu için etkin faktörlerin büyük değerleri tercih edilecektir. Bu şartlara göre faktörlerin seviyelerine göre ortalama değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{B}_1 = \frac{(27.5+31.5+22+30.5+26.5+29.5+27+29.5)}{8} = 28$$

Buradaki değerler Tablo 3.3'den alınmıştır. Aynı şekilde ;

$$\bar{B}_1=28 \quad \bar{C}_1 = 24.69$$

$\bar{B}_2=25.56$ $\bar{C}_2=28.88$ olur. Bütün dataların ortalaması ise

$$\bar{T} = 26.78 \text{ dir.}$$

Tercihler B_1 ve C_2 olacaktır. Bunlarla yığınin beklenen ortalaması şöyle tahmin edilir.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{B_1, C_2} &= \bar{B}_1 + \bar{C}_2 - \bar{T} \\ &= 28.00 + 28.88 - 26.78 = 30.10 \end{aligned}$$

Bu koşullardaki güven aralığı da aşağıdaki formülle bulunmaktadır.³

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{\left(F_{.10;1;13} \times V_c\right) / n_{\text{eff}}} \\ &= \sqrt{(31.4 \times 4.35) / (16 / 3)} = 1.6 \end{aligned}$$

Kontrol edilebilir faktörlerin burada belirlenen seviyeleri kullanılırsa yağlama skoru % 90 güven olasılığı ile 30.1 ± 1.6 güven aralığında olacaktır. Denemenin amacında yağlama skorunu en az 25'de tutmaktı, böylelikle hedef bu iki tasarım faktörüyle karşılanabilir.

Belirlenen spesifik şartlarda doğrulayıcı olması bakımından sağlama deneyi değişik birkaç vites denenerek yapılmış ve deneyden elde edilen verilerin ortalamalarının, belirlenen güven aralığında olduğu görülmüştür. (Ross, 1989, 267-269).

³ Güven aralığı hesaplanması ile ilgili bilgiler Bölüm 2.7.3'de verilmiştir.

3.2. Fosforik Asit Üretim Sürecinin Eniyilenmesi

İkinci örneğimiz Taguchi yönteminin Fosforik asit üretim sürecinde uygulanması ile ilgilidir (Burnak ve Çelik, 1994,s.9-17).

Konsantre fosfat kayası cevherinden fosforik asit üretim için önerilen yeni yöntemin eniyilenmesi istenmektedir. İlgilenilen performans karakteristikleri :

- Üretilen fosforik asit miktarının en büyüklenmesi,
- Çözeltideki kalsiyum miktarının en küçüklenmesi,
- Maliyetlerin en küçüklenmesi olarak sıralanabilir.

Beyin fırtınası oturumları sonunda performans karakteristiklerini etkileyebilecek değişkenler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Reaksiyon sıcaklığı (° C),
- Katı / Sıvı oranı (gram / mililitre),
- Klor gazı debisi (mililitre / dakika),
- Karıştırma hızı (devir / dakika),
- Reaksiyon süresi (dakika),
- Doygun çözelti PH'sındaki dalgalanma(asidik yapının gittikçe azalması),
- Klor gazı debisindeki dalgalanma (karıştırma hızı ve katı/sıvı oranından kaynaklanan),
- Dış ortam sıcaklığı,
- Dış ortamdaki havanın birleşimi.

Tablo 3. 6 Belirlenen Faktörler ve Seviyeleri

		SEVİYELER				
	DEĞİŞKENLER	1	2	3	4	5
A	Reaksiyon sıcaklığı	12	20	25	30	40
B	Katı / Sıvı oranı	1/3	1/5	1/7	1/10	1/15
C	Klor Debisi	0	40	80	120	200
D	Reaksiyon süresi	5	10	20	30	60
E	Karıştırma hızı	300	450	600	750	900

Yukarıda bahsedilen değişkenlerden ilk beşi üretim anında kontrolleri kolay olduğundan kontrol edilebilen faktörler grubuna, diğerleri ise hata faktörleri grubuna alınmıştır (bkz. Tablo 3.6).

Çalışmanın yapıldığı üretim sürecinde hata faktörlerinin deney anında kontrolleri zor olduğundan bunları kullanarak bir dış dizi oluşturmak yerine her bir deneysel birleşimde iki tekrar yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda kontrol edilebilen faktörler arasında önemli bileşik etkilerin olmadığına veya çok önemsiz olduğuna karar verilmiştir. Kaynak sınırlaması gözönüne alınarak başlangıçta daha büyük dizi seçerek bu bileşik etkileri sayısal olarak gözlemlemek yerine eniyi değişken-seviye birleşimine karşı gelen doğrulama deneylerinde beklenen sonuçlara ulaşıp ulaşılamamasıyla “önemli bileşik etki(ler) olmadığı” varsayımı kontrol edilmiştir.

Her biri 5'er seviyeli olan 5 değişken incelendiğinden, deneyin serbestlik derecesi en az 20 olmalıdır. Bu şarta en uygun standart ortogonal dizi $L_{25} (5^6)$ dizisidir (bkz. Tablo 3.7.). Seçilen dizinin serbestlik derecesi 24 olup deney için gerekli olan serbestlik derecesi sağlanmaktadır. Seçilen $L_{25} (5^6)$ dizisi ile her biri 5'er seviyeli olan 6 değişken incelenebilir. Problemden sadece 5 değişken olduğundan seçilen dizinin bir sütunu boş bırakılmış ve bu sütun hatayı kestirebilmek amacıyla kullanılmıştır.

İncelenecek performans karakteristikleri farklı yapıda olduklarından, performans istatistikleri de farklı yapıdadır. Üretilen fosforik asit miktarının en büyüklenmesi istendiğinden en-yüksek-en-iyi durumu için Taguchi'nin önerdiği performans istatistiği seçilebilir.

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

Bir diğer performans karakteristiği ise çözeltideki kalsiyum miktarının en azlanmasıdır. Kalsiyum miktarının en azlanabilmesi için Taguchi'nin önerdiği en-küçük-en-iyi durumuna uygun performans istatistiği seçilebilir.

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

Belirlenen faktörler dizinin sütunlarına yerleştirildikten sonra deney sırası elde edilmiştir. Başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek için deney sırası rassallaştırılmıştır. Deney sırasında sıcaklık değişkenine göre bloklama yapılmış ve blok içinde rassallaştırma uygulanmıştır.

Tablo 3. 7 Seçilen L_{25} Deney Planı ve Blok İçinde Rassallaştırılmış Deney Sırası

DENEY SIRASI	STANDART SIRA	SÜTUN NO					
		1	2	3	4	5	6
24	1	1	1	1	1	1	1
21	2	1	2	2	2	2	2
25	3	1	3	3	3	3	3
23	4	1	4	4	4	4	4
22	5	1	5	5	5	5	5
2	6	2	1	2	3	4	5
1	7	2	2	3	4	5	1
4	8	2	3	4	5	1	2
5	9	2	4	5	1	2	3
3	10	2	5	1	2	3	4
8	11	3	1	3	5	2	4
6	12	3	2	4	1	3	5
9	13	3	3	5	2	4	1
10	14	3	4	1	3	5	2
7	15	3	5	2	4	1	3
15	16	4	1	4	2	5	3
11	17	4	2	5	3	1	4
14	18	4	3	1	4	2	5
12	19	4	4	2	5	3	1
13	20	4	5	3	1	4	2
16	21	5	1	5	3	1	4
20	22	5	2	1	5	4	3
17	23	5	3	2	1	5	4
19	24	5	4	3	2	1	5
18	25	5	5	4	3	2	1

Tablo 3. 8 Deneysel Sonuçlar ve Performans İstatistikleri

No	Fosforik Asit (%)				Kalsiyum (%)			
	1	2	\bar{X}	S/N	1	2	\bar{X}	S/N
1	41.97	32.45	37.210	31.199	24.49	20.24	22.365	-27.03
2	83.63	65.70	74.69	37.278	40.98	35.10	38.140	-31.63
3	96.83	96.83	95.85	39.63	28.14	34.22	31.18	-29.91
4	85.32	96.83	89.13	38.976	9.22	10.83	10.025	-20.049
5	93.00	96.83	93.870	39.449	9.33	10.50	9.915	-19.940
..
..
..
..
..
..21	46.81	44.82	45.81	33.214	27.49	26.71	27.1	-28.660
..22	70.08	54.86	62.47	35.719	39.15	32.68	35.92	-31.141
23	83.75	83.56	83.655	38.449	34.83	39.45	37.140	-31.413
24	69.72	83.44	76.355	37.544	29.21	23.80	26.505	-28.511
25	81.81	81.48	81.645	38.238	13.74	13.20	13.470	-22.589

Öngörülen deneyler ve ölçümler yapıldıktan sonra elde edilen veriler kullanılarak ortalamalar ve performans istatistikleri Tablo 3.8'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Performans istatistiklerine göre yapılan varyans analizi sonuçları Tablo 3.9 ve Tablo 3.10'da verilmiştir. Her iki tabloda da B değişkeninin oldukça önemli olduğu, fosforik asit için D, kalsiyum için C değişkenlerinin incelenmeye değer oldukları görülmektedir.

Varyans analizi tablosunda istatistiksel olarak etkili bulunan değişkenler kullanılarak, en iyi değişken seviye bileşimine karşılık gelen performans değerleri kestirilebilir. Tablo 3.11'de verilen ortalama performans değerleri, önemli görülen değişkenler için belirlendikten sonra ortalama değer (μ) bulunur. Bu bir nokta değeri olup

doğrulama deneyi sonuçlarının yayılabilecekleri güven aralıkları oluşturulmalıdır.

Tablo 3. 9 Performans İstatistiği “Fosforik Asit Miktarı” Üzerine Yapılan Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı		Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F	Katkı Yüzdesi
A	Reaks. Sıcaklığı	4	3.75	0.93		
B	Katı/Sıvı Oranı	4	113.78	28.44	*27.25	78.47
C	Klor Debisi	4	4.59	1.14		
D	Reaksiyon Süresi	4	9.28	2.32	2.23	3.67
E	Karıştırma Hızı	4	6.55	1.63		
Hata		4	1.73	0.43		
Birleştirilmiş Hata		16	16.64	1.04		17.86
GENEL		24	139.71	5.82		100.00
* % 1 Yanılgı düzeyinde etkili olan değişkenler $F_{(0.01);4.16} = 4.77$						

Tablo 3. 10 Performans İstatistiği “Kalsiyum Miktarı” Üzerine Yapılan Varyans Analizi

Değişkenlik Kaynağı		Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Varyans	F	Katkı Yüzdesi
A	Reaks. Sıcaklığı	4	29.52	7.38		
B	Katı/Sıvı Oranı	4	221.16	55.29	*9.137	50.92
C	Klor Debisi	4	68.83	17.20	2.84	11.54
D	Reaksiyon Süresi	4	27.42	6.85		
E	Karıştırma Hızı	4	20.62	5.15		
Hata		4	19.24	4.81		
Birleştirilmiş Hata		16	96.81	6.05		37.54
GENEL		24	386.81	16.11		100.00
* % 1 Yanılgı düzeyinde etkili olan değişkenler $F_{(0.01);4.16} = 4.77$						

Tablo 3. 11 En İyi Değişken-Seviye Birleşimi Seçimi

DEĞİŞKEN	SEVİYE	Fosforik Asit %		Kalsiyum %		MALİYET	SEÇİMİ
		\bar{X}	S / N	\bar{X}	S / N		
A	12	78.15	37.306	22.305	-25.714	En az	A ₁
	20	75.309	37.177	24.143	-26.888		
	25	77.576	37.588	24.698	-27.608		
	30	79.481	37.756	28.312	-28.685		
	40	69.988	36.633	28.026	-28.463	En çok	
B	1/3	46.210	33.103	27.009	-28.603	En az	B ₃
	1/5	78.814	37.761	35.880	-31.242		
	1/7	89.351	38.976	29.511	-29.311		
	1/10	85.268	38.511	20.678	-25.247		
	1/15	80.862	38.108	14.406	-22.954	En çok	
C	0	70.930	36.493	30.042	-29.424	En az	C ₄
	40	75.994	37.246	26.658	-27.803		
	80	77.977	37.606	29.335	-29.034		
	120	78.762	37.697	19.585	-25.591		
	200	76.842	37.418	21.864	-25.505	En çok	
D	5	67.706	36.236	21.545	-26.318	En az	D ₃
	10	72.418	36.977	26.836	-28.415		
	20	81.159	37.809	30.108	-29.006		
	30	78.663	37.641	24.849	-26.686		
	60	80.559	37.796	24.146	-26.931	En çok	
E	300	76.242	37.139	25.279	-27.388	En az	E ₃
	450	72.902	37.071	25.160	-26.992		
	600	77.700	37.502	24.151	-27.939		
	750	70.666	37.605	22.051	-26.166		
	900	82.995	38.142	30.843	-28.873	En çok	
GENEL ORTALAMA		76.101		25.496			

Tablo 3.12 ve Tablo 3.13’de verilen Ortalamalar üzerine yapılan varyans analizi sonuçlarına göre her iki performans karakteristiği için etkin olan değişkenler belirlenip bu değişkenlerin en iyi değişken-seviye bileşimi Tablo 3.11’e göre bulunmuştur (En iyi değişken-seviye bileşimi belirleme işlemi yapılırken maliyetlerde dikkate alınmıştır).

Tablo 3. 12 Fosforik Asit Miktarı Ortalamaları Üzerine Yapılan Varyans Analizi

DEĞİŞKENLİK KAYNAĞI	SERBESTLİK DERECESİ	KARELER TOPLAMI	VARYANS	F
A	4	558.012	139.503	**3.461
B	4	11830.958	2957.739	*73.388
C	4	379.000	94.750	2.351
D	4	1360.614	340.153	*8.440
E	4	898.767	224.691	*5.575
HATA	29	1168.7674	40.302	
GENEL	49	16196.1200	330.533	

** % 5 Yanılgı düzeyinde etkili değişkenler $F_{(0.05); 4,29} = 2.70$
* % 1 Yanılgı düzeyinde etkili değişkenler $F_{(0.01); 4,29} = 4.04$

Tablo 3. 13 Kalsiyum Miktarı Ortalamaları Üzerine Yapılan Varyans Analizi

DEĞİŞKENLİK KAYNAĞI	SERBESTLİK DERECESİ	KARELER TOPLAMI	VARYANS	F
A	4	269.806	67.451	1.504
B	4	2724.380	681.095	*15.192
C	4	848.856	212.214	*4.733
D	4	409.176	102.294	2.281
E	4	424.274	106.068	2.365
HATA	29	1300.146	44.832	
GENEL	49	5976.6405	121.972	

** % 5 Yanılgı düzeyinde etkili değişkenler $F_{(0.05); 4,29} = 2.70$
* % 1 Yanılgı düzeyinde etkili değişkenler $F_{(0.01); 4,29} = 4.04$

Fosforik asit miktarı için Tablo 3.12'ye göre A, B, D ve E değişkenlerinin etkin olduğu ve en iyi seviyelerinin Tablo 3.11'e göre A₁ B₃ D₃ E₃ olduğu bulunmuştur. Buna göre yığının beklenen ortalaması;

$$\mu_{\text{Fosforikasit}} = \bar{A}_1 + \bar{B}_3 + \bar{D}_3 + \bar{E}_3 - 3\bar{T} \text{ ifadesi ile bulunabilir.}$$

Aynı şekilde Kalsiyum miktarı için Tablo 3.13'e göre B ile C değişkenlerinin etkin olduğu ve en iyi seviyelerinin B₃ C₄ olduğu belirlenmiştir. Buna göre Kalsiyum miktarı için beklenen ortalama ;

$$\mu_{\text{Kalsiyum}} = \bar{B}_3 + \bar{C}_4 - \bar{T} \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

Ortalamaların % 5 yanılğı düzeyindeki güven aralıkları ⁴;

$$CI = \sqrt{F_{\alpha,1, v_e} \times V_e \left[\left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \text{ ifadesi yardımıyla hesaplanır.}$$

Beklenen ortalamalar ve bu ortalamaların % 5 yanılğı düzeyindeki güven aralıkları, fosforik asit miktarı ve kalsiyum miktarı için hesaplanıp Tablo 3.14'de verilmiştir.

Güven aralıkları belirlendikten sonra doğrulama deneyi yapılmalı ve sonuçların doğru olup olmadıkları test edilmelidir. Bu amaçla belirlenen en iyi değişken- seviye birleşimi iki kez tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo 3.15'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.14'de belirlenen güven aralıkları içinde olduklarından, % 5 yanılğı düzeyinde deney sonuçlarının doğru olduğu söylenebilir. Böylece doğrulama deneyi ile beklenen sonuçlara ulaşıldığından, önemli bileşik etkiler olmadığı da kontrol edilmiştir.

Yapılan çalışma ile fosforik asit üretim sürecinin en iyilenmesinde karşılaşılan problemlerin çözümünde Taguchi yönteminden nasıl yararlanabileceği gösterilmiştir. Çalışma sonunda kontrol edilemeyen değişkenlerin bozucu etkilerine karşı daha sağlam (duyarsız) süreç sağlandığı anlatılmıştır.

⁴ Güven aralıkları ile ilgili olarak Bkz. 2.7.3.1

BÖLÜM 4 : TAGUCHI DENEYSEL TASARIM METODU KULLANILARAK PROSES GELİŞTİRME UYGULAMASI

4.1. Giriş

Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş.'de üretilen şalter gövdelerinin, kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini optimize edecek proses şartlarının bulunması amaçlanmaktadır.

Plastik maddelerin termosetler grubunda bulunan BMC (hamur veya hazır kalıplama bileşimleri) malzemesinin, basınç altında sıcak presleme ile şalter gövdesi haline getirildiği prosesin optimum şartlarının bulunması hedeflenmiştir.

Mukavemetlerinin yüksek olması nedeniyle tercih edilen Termosetler belirli bir biçim verildikten sonra ısı ile değişmeyen plastiklerdir. Sertleşmiş olan bu malzemeyi tekrar akışkan yapmak, plastik form vermek mümkün değildir. Malzemeye değiştirilemez bir oluşum kazandırılmıştır.

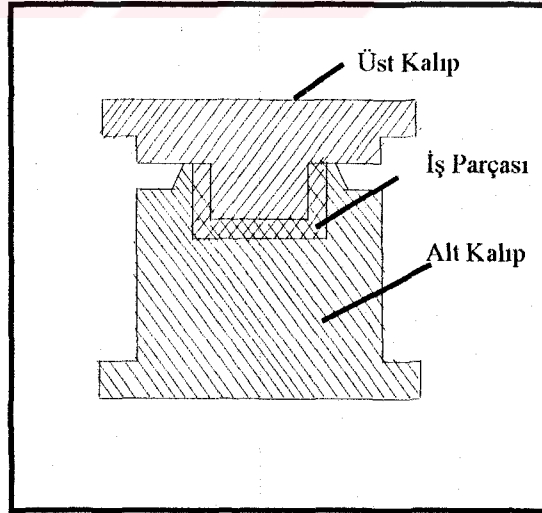
Kalıplanacak olan malzemeye mekanik-elektriksel özellikler kazandırmak ve maliyeti düşürmek için odun tozu, sentetik elyaf, amyant elyafı, cam elyaf, pamuk parçaları vb. gibi dolgu malzemeleri takviye edilir. Örneğin cam elyafı ile takviye edilmiş termosetler, yüksek mekanik mukavemetlere ulaşır ve çeliğe yaklaşan bir malzeme hüviyetine bürünür.

Ayrıca termosetlerin metallere göre, mekanik değerler açısından en önemli özelliği özgül ağırlığının az olmasıdır. Yani bazı mekanik mukavemet değerleri olarak metallere göre zayıf görünüyorsa da daha kalın döküldüğünde bazı şartlarda çelikten bile dayanıklıdır. Yukarıda belirtildiği gibi malzemeye şekil verildikten sonra değiştirilemez bir oluşum kazandırılır. Termosetlerin bu dezavantajlarını göz önünde bulundurursak üretilen üründe meydana gelebilecek hataları düzeltmenin mümkün

olmayışı dikkate alınarak, yüksek mekanik mukavemete sahip şalterlerin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenebilmesi için, kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırıldığı Taguchi Deneysel Tasarım metodunun kullanımı tercih edilmiştir.

Son zamanlardaki teknolojik gelişmelere paralel olarak özellikle modern imalat sistemlerinde, mamuller belirlenen özelliklere neredeyse tamamen uygun üretilebilmektedir. Buda kalitenin üretim esnasında olduğundan daha çok tasarım esnasında geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Malzeme, basınç altında sıcak presleme ile bitmiş ürünler haline getirilir. Direkt basınçlı kalıplama, plastik maddelerin kalıplanmasında kullanılan bir yöntemdir ve dikey hidrolik pres ile çalışır. Şekil'4.1'de görüldüğü gibi altta oyuklu sabit bir plaka vardır ve üstten gelen hareketli piston ile içerideki maddeye şekil verilir. Aynı tarafta ısıtılan ve sonra presin plakaları arasında yerleştirilen kalıp ise işlem tamamlanınca dışarı alınmaktadır. Altta kalıp üst pistonla kilitlenerek malzemenin şekillendirilmesi sağlanmaktadır. BMC, elyaf takviye malzemesinin reçine ve dolgu malzemesi ile hamur halinde karışımından meydana gelmiştir. BMC'nin işlenmesi sırasında, kalıp sıcaklığı 110 ve 180 °C arasında olabilir basınçta 100-400 kg/cm² arasında seçilebilir.



Şekil 4. 1. Kompresör kalıp prensibi

Şalter gövdeleri direkt basınçlı kalıplama yöntemi ile, kalıp alt ve üst parçaları arasında belli bir ısı ve basınç altında belli bir süre preslenerek elde edildiğine göre ; kalıplama (pişirme) süresi, basınç ve alt ve üst kalıp sıcaklıkları performans karakteristiğimizi etkileyeceği düşünülen faktörlerin başında yer almaktadır.

Ayrıca malzemeyi meydana getiren maddelerin cins ve oranlarını değiştirerek malzemenin mekanik özellikleri değiştirilebilir. Buna dayanarak BMC malzemesini meydana getiren kimyasal maddelerden Kalsit belli bir oranda arttırılmış diğerlerinin oranları ise değiştirilmemiştir. Diğer kimyasal maddelerin optimum değerleri daha önce yapılan çalışmalar ile belirlenmiş olduğundan onların oranları sabit bırakılmıştır.

Katman içerisindeki takviye liflerini bağlayıcı rol oynayan ve hamurun özünü teşkil eden Polyester reçinenin de markasında değişiklik yapılmış, her zaman kullanılan farklı bir marka alternatif olarak sunulmuş ve performans karakteristiği üzerinde etkisi olup olmadığı araştırılmıştır.

Şalter gövdesi haline getirilmek için sıcaklık ve basınç altında preslenecek olan BMC malzemesi değişik cins ve oranlarda kimyasal maddeler ihtiva ettiğinden; preslenmek üzere hazırlanan hamurun dinlenme süresinin performans karakteristiği üzerinde etkisi olup olmadığı da araştırılmıştır. Çünkü hata faktörlerinin değişimine bağlı olarak, zamanla hamurun özelliklerinde değişme olabileceği düşünülmüş, gerekli olan hamurlar dört gün ara ile hazırlanmış ve deneylerin tümü hazırlanan hamurlar kullanılarak aynı günde tamamlanmıştır.

Bunlardan başka ortamın sıcaklığı ve nem durumu, hamur hazırlamada kullanılan karıştırıcıların hızı ve karıştırılma süresi performansı etkileyen faktörlerdendir. Ayrıca hazırlanan hamurlar kullanılarak deneyler yapılırken hamurun dışarıda kalıplanmak üzere beklemesi esnasında özelliklerinde olabilecek değişim direkt olarak bitmiş ürüne yansımaktadır. Hamur hazırlanırken, hamuru oluşturan kimyasal maddelerin miktarlarında (çok azda olsa) olabilecek değişim hamurun özelliklerini etkilemekte ve değişkenliğe sebep olmaktadır.

Bu paragrafta bahsedilen faktörlerin kontrolleri çok zor, pahalı ve zaman alıcı olduğundan bu faktörler kontrol edilemeyen (noise, hata) faktörler olarak kabul edilmiştir. Ve bu faktörlerle bir dizi oluşturmaktansa, kontrol faktörleri ile yapılacak olan deneyde her deneme beş kez tekrar edilmiş böylece kontrol edilemeyen

faktörlerin meydana getirebilecekleri değişim gözlenmiştir.

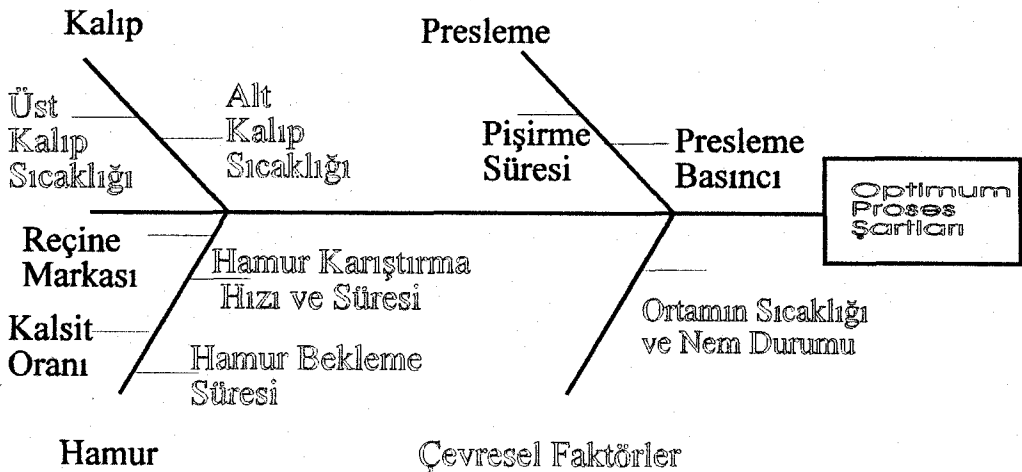
Ayrıca kalıplama süresi ile alt ve üst kalıp sıcaklıkları arasında bir etkileşim olduğu tahmin edilmektedir. Böylece bu etkileşimlerde birer faktör gibi kabul edilmiş ve ortogonal dizinin kolonlarına atanmıştır.

4.2. Çözülecek Olan Problemin Belirlenmesi

Ürünle (Şalter gövdesi) ile ilgili bir problem belirleyip bu problemin çözümünden ziyade, yüksek mukavemete sahip mamullerin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenmesi ve ürünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Şalter gövdelerinin müşteri beklentilerine ilişkin kalite karakteristiklerini etkileyen proses şartlarının tespit edilmesi istenmektedir. Bu amaçla proses ve ürün irdelenmiş ve Şekil 4.2'deki Sebep-sonuç (Balık kılıcı) diyagramı oluşturulmuştur.

4.3. Performans Karakteristiği ve Ölçüm Sisteminin Belirlenmesi

Yapılan beyin fırtınası çalışmaları sonucunda müşteri istek ve beklentilerine cevap verecek şalter gövdelerinin performanslarını gösteren karakteristiği; mamulün kullanılacağı ortamda maruz kalabileceği darbelere karşı direncini gösteren eğilme mukavemeti olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 2. Kalıplama Prosesinde Sebep- Sonuç Diyagramı

Test çubuğu kalıbı kullanılarak preslenen BMC Malzemesi yapılan denemeler sonucunda Termometrik marka, mikro 350 tip, 1000 kg kapasiteli ve 2/10000 hassasiyete sahip deney cihazında, deney numunelerinin eğilme mukavemetlerinin tayini için eğmeye maruz bırakılmışlardır ve eğme hasar meydana gelene kadar devam etmiştir. Numuneler sabit sıcaklık (oda sıcaklığı) ve sabit hızda (10 mm/dak.) deneye tabi tutulmuşlardır. Deney numuneleri TS 53452'ye göre hazırlanmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen dataların analizi yapılmış ve performans karakteristiğini (eğilme mukavemeti) en iyileyen proses koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. BMC Malzemesine göre, eğilme testine tabi tutulan numunelerin eğilme mukavemetlerinin 60-110 N/mm² olması istenmektedir.

4.4. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Yapılan araştırma ve analizler sonucunda, şalter gövdelerinin üretildiği prosese ve mukavemetlerine etki edeceği düşünülen faktörler;

- Kalıplama Süresi
- Üst kalıp sıcaklığı
- Alt kalıp sıcaklığı
- Presleme basıncı
- Hamurdaki dolgu maddelerinden Kalsit oranındaki değişim
- Hamurun özünü teşkil eden Reçinenin markası
- Hazırlanan hamurun bekleme süresi
- Hamur hazırlanırken kullanılan karıştırıcının hızı
- Ortamın sıcaklığı ve nem durumu
- Aynı oranlar ve aynı maddeler kullanılarak hazırlanan hamurun her defasında farklı özelliklere sahip olma durumu
- Kalıplanmak üzere ambalajından çıkartılan hamurun kalıplanmak üzere beklerken hata faktörlerinin etkisi ve zamanın ilerlemesiyle özelliklerinde olabilecek değişimdir.

Yukarıda bahsedilen ve performans karakteristiğimizi etkileyeceği düşünülen faktörlerden ilk yedisi imalatçı tarafından kontrol edilebilen faktörler olarak belirlenmiştir. Diğer faktörlerin kontrolleri zor, pahalı ve zaman alıcı olduğundan bunlar kontrol edilemeyen (noise,hata) faktörler olarak kabul edilmiştir. Fakat deneyler esnasında, parametre tasarımına göre hata faktörleriyle bir dış dizi oluşturup deneyleri tamamlamaktansa, kontrol edilebilen faktörler kullanılarak iç dizi oluşturulmuş, denemeler beşer kez tekrar edilmiştir. Yapılan tekrarlar, orijinal veri noktalarının saptanmasında ve kontrol edilemeyen faktörlerin gün boyunca değişmesi durumunda, bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde fayda sağlamıştır.

Ayrıca, kontrol faktörlerinden kalıplama süresi ile üst ve alt kalıp sıcaklığı arasında bir etkileşim olabileceği tahmin edilmiş ve bu etkileşimler de birer faktör gibi kabul edilip, bu ortogonal dizinin kolonlarına atanmıştır. Performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyeleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktörler ve Seviyeleri

	FAKTÖRLER	I. SEVİYE	II. SEVİYE
A	Kalıplama Süresi	120 sn.	150 sn.
B	Üst Kalıp Sıcaklığı	140 °C	147 °C
C	Alt Kalıp sıcaklığı	150 °C	157 °C
D	Presleme Basıncı	110 bar	150 bar
E	Hamurun özünün teşkil eden reçinenin markası	A marka	B marka
F	Hamurdaki dolgu maddelerinden Kalsit oranındaki değişim	% a	% b
G	Hazırlanan hamurun bekleme süresi	X gün	Y gün

4.5. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

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

Bölüm 2.3.6.2’de belirtildiği gibi bir faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerin ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamıdır. Bizim problemimizde yedi tane kontrol edilebilen faktör (A,B,C,D,E,F,G), faktörler arasında A ile B ve A ile C faktörleri arasında etkileşim söz konusu olduğundan, etkileşimlerde dikkate alınarak dizi belirleniyor.

Tablo 4.2’de 2.16 ve 2.17 nolu eşitliklere göre belirlenen faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri verilmektedir.¹

Faktör ve etkileşim grubunun toplam serbestlik derecesi 9 olarak bulunur. Ortogonal dizi seçilirken 2.5 nolu denkleme göre ;

$$v_{LN} = N-1 \text{ (Dizinin serbestlik derecesi)'dir.}$$

$$v_{LN} \geq \text{faktör ve etkileşim için gerekli miktar}$$

$$v_{L16} = 16-1 = 15$$

$$\text{Faktör ve etkileşimler için gerekli miktar} = 9$$

15 > 9 olduğuna göre L₁₆ Dizisi bizim problemimize uygun bir dizi olarak belirlenir. Ayrıca Ek-A’da görülen, deneysel dizilerin zm tablosunda da (TabloA-1) 2 seviyeli 7 faktör için L₁₆ ortogonal dizisinin yeterli olduğu görülmektedir. Tablo’dan zm gücünün (resolution) 2 olduğu ve tüm faktörlerin etkileri ile iki faktörlü etkileşim gruplarının bazılarının etkilerinin tahmin edilebileceği anlaşılmaktadır,(Lochner and Matar, 1990, s.86). zm gücü hangi faktörlerin ve etkileşimlerin deneyde değerlendirilebileceğini net bir şekilde ortaya koyar,(Ross,1988,s.81).

¹ Serbestlik Dereceleri ile ilgili olarak Bölüm 2.6.2’ ye bakınız.

Tablo 4. 2. Faktör ve Etkileşimlerin Serbestlik Dereceleri ve Toplam Serbestlik Derecesi

FAKTÖR / ETKİLEŞİM	SERBESTLİK DERECESİ
A	$v_A = k_A - 1 = 2 - 1 = 1$
B	$v_B = k_B - 1 = 2 - 1 = 1$
C	$v_C = k_C - 1 = 2 - 1 = 1$
D	$v_D = k_D - 1 = 2 - 1 = 1$
E	$v_E = k_E - 1 = 2 - 1 = 1$
F	$v_F = k_F - 1 = 2 - 1 = 1$
G	$v_G = k_G - 1 = 2 - 1 = 1$
AXB	$v_{A \times B} = (v_A) \times (v_B) = 1 \times 1 = 1$
AXC	$v_{A \times C} = (v_A) \times (v_C) = 1 \times 1 = 1$
Toplam Serbestlik Derecesi	9

4.6. Faktör ve Etkileşimlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması

Tüm faktörlerin iki seviyeli olduğu, çözüm derecesinin 2 (çözüm-2) olduğu L_{16} Ortogonal dizisi, problemimiz için belirlendikten sonra faktörler sütunlara yerleştirilebilir.

Atama işlemi yapılırken, Lineer grafikler, etkileşim tabloları ve Ek-A'da yer alan iki seviyeli faktörlerin atanmasında kullanılan ve hangi faktörün hangi sütuna atanacağını belirten Tablo-A-2'den yararlanılabilir.

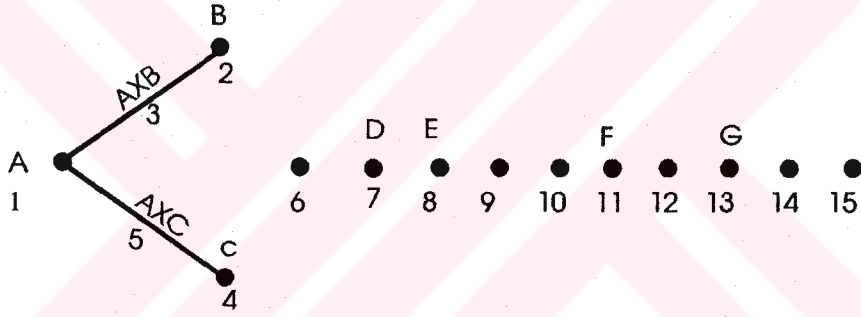
A, B, C, D, E, F ve G olmak üzere 2 seviyeli 7 faktörümüzü ve AxB ve AxC arasındaki etkileşimi göz önüne alırsak; Ek-A'da yer alan L_{16} ortogonal dizisi için üçgensel tabloya göre, 1. sütuna A faktörü ve 2. sütuna B faktörünü atarsak bunların etkileşimini (AXB) 3. sütuna atamamız gerekir. Öte yandan Ek-A'da yer alan Tablo-A-2 atama işlemleri için aşağıda belirtilen kolonları önermektedir.

Tablo 4.3'e göre C faktörü 4. sütuna atanır. Üçgensel tabloya baktığımızda, A faktörü 1. sütuna ve C faktörü 4. sütuna atandığında AxC etkileşimi 5. sütuna atanmaktadır. Problemimizde gözlenmek istenen başka etkileşim olmadığından diğer faktörler Tablo 4.3'de gösterildiği şekilde L_{16} ortogonal dizisine atanır. Probleme ait

Lineer grafik Şekil 4.3’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4. 3 Faktörlerin Sütunlara Atanması

FAKTÖRLER	ATANACAĞI SÜTUN
A	1
B	2
C	4
D	7
E	8
F	11
G	13



Şekil 4. 3. Probleme ait Lineer Grafik

Faktörlerin ve etkileşimlerin L_{16} Ortogonal Dizisine atanmış hali Tablo 4.4’de görülmektedir. Tablo’da görüldüğü gibi 6, 9, 10, 12, 14, 15 nolu sütunlar boş bırakılmıştır. Bu altı adet sütunun boş bırakılması deneyin ortogonalliğini bozmayacaktır. Atama yapılmamış sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir, (Ross, 1988,92).

4.7. Deneyin Yönlendirilmesi

Deney esnasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek için deney sırası rassallaştırılır.

Deneyleer yapılıırken B ve C faktörleri ile temsil edilen alt kalıp sıcaklığı ve üst kalıp sıcaklığı açısından testin kuruluşunun zaman alıcı olduğu düşünölmüş ve bloklar içinde tamamen rassallaştırma uygulanmıştır. (Hamurun kalıplanmak üzere beklediği anda özelliklerinde olabilecek değişim düşünölüp bekleme zamanı minimum düzeeye indirilmeye çalışılmış, kalıp sıcaklığı bu sebepten bloklanmıştır.)

Tablo 4. 4. Standart L16 Ortogonal Dizisine Faktör ve Etkileşimlerin Atanması

Deneme No	FAKTÖRLER														
	A	B	AXB	C	AXC	D	E	F	G						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Kalıplama esnasında, alt kalıp sıcaklığı ile üst kalıp sıcaklığı arasında fark olması gerektiği dikkate alınmıştır. (Hamurun hangi kalıpta kalması isteniyorsa, o kalıbın sıcaklığının diğerinden fazla olması gerekmektedir.) B ve C faktörleri için belirlenen seviyeler aşağıdaki gibidir.

	I. SEVİYE	II. SEVİYE
B (Alt kalıp sıcaklığı)	140 °C	147°C
C (Üst kalıp sıcaklığı)	150°C	157°C

Belirlenen performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen tüm faktörler L_{16} ortogonal dizisine atanmış ve rassallaştırma uygulanmadan önce deney şartları Tablo 4.5'de sunulmuştur. L_{16} Ortogonal dizisindeki standart sıraya göre B faktörünün 4 kez C faktörünün de 8 kez değiştirilmesi gerekmektedir. Kalıpların her defasında ısıtılması veya soğuması için beklenilmesi gereken süre, deneyin tamamlanabilmesi için gereken sürenin artmasına sebep olmakta, buda hata kaynaklarının sonuç üzerinde meydana getirecekleri etkiyi arttırmaktadır.

Deney esnasında sıcaklık faktörüne göre bloklama yapılmıştır. Fakat sıcaklık faktörü alt ve üst sıcaklık için farklı faktörler olarak değerlendirildiğinden dolayı bloklama işlemi uygulanırken bu iki faktör dikkate alınıp, bloklama işleminden sonra rassallaştırma uygulanmıştır (bkz.Tablo 4.6). Bloklama işlemi sonucunda; B faktörünün deney esnasında 3 kez, C faktörünün 2 kez değiştirilmesi sağlanıp deneyin tamamlanması için gereken süre minimum düzeye indirilmiştir.

4.8. Deneylerin Yapılması ve Dataların Toplanması

Belirlenen deneme koşullarına göre testler yapıp, her deneme 5'er kez tekrarlanmıştır. Test çubuğu kalıbı kullanılarak yapılan denemeler sonucunda elde edilen deney numuneleri, eğilme mukavemetlerinin tayini için deney cihazında eğmeye maruz bırakılmıştır ve eğme hasar meydana gelene kadar devam etmiştir. Böylece her bir denemeden 5'er data sağlanmıştır. Deney sonucunda elde edilen datalar, data ortalamaları ve S/N oranları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Performans istatistiği (S/N oranı) bulunurken, problemimizin performans

karakteristiğinin (eğilme mukavemeti) en-yüksek-en-iyi olduğu dikkate alınmış ve

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \text{eşitliği kullanılarak bulunmuştur, (Lochner and$$

Matar, 1990, s.134-136).

Tablo 4. 5. Standart L₁₆ Dizisine Göre Belirlenen Deney Koşulları

Deneme No	FAKTÖRLER														
	A	B	AxB	C	AxC	D	E	F	G	SÜTUN NO					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	120 sn	140 C	1	150 C	1	1	110 bar	A marka	1	1	% a	1	Xgün	1	1
2	120 sn	140 C	1	150 C	1	1	110 bar	B marka	2	2	% b	2	Ygün	2	2
3	120 sn	140 C	1	157 C	2	2	150 bar	A marka	1	1	% a	2	Ygün	2	2
4	120 sn	140 C	1	157 C	2	2	150 bar	B marka	2	2	% b	1	Xgün	1	1
5	120 sn	147 C	2	150 C	1	2	150 bar	A marka	1	2	% b	1	Xgün	2	2
6	120 sn	147 C	2	150 C	1	2	150 bar	B marka	2	1	% a	2	Ygün	1	1
7	120 sn	147 C	2	157 C	2	1	110 bar	A marka	1	2	% b	2	Ygün	1	1
8	120 sn	147 C	2	157 C	2	1	110 bar	B marka	2	1	% a	1	Xgün	2	2
9	150 sn	140 C	2	150 C	2	1	150 bar	A marka	2	1	% b	1	Ygün	1	2
10	150 sn	140 C	2	150 C	2	1	150 bar	B marka	1	2	% a	2	Xgün	2	1
11	150 sn	140 C	2	157 C	1	2	110 bar	A marka	2	1	% b	2	Xgün	2	1
12	150 sn	140 C	2	157 C	1	2	110 bar	B marka	1	2	% a	1	Ygün	1	2
13	150 sn	147 C	1	150 C	2	2	110 bar	A marka	2	2	% a	1	Ygün	2	1
14	150 sn	147 C	1	150 C	2	2	110 bar	B marka	1	1	% b	2	Xgün	1	2
15	150 sn	147 C	1	157 C	1	1	150 bar	A marka	2	2	% a	2	Xgün	1	2
16	150 sn	147 C	1	157 C	1	1	150 bar	B marka	1	1	% b	1	Ygün	2	1

Tablo 4. 6. Rassallaştırılmış L_{16} Dizisine Göre Belirlenen Deney Şartları

Rassal Deneme No	Standart Deneme No	Sütun No / Faktörler																	
		A		B		A*B		C		A*C		D		E		F		G	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
1	10	150	140	2	150	2		150	B			a		X					
2	1	120	140	1	150	1		110	A			a		X					
3	2	120	140	1	150	1		110	B			b		Y					
4	9	150	140	2	150	2		150	A			b		Y					
5	13	150	147	1	150	2		110	A			a		Y					
6	6	120	147	2	150	1		150	B			a		Y					
7	5	120	147	2	150	1		150	A			b		X					
8	14	150	147	1	150	2		110	B			b		X					
9	7	120	147	2	157	2		110	A			b		Y					
10	15	150	147	1	157	1		150	A			a		X					
11	16	150	147	1	157	1		150	B			b		Y					
12	8	120	147	2	157	2		110	B			a		X					
13	4	120	140	1	157	2		150	B			b		X					
14	3	120	140	1	157	2		150	A			a		Y					
15	12	150	140	2	157	1		110	B			a		Y					
16	11	150	140	2	157	1		110	A			b		X					

Tablo 4. 7 Deneylemler Sonucunda Elde Edilen Datalar ve İlgili Hesaplamalar

Std. Deneme No	Rassal Deneme No	GÖZLEM DEĞERLERİ															Toplam	Orta.	S/N Oranı				
		SÜTUNLAR / FAKTÖRLER																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15							
10	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	82,09	60,18	87,63	60,16	80,16	370,22	74,044	37,048
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	96,52	71,33	90,14	120,9	76,28	455,17	91,034	38,747
2	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	70,57	49,33	78,68	57,1	57,36	313,04	62,608	35,579
9	4	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	94,03	37,93	62,68	46,45	57,63	298,72	59,744	34,372
13	5	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	105,8	69,03	94,27	60,86	49,83	379,79	75,958	36,638
6	6	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	86,19	101,5	89,75	66,33	74,88	418,65	83,73	38,173
5	7	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	67,54	78,46	50,86	80	87,92	364,78	72,956	36,762
14	8	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	100,9	72,12	69,25	111,6	57,86	411,73	82,346	37,555
7	9	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	72,5	71,97	77,27	86,23	81,42	389,39	77,878	37,767
15	10	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	46,95	72,36	62,25	112,3	85,33	379,19	75,838	36,5
16	11	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	61,33	74,52	64,98	96,15	56,04	353,02	70,604	36,539
8	12	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	97,29	100	81,48	92,13	108,3	479,2	95,84	39,513
4	13	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	67,7	54,12	68,33	74,93	91,86	356,94	71,388	36,694
3	14	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	56,32	90,37	85,67	66,18	57,9	356,44	71,288	36,573
12	15	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	93,16	59,41	70,55	49,3	71,26	343,68	68,736	36,17
11	16	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	67,27	62,51	38,95	107,1	68,09	343,92	68,784	35,409

Bölüm 5: DENEY BULGULARI

Tasarım deneyleri sonucunda elde edilen veriler, ortalamaya göre ve S/N oranına göre Varyans analizine tabi tutulmuş ve faktörlerin eğilme mukavemetlerine olan etkileri ölçülmüştür. Ortalamalar üzerine yapılan Varyans analizi sonuçları Tablo 5.1'de sunulmuştur. Bu bölümde analiz için kullanılan veriler Tablo 4.7'den alınmıştır.

5.1. Ortalamaya Göre Varyans Analizi

5.1.1. Kareler Toplamı (Varyasyon)

Problemimizde 7 kontrol edilebilen faktör ve 2 etkileşim olduğuna göre Toplam kareler toplamı;

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_C + SS_{A \times C} + SS_D + SS_E + SS_F + SS_G + SS_e \quad (2.7)$$

eşitliği ile bulunur.

Diğer yandan ortogonal diziyi oluşturan kolonların, kareler toplamının toplamı da SS_T 'yi (Toplam kareler toplamı) verir.

$$SS_T = \sum SS_{KOLON} \quad (\text{ROSS, 1988,s.92}) \quad (2.13)$$

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (2.8)$$

$$T = 74.044 + 91.034 + 62.608 + 59.744 + 75.96 + 83.73 + 72.956 + 82.35 + 77.878 \\ + 75.84 + 70.604 + 95.84 + 71.388 + 71.288 + 68.735 + 68.78$$

$$T = 1202.78$$

$$N = 16$$

$$SS_T = [74.044^2 + 91.034^2 + 62.608^2 + 59.744^2 + 75.96^2 + 83.73^2 + 72.956^2 + 82.35^2 \\ + 77.878^2 + 75.84^2 + 70.604^2 + 95.84^2 + 71.388^2 + 71.288^2 + 68.735^2 + 68.78^2] \\ - (1202.78^2 / 16)$$

$$SS_T = 1346.5$$

Faktörlerimizin hepsi 2 seviyeli olduğundan dolayı faktör ve etkileşimlerin kareler toplamı ;

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N} \text{ eşitliği ile bulunabilir.} \quad (2.10)$$

y_i = i. Gözlem

N = Gözlemlerin toplam sayısı

T = Tüm gözlemlerin toplamı

A_1 = A faktörü 1.seviyesinde olduğunda gözlenen sonuçların toplamı

A_2 = A faktörü 2. seviyesinde olduğunda gözlenen sonuçların toplamı

$$A_1 = 91.034 + 62.608 + 83.73 + 72.96 + 77.88 + 95.84 + 71.388 + 71.288$$

$$A_1 = 626.728$$

$$A_2 = 74.044 + 59.744 + 75.96 + 82.35 + 75.84 + 70.61 + 68.736 + 68.78$$

$$A_2 = 576.064$$

$$SS_A = \frac{(626.728 - 576.064)^2}{16}$$

$SS_A = 160.427$ bulunur. Diğer faktör ve etkileşimlerin kareler toplamları da aynı şekilde hesaplanmış ve aşağıdaki değerler bulunmuştur.

$$SS_B = 285.171$$

$$SS_{AXB} = 0.025$$

$$SS_C = 0.267$$

$$SS_{AXC} = 12.595$$

$$SS_D = 118.723$$

$$SS_E = 15.634$$

$$SS_F = 307.581$$

$$SS_G = 237.776$$

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AXB} + SS_C + SS_{AXC} + SS_D + SS_E + SS_F + SS_G + SS_e$$

$$SS_T = 160.427 + 285.171 + 0.025 + 0.267 + 12.595 + 118.723 + 15.634 + 307.581 + 237.776 + SS_e$$

$$1346.5 = 1138.199 + SS_e$$

$$SS_e = 208.301$$

SS_e = Ortogonal dizide boş bırakılmış olan kolonların kareler toplamıdır ve hata kareler toplamını göstermektedir.

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan kolonlar hata tahmininde kullanılmaktadır,(Ross, 1988,s.91).

Bu dizideki boş kolonlar (bkz. Tablo 4.7) 6, 9, 10, 12, 14 ve 15 nolu kolonlardır, bunların kareler toplamları da faktör ve etkileşimler gibi bulunmuştur.

$$SS_6 = \frac{(6_1 - 6_2)^2}{16} = \frac{(607.6 - 595.192)^2}{16} = 9.62$$

$$SS_9 = 14.085$$

$$SS_{10} = 120.78$$

$$SS_{12} = 5.94$$

$$SS_{14} = 21.65$$

$$SS_{15} = 36.18$$

$$SS_e = SS_6 + SS_9 + SS_{10} + SS_{12} + SS_{14} + SS_{15}$$

$$SS_e = 208.3$$

$$SS_T = \sum SS_{KOLON} \quad (\text{Ross, 1988,s.92}) \quad (2.13)$$

$$SS_T = SS_{A(1)} + SS_{B(2)} + SS_{A \times B(3)} + SS_{C(4)} + SS_{A \times C(5)} + SS_{BOŞ(6)} + SS_{D(7)} + SS_{E(8)} + SS_{BOŞ(9)} + SS_{BOŞ(10)} + SS_{F(11)} + SS_{BOŞ(12)} + SS_{G(13)} + SS_{BOŞ(14)} + SS_{BOŞ(15)}$$

$$1346.5 = 160.427 + 285.171 + 0.025 + 0.267 + 12.595 + 9.62 + 118.723 + 15.634 + 14.085 + 120.78 + 307.581 + 5.94 + 237.776 + 21.65 + 36.18$$

$$1346.5 = 1346.5$$

Böylece deneyin ortogonalitesinin bozulmamış olduğu görülmüştür,(Ross, 1988,s.104). Bu sonuç 2.13 nolu eşitlik ile uyum içindedir. Ortogonalite faktörlerin

birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesi, bir faktörün etkisinin, bir başka faktörün kestirimini etkilememesi anlamında kullanılmaktadır.

5.1.2. Serbestlik Derecesi (ν)

Tablo 5.1'de görülen varyans analizi özet tablosundaki serbestlik dereceleri Tablo 4.2'deki gibi bulunmuştur. Toplam serbestlik derecesi dizinin deneme sayısının bir eksiğine eşit olduğuna göre ;

$\nu_T = 16-1=15$ olur (Problemde kullanılan ortogonal dizi L_{16} olduğuna göre deneme sayısı 16 dır).

$$\nu_T = \nu_A + \nu_B + \nu_{A*B} + \nu_C + \nu_{AxC} + \nu_D + \nu_E + \nu_F + \nu_G + \nu_e \quad (2.14)$$

$$15 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + \nu_e$$

$\nu_e = 6$ (Hata serbestlik derecesi, ortogonal dizide atama yapılmamış olan kolonların serbestlik derecelerinin toplamıdır.)

5.1.3. Varyans

Bir faktörün varyansı, faktöre ait kareler toplamının, o faktöre ait serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir. Tablo 5.1'deki varyans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_A = \frac{SS_A}{\nu_A} \quad (2.19)$$

$SS_A = 160.427$ (A faktörüne ait kareler toplamı)

$$V_A = \frac{160.427}{1} = 160.427, \quad V_B = \frac{285.171}{1} = 285.171, \quad V_{AxB} = \frac{0.025}{1} = 0.025,$$

$$V_D = \frac{118.723}{1} = 118.723, \quad V_C = \frac{0.267}{1} = 0.267, \quad V_{AxC} = \frac{12.596}{1} = 12.596,$$

$$V_E = \frac{15.634}{1} = 15.634, \quad V_F = \frac{307.581}{1} = 307.581, \quad V_G = \frac{237.776}{1} = 237.776,$$

$$V_e = \frac{208.301}{6} = 34.717$$

5.1.4. F-Testi

Datalardan elde edilen F değeri, faktör yada etkileşimin varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad (\text{A faktörüne ait F değeridir}) \quad (2.22)$$

$$F_A = \frac{160.427}{34.717} = 4.621,$$

$$F_B = \frac{V_B}{V_e} = \frac{285.171}{34.717} = 8.214,$$

$$F_{A \times B} = \frac{V_{A \times B}}{V_e} = \frac{0.025}{34.717} = 0.00072,$$

$$F_C = \frac{V_C}{V_e} = \frac{0.267}{34.717} = 0.0077,$$

$$F_{A \times C} = \frac{V_{A \times C}}{V_e} = \frac{12.596}{34.717} = 0.363,$$

$$F_D = \frac{V_D}{V_e} = \frac{118.723}{34.717} = 3.41,$$

$$F_E = \frac{V_E}{V_e} = \frac{15.634}{34.717} = 0.45,$$

$$F_F = \frac{V_F}{V_e} = \frac{307.581}{34.717} = 8.859,$$

$$F_G = \frac{V_G}{V_e} = \frac{237.776}{34.717} = 6.849$$

Tablo 5. 1 Ortalamalar Üzerine Yapılan Varyans Analizi Özet Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı (SS)	Serbestlik Derecesi (v)	Varyans (V)	F değeri
A	160.427	1	160.427	*4.621
B	285.171	1	285.171	**8.214
AXB	0.025	1	0.025	0.0007
C	0.267	1	0.267	0.0077
AXC	12.596	1	12.596	0.363
D	118.723	1	118.723	*3.7
E	15.634	1	15.634	0.45
F	307.581	1	307.581	**8.859
G	237.776	1	237.776	**6.84
HATA (e)	208.301	6	34.717	
TOPLAM	1346.5	15		

** % 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.05);1;6} = 5.99$
* % 90 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.10);1;6} = 3.78$

Taguchi, hangi faktörlerin performansı etkilediğini tanımlamaya çalışmaktadır ve F oranını referans değer olarak kullanır, (Ross, 1988, s. 137). F değeri, istatistiksel olarak faktöriyel etkinin büyüklüğünü değil varlığını göstermektedir, (Ross, 1988, s. 105).

Tablo 5.1'e göre AxB, AxC, C ve E faktörleri için % 90 güven düzeyinde F testi yapılmış ve bu faktör ve etkileşimlerin analizden çıkartılmasına karar verilmiştir.

F-tablolarından F oranı bulunurken; seçilen güven düzeyi, payın serbestlik derecesi ve paydanın serbestlik derecesi gerekmektedir.

$$F_{\alpha; v_1; v_2}$$

$$\alpha = \text{Risk}$$

$$\text{Güven} = 1 - \alpha$$

$$v_1 = \text{payın serbestlik derecesi}$$

$$v_2 = \text{paydanın serbestlik derecesi}$$

$$F_{.90;1;6} = 3.78$$

Deneyden elde edilen F değerleri, % 90 güven düzeyinde F tablosundan bulunan F oranı ile karşılaştırılmış ve bu değerden küçük F değerine sahip faktör veya etkileşimler hata faktörüne ilave edilmiştir. A, B, D, F ve G faktörlerine göre tekrar varyans analizi yapılmış ve Tablo 5.2'de sunulmuştur.

F testi sonucunda ortalamayı etkilemedikleri düşünülen AxB, C, AxC ve E faktörüne ait kareler toplamı hata kareler toplamına eklenmiştir.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_D + SS_F + SS_G + SS_e$$

$$SS_T = 160.427 + 285.171 + 118.723 + 307.581 + 237.776 + SS_e$$

$$1346.5 = 1109.718 + SS_e$$

$$SS_e = 236.782$$

AxB, C, AxC, E faktör ve etkileşimlerine ait serbestlik dereceleri de hata serbestlik derecesine ilave edilmiştir.

$$v_T = v_A + v_B + v_D + v_F + v_G + v_e$$

$$15 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + v_e$$

$$v_e = 10 \text{ (Hata serbestlik derecesi)}$$

A, B, D, F ve G faktörlerinin kareler toplamları ve serbestlik dereceleri değişmediğinden dolayı varyansları da değişmemiştir. Fakat hataya göre kareler toplamı ve serbestlik derecesi değişmiş ve hata varyansı ;

$$V_e = \frac{SS_e}{v_e} = \frac{236.782}{10} = 23.678 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Hata varyansının değişimine bağlı olarak A, B, D, F ve G faktörlerinin F değerleri değişmiştir.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} = \frac{160.427}{23.678} = 6.77 \text{ (A faktörüne ait F değeridir)}$$

$$F_B = \frac{V_B}{V_e} = \frac{285.171}{23.678} = 12.044,$$

$$F_D = \frac{V_D}{V_e} = \frac{118.723}{23.678} = 5.014,$$

$$F_F = \frac{V_F}{V_e} = \frac{307.581}{23.678} = 12.99,$$

$$F_G = \frac{V_G}{V_e} = \frac{237.776}{23.678} = 10.042.$$

Faktörlerin varyasyonu azaltmadaki gücünü ifade eden katkı yüzdesi (P) bulunmadan önce, karelerin net toplamları (SS') hesaplanmıştır.

$$SS'_A = SS_A - (V_e)(v_A) \quad (2.25)$$

$$SS'_A = 160.427 - (23.678)(1)$$

$$SS'_A = 136.749$$

$$SS'_B = SS_B - (V_e)(v_B)$$

$$SS'_B = 285.171 - (23.678)(1)$$

$$SS'_B = 261.493$$

$$SS'_D = SS_D - (V_e)(v_D)$$

$$SS'_D = 118.723 - (23.678)(1)$$

$$SS'_D = 95.045$$

$$SS'_F = SS_F - (V_e)(v_F)$$

$$SS'_F = 307.581 - (23.678)(1)$$

$$SS'_F = 283.903$$

$$SS'_G = SS_G - (V_e)(v_G)$$

$$SS'_G = 237.776 - (23.678)(1)$$

$$SS'_G = 214.098$$

A, B, D, F ve G faktörlerinin katkı yüzdeleri;

$$P_A = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100 \quad (2.26)$$

$$P_A = \frac{136.749}{1346.5} \times 100 = 10.156$$

$$P_B = \frac{SS_B}{SS_T} \times 100 = \frac{261.493}{1346.5} = 19.421$$

$$P_D = \frac{SS_D}{SS_T} \times 100 = \frac{95.045}{1346.46} = 7.059$$

$$P_F = \frac{SS_F}{SS_T} \times 100 = \frac{283.903}{1346.46} = 21.085$$

$$P_G = \frac{SS_G}{SS_T} \times 100 = \frac{214.098}{1346.46} = 15.9 \text{ olarak bulunur.}$$

Ortalamalar üzerine yapılan varyans analizi tablosu (bkz. Tablo 5.2) incelenirse; F (Dolgu malzemesi oranı), B (Üst kalıp sıcaklığı), G (Hamurun dinlenme süresi), A (Kalıplama süresi) ve D (Basınç) faktörlerinin ortalamaya etkin faktörler olduğu görülmektedir. Bu faktörlerin optimum seviyelerinin belirlenmesiyle ortalamanın hedef değere çekilebileceği gözükmektedir.

Tablo 5. 2. Ortalamalar Üzerine Yapılan Birleştirilmiş Varyans Analizi Özet Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı (SS)	Serbestlik Derecesi (v)	Varyans (V)	F değeri	Katkı Yüzdesi (P)
A	160.427	1	160.427	*6.775	10.156
B	285.171	1	285.171	**12.043	19.421
D	118.723	1	118.723	*5.014	7.059
F	307.581	1	307.581	**12.990	21.085
G	137.776	1	237.776	**10.042	15.901
Hata (e)	236.782	10	23.678		
TOPLAM	1346.5	15			73.622
FAKTÖRLERİN KATKI YÜZDESİ					% 73.622
HATA KATKI YÜZDESİ					% 26.378
** % 99 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.01);1;10} = 10$					
* % 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.95);1;10} = 4.96$					

5.2. Sütun Etkisi Metoduna Göre Etkin Faktörlerin Belirlenmesi

Sütun etkisi metodu kullanılarak sonuç üzerinde önemli etkisi olan sütunlar ortaya konabilir,(Ross,1988,s.128). Bu metoda göre, her sütunda 1. seviye ile ilgili olan sonuçların toplamı, 2. seviye ile ilgili sonuçların toplamından çıkarılır. Farkların büyüklükleri, negatif veya pozitif olmalarına bakılmaksızın karşılaştırılarak büyük farka sahip olanlar etkili olarak seçilirler. Sütun etkisi metodu kullanılarak ortalama üzerinde etkili olacağı düşünülen faktörler, Tablo 5.3’de görüldüğü gibi F, B, G, A ve D faktörleridir. Sonuçlar varyans analizinde elde edilen sonuçlar ile uyum içindedir.

5.3. Faktör Etkilerinin Grafikselleştirilmesi

Bu metot da faktör ve etkileşime ait 1. veya 2. seviyelerindeki gözlemlerinin ortalamaları (ortalama performansları) bulunur. Bunların büyüğü ve küçüğü belirlenir, tüm ortalama değerlerini kapsayan düzey bir skala çizilir. Tüm verilerin ortalamasını gösteren genel ortalamadan yatay bir çizgi çizilir. Her faktörün yüksek seviyedeki ve düşük seviyedeki ortalamaları grafikte işaretlenir ve bu noktalar birleştirilir. Bu noktalardan biri genel ortalama çizgisinin altında diğeri üzerinde olmalıdır. Bunlar genel ortalamadan eşit uzaklıktadırlar ,(Lochner and Matar, 1990, s.37-38).

Tablo 5.4’e göre her kolonun en alt satırındaki hücreler, o kolonda bulunan faktör veya etkileşimin ortalama performansını göstermektedir. Ortalama performans, bir faktör veya etkileşime ait belirli seviyedeki gözlem sonuçlarının, bu seviyedeki gözlem sayısına bölümünden elde edilir. Bunlara dayanarak faktör etkilerinin grafikselleştirilmesi Şekil 5.1’de görülmektedir.

Varyans analizinde, deneysel tasarımda bütün noktalarda (çeşitli faktörlerin çeşitli seviyelerinin kombinasyonlarında) değişkenliğin aynı olduğu farzedilmektedir fakat mühendislik tasarımlarında bu doğru olmayabilir. Lochner and Matar’a göre deneysel tasarımın kullanımının en önemli sebebi, sonuçlardaki değişkenliği minimize edecek faktör seviyeleri kombinasyonunu bulmaktır. Bu sebeple varyans analizinin yerine faktör etkilerinin grafikselleştirilmesini tavsiye etmektedirler,(Lochner and Matar,1990,s.190).

Tablo 5.3 Sütun Etkisi Metoduna Ait Tablo

Sütunlar	1		2		3		4		5		6		7		8		9				
	Denemeler	Kalıplama süresi	Üst sıcaklık	Alt sıcaklık	Etkileşim	A1	A2	B1	B2	A*B1	A*B2	C1	C2	A*C1	A*C2	Etkileşim	BOŞ	Basınc	Regine Markası	BOŞ	
Standard	Rassal	A1	A2	B1	B2	A*B1	A*B2	C1	C2	A*C1	A*C2			D1	D2	E1	E2				
10	1		370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22	370,22
1	2	455,17		455,17		455,17		455,17		455,17		455,17		455,17		455,17		455,17		455,17	455,17
2	3	313,04		313,04		313,04		313,04		313,04		313,04		313,04		313,04		313,04		313,04	313,04
9	4		298,72	298,72		298,72	298,72	298,72		298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72	298,72
13	5		379,79	379,79		379,79	379,79	379,79		379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79	379,79
6	6	418,65		418,65		418,65	418,65	418,65		418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65	418,65
5	7	364,78		364,78		364,78	364,78	364,78		364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78	364,78
14	8		411,73	411,73		411,73	411,73	411,73		411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73	411,73
7	9	389,39		389,39		389,39	389,39	389,39		389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39	389,39
15	10		379,19	379,19		379,19	379,19	379,19		379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19	379,19
16	11		353,02	353,02		353,02	353,02	353,02		353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02	353,02
8	12	479,2		479,2		479,2	479,2	479,2		479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2	479,2
4	13	356,94		356,94		356,94	356,94	356,94		356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94	356,94
3	14	356,44		356,44		356,44	356,44	356,44		356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44	356,44
12	15		343,68	343,68		343,68	343,68	343,68		343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68	343,68
11	16		343,92	343,92		343,92	343,92	343,92		343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92	343,92
SEVİYE TOPL.		3133,61	2880,27	2838,13	3175,75	3005,32	3008,6	3012,1	3001,78	2971,45	3042,43	3037,95	2975,9	3115,9	2897,96	2967,4	3046,48	3044,43	2969,45		
SÜTÜN ETKİSİ		-253,34		337,62		3,24		-10,32		70,98		-62,02		-217,96		79,08					-74,98

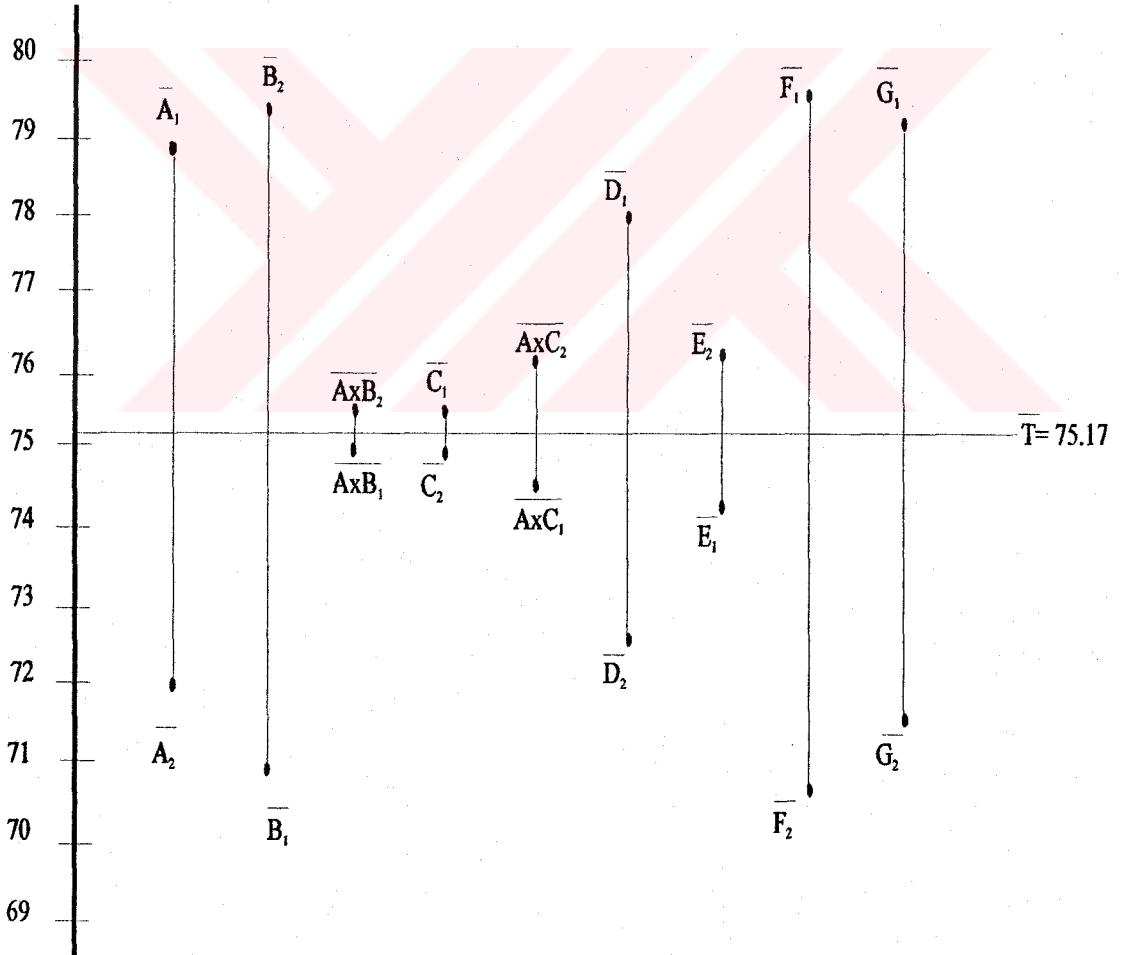
Problemimizin faktör ve etkileşimlerinin ortalama performansları Tablo 5.4'e göre aşağıdaki gibi belirlenmiş ve grafiksel olarak gösterimi Şekil 5.1'de sunulmuştur.

$$\bar{A}_1 = 78.34, \bar{A}_2 = 72.01, \bar{B}_1 = 70.95, \bar{B}_2 = 79.39, \bar{AxB}_1 = 75.134, \bar{AxB}_2 = 75.214$$

$$\bar{C}_1 = 75.30, \bar{C}_2 = 75.044, \bar{D}_1 = 77.9, \bar{D}_2 = 72.4539, \bar{AxC}_1 = 74.286, \bar{AxC}_2 = 76.06$$

$$\bar{E}_1 = 74.185, \bar{E}_2 = 76.16, \bar{F}_1 = 79.56, \bar{F}_2 = 70.79, \bar{G}_1 = 79.03, \bar{G}_2 = 71.32$$

Şekil 5.1' göre etkili faktörler F, B, G, A ve D faktörleri olarak bulunmuştur. Sonuçlar Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2 ile uyum içindedir.



Şekil 5. 1. Faktör Etkilerinin Grafiksel Olarak Gösterimi

Tablo 5.4. Eğilme Testi Sonuçları ve Ortalama Performans Değerleri

Sütunlar	1		2		3		4		5		6		7	
	Denemeler	Kalıplama sür.	Üst sıcaklık	Ekileşim	Alt sıcaklık	Ekileşim	A1 sıcaklık	Ekileşim	A1C1	A1C2	BOŞ	D1	D2	Basınc
Standart	Rassal	A1	A2	B1	B2	A*B1	A*B2	C1	C2	A*C1	A*C2		D1	D2
10			74,044	74,044			74,044	74,044			74,044	74,044		74,044
1		91,034		91,034		91,034		91,034		91,034		91,034		91,034
2		62,608		62,608		62,608		62,608		62,608		62,608		62,608
9			59,744	59,744			59,744	59,744			59,744	59,744		59,744
13			75,96		75,96	75,96		75,96			75,96	75,96		75,96
6		83,73			83,73		83,73	83,73		83,73		83,73		83,73
5		72,956			72,956		72,956	72,956		72,956		72,956		72,956
14			82,35		82,35	82,35		82,35			82,35	82,35		82,35
7		77,878			77,878		77,878	77,878		77,878		77,878		77,878
15			75,84		75,84	75,84		75,84		75,84		75,84		75,84
16			70,604		70,604	70,604		70,604		70,604		70,604		70,604
8		95,84			95,84		95,84	95,84			95,84	95,84		95,84
4		71,388			71,388		71,388	71,388		71,388		71,388		71,388
3		71,288			71,288		71,288	71,288		71,288		71,288		71,288
12			68,736		68,736		68,736	68,736		68,736		68,736		68,736
11			68,78		68,78		68,78	68,78		68,78		68,78		68,78
Seviye Toplamı		626,72	576,06	567,62	635,16	601,07	601,71	602,43	600,35	594,29	608,49	607,59	595,19	623,19
Gözlem Sayısı		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ortalama Perf.		78,34	72,007	70,953	79,395	75,134	75,214	75,303	75,044	74,286	76,062	75,949	74,399	77,898

Şekil 5.1'e göre ortalamayı hedefe yaklaştırmada etkili olduğu görülen faktörlerin optimum seviyeleri problemimizin maksimizasyon problemi olduğu dikkate alınarak A_1, B_2, D_1, F_1, G_1 olarak belirlenmiştir. Söz konusu faktörler kullanılarak yığının beklenen ortalaması;

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} = \overline{A_1} + \overline{B_2} + \overline{D_1} + \overline{F_1} + \overline{G_1} - 4\overline{T}$$

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} = 78.34 + 79.39 + 77.898 + 79.559 + 79.029 - 4 * 75.15$$

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} = 93.54 \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Bu bir nokta değeri olduğundan, sağlama deneyinden elde edilecek sonuçların yayılabilecekleri güven aralıkları oluşturulmalıdır. Ortalamanın, seçilen güven düzeyindeki güven aralığı (CI);

$$CI = \sqrt{F_{\alpha;1;v_e} V_e \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right]} \quad \text{ifadesi ile bulunur} \quad (2.28)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{\left[1 + \hat{\mu} \text{ kestiriminde kullanılan tüm faktörlerin toplam } v' \text{ si} \right]} \quad (2.29)$$

r = Doğrulama deneyi için örnek hacmi

$F_{\alpha;1;v_2}$ = Gerekli F oranı

α = Risk 1- risk = Güven

v_1 = 1(Ortalamaya ait serbestlik derecesi olup daima 1 dir.

v_2 = hata serbestlik derecesi = v_e

V_e = hata varyansı

N = Deney sayısı

$F_{.10; 1; 10} = 3.28$ (% 90 güven düzeyinde F-tablo değeri)

$V_e = 23.678$ (Tablo 5.2'den alınmıştır.)

$N = 16$

$r = 13$ (Sağlama deneyinde 13 veri elde edilmiştir.)

A, B, D, F, G faktörleri μ 'nün tahmininde kullanıldığına göre ve her birinin serbestlik derecesi 1 olduğuna göre n_{eff} aşağıdaki gibi bulunur.

$$n_{\text{eff}} = \frac{16}{1+1+1+1+1+1} = \frac{16}{6}$$

$$CI = \sqrt{3.28 * 23.678 \left[\left(\frac{6}{16} \right) + \left(\frac{1}{13} \right) \right]}$$

$$CI = 5.92$$

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} - 5.92 \leq \hat{\mu}_{\text{Doğrulama deneyi}} \leq \hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} + 5.92$$

Doğrulama deneyi sonuçlarının ortalamasının, içine düşmesi beklenen güven aralığı aşağıda gösterilmiştir.

$$87.62 \leq \hat{\mu}_{\text{Doğrulama deneyi}} \leq 99.46$$

5.4. Doğrulama Deneyi

$A_1 B_2 D_1 F_1 G_1$ koşullarında, doğrulayıcı olması bakımından yapılan denemeler sonucunda 13 veri elde edilmiştir. Söz konusu veriler 107.3, 67.74 105.5, 79.15, 94.65, 106, 74.77, 104.1, 99.61, 110.70 ,70.18, 84.16 ve 72.69 değerleridir ve bunların ortalaması 90.50 N/mm^2 dir. Bu değer belirlenen güven aralığının içinde olduğuna göre, şalter gövdelerinin eğilme mukavemetlerine etki edeceği belirlenen faktör ve seviyelerinin doğru seçildiğine inanılır. Bu durum Bölüm 2.7.3.1'de bahsedilen varsayımının sağlandığını göstermektedir, (Ross, 1988, s.124). Fakat doğrulama deneyinden sağlanan sonuçların ortalaması alt sınıra çok yakın ve değerler bireysel olarak incelendiğinde alt sınırın altında kalan 6 değer olduğu görülmektedir.

5.5. S/N Oranına Göre Yapılan Varyans Analizi

Bölüm 5.1'de ortalama üzerine yapılan varyans analizi ile ilgili hesaplar, aynı şekilde S/N oranı içinde yapılmış ve birleştirilmiş varyans analizi özet tablosu sunulmuştur.

Her bir deneme için S/N değerleri tek bir veri noktası gibi görülerek varyans analizi uygulanırken Tablo 5.5'deki verilerden yararlanılmıştır. Birleştirilmiş varyans analizi

özet tablosuna göre (bkz. Tablo 5.6) değişkenliğe etkin faktörlerin de A, B, D, F, G faktörleri olduğu görülmektedir. Tablo 5.5'e göre bunların ortalama performanslarına bakılmış ve problemimizin en-büyük-en-iyi olduğu göz önüne alınarak optimum seviyeleri belirlenmiştir. Değişkenlik üzerine etkili olan faktörlerin seviyeleri A_1, B_2, D_1, F_1, G_1 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar ortalamayı etkileyen faktörler ve seviyeleriyle aynıdır. Tablo 5.5'den bu faktörlerin ortalama performansları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\bar{A}_1 = 34.48, \quad \bar{B}_2 = 37.431, \quad \bar{D}_1 = 37.172, \quad \bar{F}_1 = 37.42, \quad \bar{G}_1 = 37.279$$

A_1, B_2, D_1, F_1, G_1 optimum faktör-seviye birleşiminin ortalama performans değerleri kullanılarak beklenen ortalama;

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} = \bar{A}_1 + \bar{B}_2 + \bar{D}_1 + \bar{F}_1 + \bar{G}_1 - 4\bar{T}$$

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} = 39.274 \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

$F_{10, 1, 10} = 3.28$ (% 90 güven düzeyinde F-tablo değeri)

$V_e = 0.5163$ (Tablo 5.6'dan alınmıştır.)

$N = 16$

$r = 13 / 5$ (Belirlenen optimum faktör-seviye birleşimini sağlayan şartlarda 13 deney yapılmıştır.)

A, B, D, F, G faktörleri μ 'nün tahmininde kullanıldığına göre ve her birinin serbestlik derecesi 1 olduğuna göre n_{eff} aşağıdaki gibi bulunur.

$$n_{\text{eff}} = \frac{16}{1+1+1+1+1+1} = \frac{16}{6}$$

$$CI = \sqrt{3.28 * 0.5163 \left[\left(\frac{6}{16} \right) + \left(\frac{5}{13} \right) \right]}$$

$$CI = 1.134$$

$$\hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} - 1.134 \leq \hat{\mu}_{\text{Doğrulama deneyi}} \leq \hat{\mu}_{A_1 B_2 D_1 F_1 G_1} + 1.134$$

Doğrulama deneyi sonuçlarının ortalamasının, içine düşmesi beklenen güven aralığı aşağıda gösterilmiştir.

$$38.14 \leq \hat{\mu}_{\text{Doğrulama deneyi}} \leq 40.41$$

Bir S/N oranı, güven aralığının uygulanabilmesi için asıl deneyde olduğu gibi aynı sayıda tekrarın dönüşümünden gelmelidir, (Ross, 1988, s. 191). Deneyler yapılırken her deneme 5 kez tekrar edilmiştir. Böylece sağlama deneyinde yapılan 13 testten elde edilen örnek hacmi (r) 13/5 dir.

Belirlenen optimum faktör-seviye birleşimi kullanılırsa ölçümlerdeki değişim oranının (S/N oranının), % 90 güvenle 39.274 ± 1.134 olacağı tahmin edilmiştir. Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen değerler; 107.3, 105.5, 79.15, 94.65, 106, 72.69, 74.77, 104.1, 99.61, 67.74, 110.70, 70.18, 84.16 değerleridir ve bunların S/N oranı 38.73 olarak bulunmuştur.

Problemimizin performans karakteristiğinin en-büyük-en-iyi olduğu göz önüne alınarak S/N oranı ;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \text{ ifadesi ile belirlenmiştir.}$$

Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen verilerin S/N oranı 38.73 olarak bulunmuştur. Bu değer belirlenen güven aralığında olduğundan doğru faktör ve seviyelerinin seçildiği sonucuna varılabilir. Fakat ortalama değer için belirlenen güven aralığında olduğu gibi burada da doğrulama deneyinden elde edilen sonuçların S/N oranı güven aralığının alt sınırına çok yakın hatta limit değerdedir.

Tablo 5.5. S/N Oramına Göre Ortalama Performans Değerleri Tablosu

Sütunlar	1		2		3		4		5		6		7		8	
Denemeler	Kalıplama süresi		Üst sıcaklık		Etkileşim		Alt sıcaklık		Etkileşim		BOŞ		Basiñ		Reçine Markası	
	A1	A2	B1	B2	A*B1	A*B2	C1	C2	A*C1	A*C2			D1	D2	E1	E2
Std. Rassa1																
10		37,05	37,05			37,05	37,05			37,05		37,05				37,05
1	38,75		38,75		38,75		38,75		38,75		38,75		38,75		38,75	
2	35,58		35,58		35,58		35,58		35,58		35,58		35,58			35,58
9		34,37	34,37			34,37	34,37			34,37		34,37		34,37	34,37	
13		36,64		36,64	36,64		36,64			36,64		36,64	36,64		36,64	
6	38,17		38,17		38,17		38,17		38,17		38,17		38,17		38,17	
5	36,76		36,76		36,76		36,76		36,76		36,76		36,76		36,76	
14		37,55	37,55		37,55		37,55			37,55		37,55	37,55			37,55
7	37,77		37,77		37,77		37,77		37,77		37,77		37,77		37,77	
15		36,5		36,5	36,5		36,5		36,5		36,5		36,5	36,5		
16		36,54		36,54	36,54		36,54		36,54		36,54		36,54			36,54
8	39,51		39,51		39,51		39,51		39,51		39,51		39,51			39,51
4	36,69		36,69		36,69		36,69		36,69		36,69		36,69			36,69
3	36,57		36,57		36,57		36,57		36,57		36,57		36,57			36,57
12		36,17	36,17		36,17		36,17		36,17		36,17		36,17			36,17
11		35,41	35,41		35,41		35,41		35,41		35,41		35,41			35,41
Seviye Top.	299,8	290,2	290,6	299,4	294,8	295,2	294,9	295,2	293,9	296,2	296,1	294	297,4	292,7	292,8	297,3
Ort. Performans	37,48	36,28	36,32	37,43	36,85	36,9	36,86	36,9	36,73	37,02	37,01	36,75	37,17	36,58	36,6	37,16

Tablo 5.5. (Devam) S/N Oranına Göre Ortalama Performans Değerleri Tablosu

Sütunlar	9	10	11	12	13	14	15	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	S/N		
Denemeler	BOŞ	BOŞ	Dolgu Malz. oranı	BOŞ	Hamur bek. sür.	BOŞ	BOŞ	BOŞ	BOŞ	BOŞ	BOŞ	BOŞ	S/N		
Std. Ras.			F1 F2		G1 G2										
10	1	37,05		37,05	37,05		37,05	37,05	60,18	87,63	60,16	80,16	37,05		
1	2	38,75		38,75	38,75		38,75	38,75	71,33	90,14	120,9	76,28	38,75		
2	3	35,58		35,58	35,58		35,58	35,58	70,57	78,68	57,1	57,36	35,58		
9	4	34,37		34,37	34,37		34,37	34,37	94,03	62,68	46,45	57,63	34,37		
13	5	36,64		36,64	36,64		36,64	36,64	105,8	94,27	60,86	49,83	36,64		
6	6	38,17		38,17	38,17		38,17	38,17	86,19	89,75	66,33	74,88	38,17		
5	7	36,76		36,76	36,76		36,76	36,76	67,54	50,86	80	87,92	36,76		
14	8	37,55		37,55	37,55		37,55	37,55	100,9	69,25	111,6	57,86	37,55		
7	9	37,77		37,77	37,77		37,77	37,77	72,5	77,27	86,23	81,42	37,77		
15	10	36,5		36,5	36,5		36,5	36,5	46,95	62,25	112,3	85,33	36,5		
16	11	36,54		36,54	36,54		36,54	36,54	61,33	64,98	96,15	56,04	36,54		
8	12	39,51		39,51	39,51		39,51	39,51	97,29	81,48	92,13	108,3	39,51		
4	13	36,69		36,69	36,69		36,69	36,69	67,7	68,33	74,93	91,86	36,69		
3	14	36,57		36,57	36,57		36,57	36,57	56,32	85,67	66,18	57,9	36,57		
12	15	36,17		36,17	36,17		36,17	36,17	93,16	70,55	49,3	71,26	36,17		
11	16	35,41		35,41	35,41		35,41	35,41	67,27	38,95	107,1	68,09	35,41		
Seviye Toplamı		297,2	292,9	296,9	293,2	299,4	290,7	295,4	294,6	298,2	291,8	296	294,1	297	293,0
Ort. Perfor		37,15	36,61	37,11	36,64	37,42	36,33	36,93	36,83	37,28	36,48	37	36,76	37,13	36,63

Tablo5.6. S/N Oranına Göre Yapılan Varyans Analizi Özet Tablosu

Değişkenlik Kaynağı	Kareler Toplamı (SS)	Serbestlik Derecesi (v)	Varyans (V)	F değeri	Katkı Yüzdesi (P)
A	5.734	1	5.734	***11.107	21.318
B	4.900	1	4.900	**9.492	17.911
D	1.390	1	1.390	*2.692	3.568
F	4.715	1	4.715	**9.133	17.155
G	2.574	1	2.574	**4.98	8.409
Hata (e)	5.1625	10	0.5163		
TOPLAM	24.475	15			68.360
FAKTÖRLERİN KATKI YÜZDESİ					% 68.360
HATA KATKI YÜZDESİ					% 31.640
*** % 99 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.01);1;10} = 10$					
** % 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.05);1;10} = 4.96$					
* % 90 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.10);1;10} = 3.28^*$					

BÖLÜM 6:DENEY SONUÇLARINDAN ELDE EDİLEN BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Şalter gövdelerinin kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri darbelere karşı eğilme mukavemetlerinin artırılması ve yüksek mukavemete sahip şalter gövdelerinin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenmesi, ürünün geliştirilmesi amacıyla Taguchi deneysel tasarım metodu uygulanmıştır.

Denemeler sonucunda elde edilen datalar ortalamaya ve S/N oranına göre varyans analizine tabi tutulup, ortalamaya ve değişkenliğe etki eden faktörler ve optimum seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır(bkz. Tablo 6.1).

Tablodan da A, B, D, F ve G faktörlerinin, aynı seviyelerinin, daha yüksek bir ortalama ve azalmış varyasyon sağlayacağı görülmektedir.

Bazı durumlarda, ortalamayı geliştiren ve varyasyonu azaltan seviyeler çatışabilir, o zaman bir uzlaşma sağlanması gerekebilir. Çok yönlü tepkiler dikkate alındığında da uzlaşma sağlanması zorunlu olabilir ve faktörün aynı seviyesi bir tepkiyi geliştirirken diğerini bozabilir. Bölüm 3'de Burnak ve Çelik tarafından yapılan çalışmada birbirleriyle çelişen amaçlara göre karar vermek durumunda kalınmış ve bir uzlaşma sağlanmıştır.

Deney sonucunda belirlenen optimal faktör-seviye birleşimi şartları, seçilen L_{16} ortogonal dizisinde 8 numaralı deneme tarafından kullanılmaktadır. Ortalama ve değişkenlik üzerinde etkili olan optimal faktör-seviye birleşimi $A_1 B_2 D_1 F_1 G_1$ olarak belirlenmiştir. Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 birlikte incelenecek olursa, standart deneme sırasına göre 8 numaralı denemeden elde edilen sonuçlar, ortalama ve S/N oranı için en iyi sonucu vermektedir. 8 numaralı deneme şartları $A_1, B_2, Ax B_2, Ax C_2, D_1, E_2, F_1, G_1$ faktör- seviye birleşimini önermektedir. İkinci optimum sonucu veren deneme 91.034 N / mm^2 ortalama değer ile, standart sırada 1 numaralı olan denemedir. Bu

denemenin koşulları da $A_1, B_2, A \times B_1, A \times C_1, D_1, E_1, F_1, G_1$ dir. 8 ve 1 numaralı deneme koşulları karşılaştırıldığında A_1, D_1, F_1, G_1 faktörlerinin aynı seviyelerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu sonuç varyans analizi sonunda bulunan optimum faktör seviye birleşimi ile aynıdır. Sadece B faktörü için farklı seviyeler ortaya çıkmıştır. Fakat üçüncü optimum sonucu (6 nolu deneme) ve dördüncü optimum sonucu (14 nolu deneme) veren deneme koşullarına bakılırsa, iki denemede de B faktörünün 2. seviyesi kullanılmıştır. Birinci, üçüncü ve dördüncü optimum sonuçları veren 8, 6, 14 numaralı denemeler B_2 'yi kullanmıştır. Böylece gözlem metodu kullanılarak ta, 16 deneme koşulu içinde en iyi sonucu veren 8 numaralı deneme şartlarının optimal faktör-seviye birleşimini verdiği görülmektedir.

Fakat hangi faktörlerin ve seviyelerinin, ortalama ve değişkenlik üzerinde ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmıştır.

Deneyden elde edilen sonuçlar varyans analizine tabi tutulmuş, yığının beklenen ortalaması ve doğrulama deneyi sonucunda elde edilen verilerin ortalamasının, içine düşmesi beklenen güven aralıkları Bölüm 5'de bulunmuştur. Doğrulama deneyi sonucunda elde edilen verilerin ortalama değerleri ve S/ N oranları, bu kriterler için %90 güven düzeyinde belirlenen güven aralıklarının alt sınırlarına çok yakın bir değerde bulunmuştur.

Tablo 6 1 Optimal Faktör-Seviye Birleşimi Tablosu

Faktörler	Ortalamaya Etkileri	Değişkenliğe Etkileri
A	(1) **	(1)***
B	(2)***	(2) **
D	(1) **	(1) *
F	(1)***	(1) **
G	(1)***	(1) **

*** % 99 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.01);1;10} = 10$

** % 95 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.05);1;10} = 4.96$

* % 90 Güven düzeyinde etkili olan faktörler $F_{(0.10);1;10} = 3.28$

Bölüm 2.7.3.1’de bahsedildiği gibi limitlerin dışında çıkan ortalamalar, yanlış faktör ve seviyelerinin seçildiğini, deneye katılmayan fakat gerçekte performans karakteristiğini etkileyen faktörler bulunduğunu yada çok büyük ölçme hataları yapıldığını göstermektedir. Bir diğer ihtimal de deneyin koşullarının tam anlamıyla yerine getirilmediğidir.

Bizim problemimizde ortalama ve S / N değerleri güven aralıkları içinde fakat alt sınıra çok yakındır. Sonuçlar kabul edilebilir olmakla birlikte, amacımızın eğilme mukavemetini darbelerle karşı arttırmak olduğunu ve varyans analizi sonuçlarında hata varyansının (bkz. Tablo 5.2 , Tablo 5.6) yüksek çıktığını göz önüne alarak, Bölüm 4.4’de bahsedilen kontrol edilemeyen (hata) faktörlerin etkilerinin böyle bir sonuca neden olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca deneye yeterli etkileşim dahil edilmemesinin de hata varyansının büyük çıkmasında payı olabileceği düşünülmektedir. Hata varyansı bilinmeyen veya kontrol edilmeyen faktörlerin etkilerini göstermektedir.

6.1. Etkileşimlerle İlgili Bulgular ve Tartışmalar

Deneyler yönlendirilmeden önce A faktörü (kalıplama süresi) ile B faktörü (üst kalıp sıcaklığı) ve A faktörü ile C faktörü (alt kalıp sıcaklığı) arasında etkileşim olabileceği düşünülerek, bu etkileşimler faktör gibi kabul edilmiş ve seçilen L_{16} ortogonal dizisinin 3. ve 5. kolonlarına atanmıştır.

Taguchi deneysel tasarım metodunun dezavantajlarından birisi, deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle ilgili olarak bilgi verememesidir. Literatürde, Aydın’ın çalışmasına göre de başlangıçta etkileşim olmayacağı düşünülüp deneye dahil edilmemiştir fakat deney sonuçlarından yararlanılarak bulunan etkileşim grafiklerinde seçilen kontrol faktörlerinden ikisi arasında etkileşim olduğu görülmüştür.

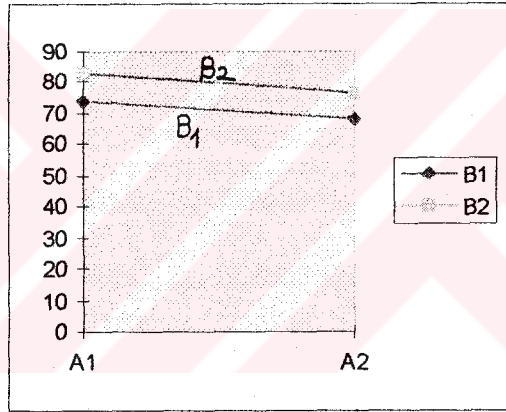
Bizim problemimize göre, deneyler yönlendirilip elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuş ve başlangıçta öngörülmüş olan etkileşimlerin etkilerinin önemsiz olduğuna karar verilmiştir(bkz.Tablo 5.1). Aynı zamanda doğrulama deneyi sonunda elde edilen verilerin ortalaması, % 90 güven düzeyinde belirlenen güven aralığında olduğundan Çelik ve Burnak’ın çalışmasında yapılan “önemli birleşik etkiler olmadığı” varsayımının doğruluğu kabul edilmiş olmakla birlikte deney sonucunda elde edilen

verilerin etkileşim grafikleri oluşturulduğunda ilginç sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Deney sonuçlarından elde edilen verilerin ortalamalarına (bkz. Tablo 5.4) göre A ve B faktörlerinin seviyelerinin kombinasyonlarına bakılarak Tablo 6.2'deki değerler bulunmuş ve A ve B faktörünün etkileşim grafiği Şekil 6.1'de sunulmuştur.

Tablo 6. 2. A ve B Faktörlerine ait Değerler

A	B	Gözlem Değerleri				Ortalama		A1	A2
1	1	91,034	62,61	71,39	71,29	74,0795			
1	2	83,73	72,96	77,88	95,84	82,601	B1	74,079	67,826
2	1	74,044	59,74	68,74	68,78	67,826	B2	82,601	76,188
2	2	75,96	82,35	75,84	70,6	76,1885			

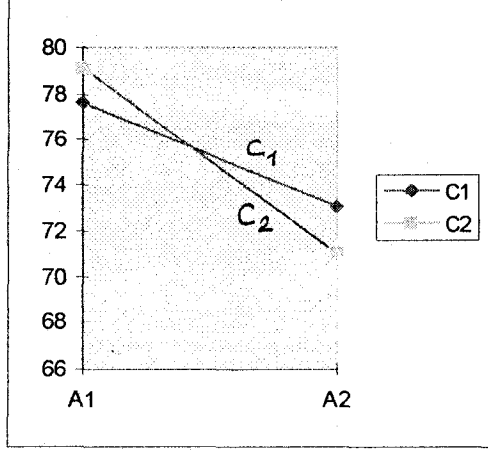


Şekil 6.1. A ve B Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği

A ve B faktörlerinin etkileşim grafiklerine bakılırsa; birbirine paralel çizgiler aralarında etkileşim olmadığını göstermektedir. Varyans analizi sonucuna göre de A ve B faktörleri arasındaki etkileşimin etkisinin ihmal edilebilir olduğu görülmüştür.

Diğer yandan A ve C faktörleri arasındaki etkileşimin grafiği de Şekil 6.2'de sunulmuştur. Aşağıda verilen datalar kullanılarak oluşturulan etkileşim grafiğine göre A ve C faktörleri arasında güçlü bir etkileşim görülmektedir.

	A1	A2
C1	77,58	73,025
C2	79,1	70,99



Şekil 6. 2. Ave C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği

Oysa Varyans analizi sonucunda A ve C faktörleri arasındaki etkileşimin performans karakteristiği üzerindeki etkisi ölçülmüş ve önemsiz olduğuna karar verilip hata faktörüne ilave edilmiştir.

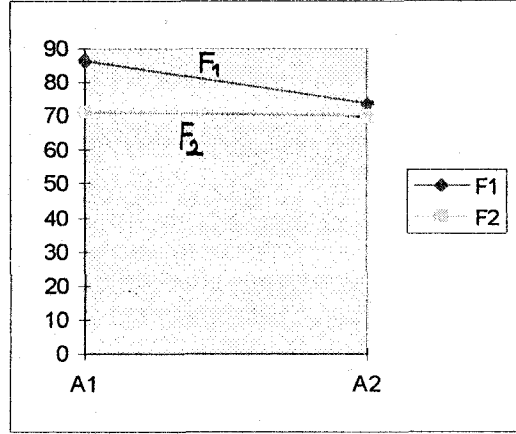
AxB ve AxC etkileşimleri başlangıçta deneye dahil edildiğinden dolayı bunların etkileri varyans analizi ile ölçülebilmştir. AxF, BxC, BxE, Dx E, GxC, DxG, FxC, ExC etkileşimleri başlangıçta deneye dahil edilmediğinden bunların etkilerinin miktarı hakkında bir şey söylemek güçtür. Bu etkileşimler deneyler yönlendirilmeden önce belirlenebilseydi bile bunların tümü seçilen L_{16} ortogonal dizisine yerleştirilemezdi. Çünkü belirlenen koşullarda dizinin çözüm gücü 2 dir ve buna göre ancak ikili etkileşim gruplarından bazılarının etkileri ölçülebilir. Ancak bu etkileşimler başlangıçta belirlenip ölçülmek istenseydi, çözüm gücü daha büyük olan bir dizi seçile bilirdi (bkz. Ek-A Tablo.A.1).

Ortogonal dizilerde atama yapılmamış olan kolonlar hatayı kestirebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bizim problemimizde 6, 9, 10, 12, 14 ve 15 numaralı kolonlar atama yapılmamış kolonlardır ve bu amaçla kullanılmışlardır.

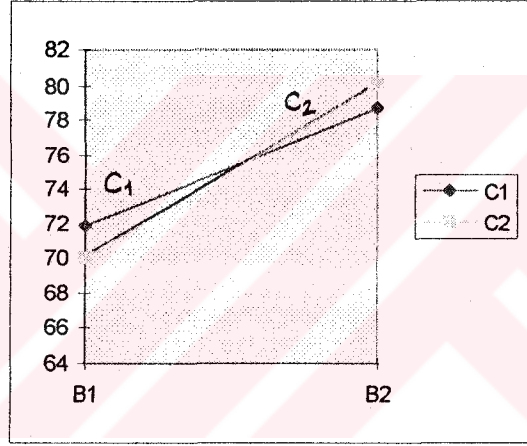
Eğer AxF, BxC, BxE, Dx E, GxC, DxG, FxC, ExC, başlangıçta öngörülüp L_{16} dizisinde ki bu boş kolonlara atanmış olsalardı, belirlenen optimal faktör seviye birleşiminde değişiklik olup olmayacağı bu çalışmanın geleceğe yönelik araştırmalar cephesini oluşturmaktadır.

Deney sonuçlarından elde edilen verilerin ortalama değerlerine göre belirlenen AxF, Ax C, BxE, Dx E, GxC, DxG, FxC, ExC etkileşimlerine ait grafikler aşağıda sunulduğu

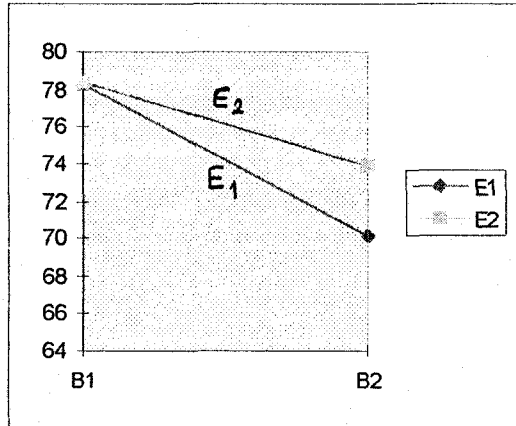
şibidir.



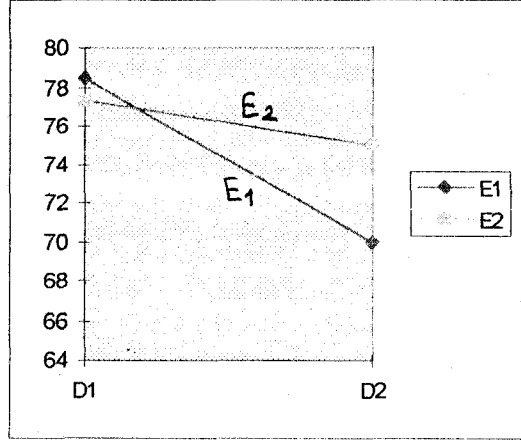
Şekil 6.3. Ave F Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



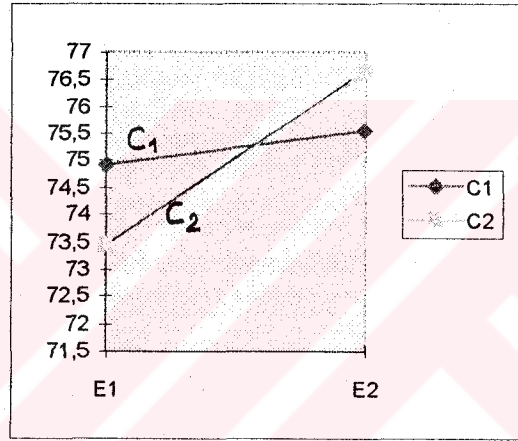
Şekil 6.4. B ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



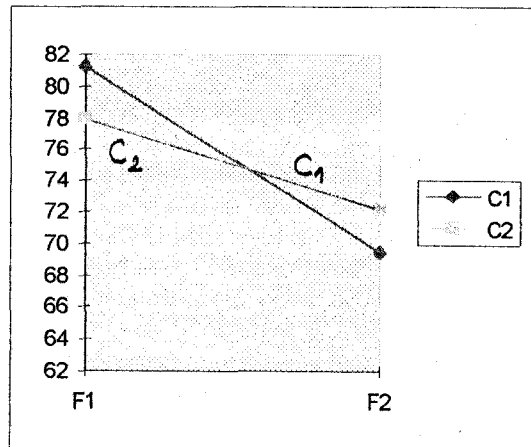
Şekil 6.5. B ve E Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



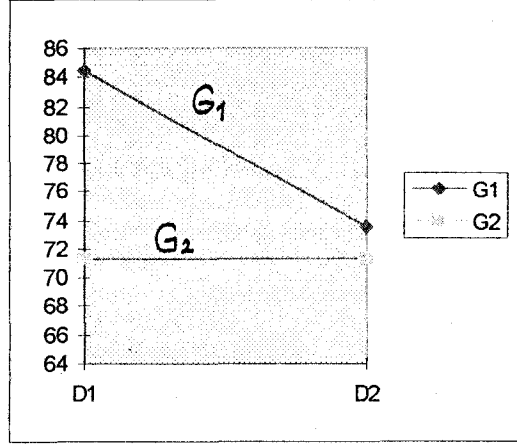
Şekil 6.6. D ve E Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



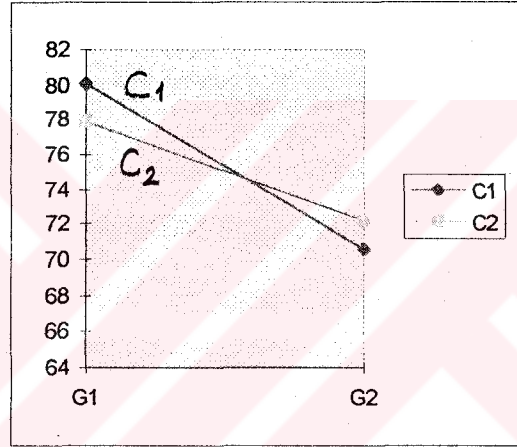
Şekil 6.7. E ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



Şekil 6.8. F ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği



Şekil 6.9. D ve G Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği

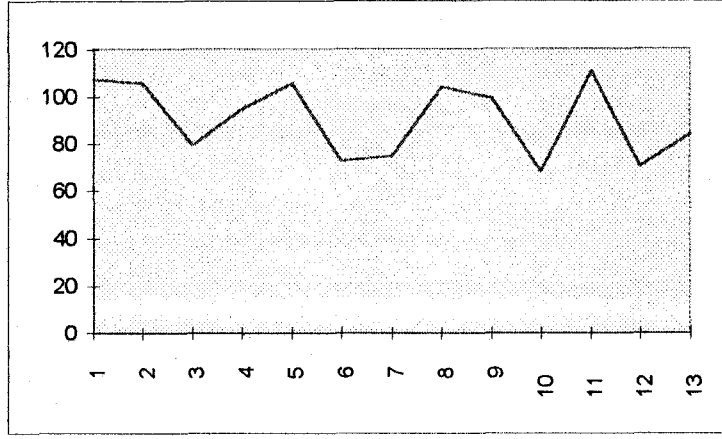


Şekil 6.10. G ve C Faktörlerine Ait Etkileşim Grafiği

6.2. Öneriler

Taguchi, ilk deneyde az seviyesi olan çok sayıda faktör kullanımını tavsiye etmektedir. Çünkü ilk deneyin amacı bazı önemsiz faktörleri elemine etmek ve mamulün problemi ile ilgili yada kalite değerini arttırmaya katkıda bulunan önemli birkaç faktörü belirlemektir.

Buna dayanarak, doğrulama deneyinden elde edilen 13 değer arasındaki değişkenliğin fazla oluşu (bkz.Şekil 6.11) ve datalardan elde edilen etkileşim grafiklerinde, başlangıçta öngörülmemiş olan etkileşimlerin bulunması yeni bir deneysel tasarımın gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 6.11 . Doğrulama Deneyi Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

Problemimizde (G faktörü) hamurun dinlenme süresi iki değişik zaman dilimi için belirlenmiştir (bu belirleme işlemi, daha öne yapılan deneylerden elde edilen bilgiler doğrultusunda yapılmıştır). Hamurun dinlenmiş yada dinlenmemiş oluşunun performans karakteristiği üzerindeki etkisi ölçülmeye çalışılırken, bir hata faktörü istenmeden de olsa deneyi etkilemiştir.

Şöyle ki; aynı oranlar ve aynı maddeler kullanılarak hazırlanan hamurun her defasında farklı özelliklere sahip olma durumu bir hata faktörüdür. Buna göre yapılan denemelerde 4 gün ara ile 2 farklı hamur hazırlanmış ve bu hamurlar aynı gün kalıplanarak eğilme testine tabi tutulmuşlardır. Oysa kalıplanan hamurlar aynı gün hazırlanıp 4 gün ara ile kalıplana bilinir böylece bir hata faktöründen koruna bilinirdi. Fakat zaman kısıtı ve deneylerin yapıldığı andaki üretim yoğunluğu nedeniyle deneylerin bir günde bitirilmesi gerektiğinden yukarıda bahsedildiği şekilde yapılamamıştır.

Eğer hata faktörlerinin etkisi ölçülmek isteniyorsa, hata faktörleri için ayrı bir dizi ve kontrol faktörleri için ayrı bir dizi oluşturularak, gözlem değerleri her iki dizinin şartları göz önünde bulundurularak elde edilmeli ve hata faktörlerinin deneyde sistematik bir şekilde değişmesi sağlanmalıdır. Bu yöntemle deney sayısında bir artış olacağı açıktır. Diğer yandan problemimizde hata faktörü olarak belirlenen, hamurun hazırlanması için kullanılan karıştırıcının hızı ile ortamın sıcaklığı ve nem durumuna bağlı olarak hamurun özelliklerinde olabilecek değişimin deney esnasında dahi olsa kontrolleri zor hatta imkansız olduğu dikkate alınmalıdır.

Bulunan optimum faktör seviye birleşiminden yola çıkarak yeni bir deney tasarlanmalı ve bu deneye, kontrol edilemeyen bir faktör olan aynı maddeler ve oranlar kullanılarak hazırlanan hamurun her defasında farklı özelliklere sahip olma durumu ilave edilmelidir. Bölüm 3'de yer alan ve gerçek bir deney olan vites yağlama sistemi ile ilgili çalışmada ve Shoemaker ve Kackar(1989) tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi belirlenen hata faktörü iç diziye atanarak deney yönlendirilebilir.

Yapılması önerilen deneye, ilk deneyde belirlenen etkili faktörler ve bu faktörlerin daha fazla sayıdaki seviyeleri dahil edilmelidir. Çünkü faktörler başlangıçta belirlenen seviyelerinden farklı seviyelerde daha optimum sonuçları vermiş olsalar bile, bu seviyeler önerilememektedir. Bu da Taguchi metodunun dezavantajlarından biridir.

6.3. Sonuç

Artan uluslararası rekabet sonucu müşteriye daha çok çeşidi daha kaliteli ve daha ucuza mal ederek sunma zorlaması, gerek gelişen teknolojik yenilenme ve gerekse müşterilerin artan bilinci kalite geliştirme çalışmalarını gündeme getirmiştir. Kalitenin sadece üretim hattında değil mamul ve proses tasarımı esnasında da etkin bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Taguchi deneysel tasarım metodu; ürün kalitesini, üretilebilirliğini ve güvenilirliğini düşük maliyetle ve minimum deney sayısı ile, tasarım aşamasında sağlayan önemli bir metod olmakla birlikte bir takım dezavantajları da beraberinde getirmektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi bunlar; metodun deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle ilgili olarak bilgi verememesi ve seçilen seviyelerden farklı bir seviyede daha optimum bir sonuca varılacak dahi olsa bu seviyeleri önerememesidir. Ayrıca parametre tasarımı aşamasında iç dizide bulunan kontrol faktörleri ile dış diziye atanan hata faktörleri arasındaki mümkün etkileşimlerin tahmin edilmek istenmesi serbestlik derecesini büyütür buda bazı önemli etkilerin tahminini engeller. Parametre tasarımında, faktör ve seviye sayısının artması ortogonal dizilerin kullanımını sınırlandırır.

Bu çalışmada kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırıldığı Taguchi deneysel tasarım metodu tanıtılmış ve Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş.'de bir uygulama

yapılmıştır.

Bu işletmede üretilen şalter gövdelerinin kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak optimum proses şartları belirlenmeye ve ürün geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, üründe ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) optimal değerleri belirlenmeye, ürün ve prosesteki varyasyon en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ürünü ve prosesini etkilediği düşünülen yedi kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, bunlar kullanılarak seçilen ortogonal diziyeye atama yapılmış ve denemeler buna göre sürdürülmüştür. Faktöriyel tasarıma göre $2^7 = 128$ deney yapmak gerekirken L_{16} ortogonal dizisi seçilmiş, her deneme 5'er kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Her ne kadar varyans analizi sonucunda hata katkı yüzdesi toplam varyasyonun büyük bir kısmına sahip olsa da, şalter gövdelerinin eğilme mukavemetlerinin dağılım aralığının $60 - 100 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlendiği göz önüne alınarak sonuçların kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Analiz sonunda optimum faktörler ve seviyeleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Kalıplama üresi	120 sn.
Üst kalıp sıcaklığı	147°C
Presleme basıncı	110 bar
Dolgu malzemesi oranı	% a
Hamurun dinlenme süresi	X gün

Yapılan analizler sonucunda belirlenen optimum faktör seviye birleşiminin, L_{16} ortogonal dizisinin önerdiği 8 numaralı deneme tarafından sağlandığı sonucu elde edilmiştir.

Sonuç olarak belirlenen optimum proses şartlarında sağlama deneyi yapılmış ve bu deneyin sonuçlarının ortalaması, daha önce test edilen faktör ve seviyelerine göre belirlenen güven aralıklarının alt sınırına yakın bir değerde bulunmuştur. Bu da yukarıda önerilen şekilde yeni bir deneyin yönlendirilmesini gerektirmektedir. Böylece proses ve ürün var olan fakat değiştirilemeyen hata faktörlerine karşı, kontrol edilebilenlerin optimum seviyeleri belirlenerek duyarsızlaştırılacaktır.

KAYNAKLAR

1. AYDIN, M.E., 1994. "Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Segman Sanayiinde Bir Uygulama", Standart, s. 102-109.
2. BARAÇLI, H., 1992. "Kalite Kontrolunda Taguchi Yaklaşımı", Y.Ü. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), İstanbul.
3. BURNAK, N., Çelik, C., 1994. "Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama", Endüstri Mühendisliği, Cilt.5, sayı.5, s.9-20
4. KACKAR, R.N., 1989-a. "Taguchi's Quality Philosophy : Analysis and Commentary", Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method. Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.3-20, Colifornia
5. KACKAR, R.N., 1989-b. "Off-line Quality Control, Parameter Design, and The Taguchi Method", Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method. Edited by Khosrow Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.55-70, Califomia.
6. KATZ, L.E., PHADKE, M.N., 1989. "Macro-Quality with Micro-Money", Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method, Edited by K.Dehnad, Wadsworth & Brooks/cole, p.23-29, California.
7. LEON, V.R., SHOEMAKER, A.C., KACKAR, R.N.,1989. "Performance Measures Independent of Adjustment: An Explanation and Extension of Taguchi's Signal-to-Noise Ratios", Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method. Edited by Khosrow Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.237-238, Califomia.
8. LOCHNER, R.H., Matar, J.E., 1990. Designing for Quality, Chapman and Hall, p. 1-240, New york.
9. MONTGOMERY, D.C., 1992. "The use of statistical Process Control and Design of Experiments in Product and Process Improvement", IIE Transactions, Vol.24, No.5, p.4.
10. ÖZBAYRAK, M., 1995. "Quality Planning and Engineering " Yüksek Lisans Ders Notları, Sakarya.
11. PHADKE, M.S., 1989. "Ouality Engineering Using Design of Experiments", Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method. Edited by Khosrow Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.31-32, California.

12. PHADKE, M.S., KACKAR, R.N., SPEENEY, D.V. and GRIECO, M.J., 1989. "Off-line Quality Control in Integrated Circuit Fabrication Using Experimental Design", Quality control, Robust Design, and The Taguchi Method. Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.99-142, California.
13. PIGNATIELLO, J.J., Jr., 1988. "An Overview of The Strategy and Tactics of Taguchi", IIE Transactions, Vol.20, No.3, p.247-251.
14. PIGNATIELLO, J.J., Jr. and RAMBERG, J.S., (1991-1992). "The Top 10 Triumphs and Tragedies of Genichi Taguchi", Quality Engineering, Vol.4, No.2, p.211-225.
15. ROBINSON, G.K., 1993. "Improving Taguchi's Packaging of Fractional Factorial Designs", Journal of Quality Technology, Vol.25, No.1, p.5, 10.
16. ROSS, P.J., 1988. Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw-Hill, p. 1-278, New York.
17. SHOEMAKER, A.C., KACKAR, R.N., "Robust Design: A Cost Effective Method For Improving Manufacturing Processes", Quality control, Robust Design, and The Taguchi Method. Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.159-175, California.
18. SINGPURWALLA, N. D., 1992. "A Bayesian Perspective on Taguchi's Approach to Quality Engineering and Tolerance Design", IIE Transactions, Vol.24, No.5, s.18-20.
19. SUDHAKAR, P. R., 1995. "An Introduction to Quality Improvement Through Taguchi Methods", Industrial Engineering, Vol.27, No.1, p.53-54
20. ŞIRVANCI, M., 1994. "Kalite için Deneysel Tasarımı", Önce Kalite, Sayı.8, s.42-46.
21. TAGUCHI, G., PHADKE, M.S., 1989. "Quality Engineering Through Design Optimization", Quality Control, Robust Design and the Taguchi Method, Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p. 78-79, California.
22. TSUI, K. L., 1992. "An overview of Taguchi Method and Newly Developed statistical Methods for Robust Design," IIE Transactions, Vol.24, No.5, p.44-45.

EKLER

EK-A

Tablo A. 1 Deney Dizilerinin Çözüm Derecesinin Belirlenmesi

DENEME SAYISI	SEVİYE SAYISI	FAKTÖR SAYISI	ÇÖZÜM DERECESESİ
4	2	1	4
4	2	2	4
4	2	3	1
8	2	1---3	4
8	2	4	2
8	2	5---7	1
9	3	1	4
9	3	2	4
9	3	3	1
9	3	4	1
16	2	1---4	4
16	2	5	3
16	2	6---8	2
16	2	9---15	1
18	3	1---8	1
27	3	1---3	4
27	3	4---13	1
32	2	1---5	4
32	2	6	3
32	2	7---16	2
32	2	17---31	1

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Adapazarı'nda doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Adapazarı'nda tamamladı. 1988 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 1992 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. Ekim 1993'te Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

