

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAGUCHI METODUNUN KAUÇUĞUN
VULKANİZASYONU PROSESİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Sema DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. A. Baki ENGİN

Eylül 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAGUCHI METODUNUN KAUÇUĞUN
VULKANİZASYONU PROSESİNE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Sema DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 28/08/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. A. Gökçen ENGİN

Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Bayram ÖPAL

Üye



Prof. Dr. Yılmaz ÖZKAN

Üye



ÖNSÖZ

Günümüz şartlarında sürekli bir ivme kazanan endüstrileşme ile rekabet şartları artmakta müşteri memnuniyeti ön plana çıkmaktadır. Artan hammadde girdileri ve üretim maliyetleri, sanayicileri farklı çözümler bulmaya yönlendirmiştir. Maliyeti arttırmadan ile kaliteyi artırma yolunda tercihler yapmaktadırlar. Son kalite kontrol değil üretim safhasında kaliteye müdahale edebilmek gerekmektedir. Toplam kalite yönetiminin ana hedeflerinden biri de üründeki kaliteyi ürünün tasarım aşamasında sağlamaktır. Kalite geliştirme ve üründeki kaliteyi tasarım aşamasında sağlamanın vazgeçilmez yollarından biri deneysel tasarımıdır. Bir diğer amaç ise gerçekleştirmek için minimum maliyetli deney planlamasının yapılmasıdır. İşte bu iki amacı gerçekleştirmenin metodlarından biri de Taguchi deneysel tasarım metodudur. Taguchi kalite geliştirme çalışmalarına kaliteden ziyade kalite kayıpları açısından olaya yaklaşır. Kalite kayıpları, üretim anından müşteriye geçene kadar üründe meydana gelen kayıplar olarak tanımlanır. Bu kayıplar bozuk ürün performansı ve azalan güvenilirliğin müşteride yaptığı etkilerden doğan kayıplar ve pazar payının düşüşü ile üreticilerin karşılaştığı ayıpları da içerir. Bu kayıplar, kayıp fonksiyonları ve bunların sürece etkileri ile de açıklanmaktadır. Biz bu çalışmada kauçuk prosesine Taguchi' yi uygulayarak buradaki kalite kayıplarını önlemeye çalışacağız.

Kauçuk işletmesinde yedi faktörlü ve iki seviyeli bir üretim prosesi faktör-seviye kombinasyonunun belirlenmesi için Taguchi metodu kullanılacaktır.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Kalite	1
1.1.1. Kalite kavramı	1
1.1.2. Kalitenin tarihsel gelişimi	2
1.1.3. Toplam kalite yönetimi	3
BÖLÜM 2.	
DENEYSEL TASARIM	8
2.1. Deney Tasarımının Tarihsel Gelişimi	8
2.2. Deney Tasarımı	8
2.2.1. Deney tasarımı yöntemi	8
2.2.2. Deney tasarımı sürecinde kullanılan genel kavramlar	9
2.2.3. Deney tasarımı için temel basamaklar	10
2.2.4. Deney tasarımında bulunması istenen özellikler	11
2.2.5. Faktöriyel deneyler	12
2.2.5.1. İki seviyeli tam eşlendirmeli deneyler	13
2.2.5.2. İki seviyeli L8 ve L16 deneyleri	17
2.2.5.3. Kesirli deneyler	19

2.2.6. Deney tasarımında hesap tablolarının kullanılması	20
--	----

BÖLÜM 3.

TAGUCHİ TEKNİĞİ.....	24
3.1. Taguchi Felsefesi	24
3.1.1. Taguchi felsefesinin özeti.....	26
3.1.2. Deney tasarımı ve taguchi felsefesinin uygulamaları	27
3.2. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu	28
3.2.1. Kale direği perspektifi.....	31
3.3. Sinyal / Gürültü oranı	33
3.3.1. En küçük – en iyi.....	33
3.3.2. En büyük – en iyi	33
3.3.3. En nominal – en iyi	33
3.4. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi ve Deney Tasarımı.....	35
3.4.1. Off-line kalite kontrol.....	36
3.4.1.1. Sistem tasarımı.....	38
3.4.1.2. Parametre tasarımı	39
3.4.1.3. Tolerans tasarımı.....	41
3.4.2. On-line kalite kontrolü	42
3.4.2.1. Üretim kalite kontrol metotları	42
3.4.2.2. Müşteri ilişkileri.....	42
3.5. Robust Tasarım	43
3.5.1. Robust tasarım metodu ve operasyonel adımları	44
3.6. Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Prosedürleri	45
3.6.1. Çözülecek olan problemin belirlenmesi.....	45
3.6.2. Performans karakteristikleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi	46
3.6.3. Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin belirlenmesi.....	47
3.6.4. Faktörlerin kontrol ve hata (gürültü/noise) faktörleri olarak ayrılması	51
3.6.5. İncelenecek bileşik etkilerin belirlenmesi.....	51
3.6.6. Ortogonal diziler	53

3.6.6.1. Ortogonal dizilerin çeşitleri	53
3.6.6.2. Ortogonal dizilerin seçimi	55
3.6.7. Deneyin yapılması (dataların toplanması).....	57
3.6.7.1. Lineer grafiğim çizimi ve faktörlerin sütunlara atanması.....	59
3.6.8. Çok seviyeli deneylerin ortogonal düzene yerleştirilmesi	62
3.6.8.1. İki seviyeden dört seviyeye dönüştürme.....	62
3.6.8.2. Sütun seviyesi düşürme	64
3.6.9. Deneyin yönlendirilmesi	65
3.6.9.1. Rassallaştırma	66
3.6.9.2. Örnek büyüklüğünün belirlenmesi.....	67
3.6.10. Varyans analizi	67
3.6.10.1. Kareler toplamı (varyasyon)	70
3.6.10.2. Serbestlik derecesi	71
3.6.10.3. Varyans	72
3.6.10.4. F testi.....	73
3.6.11. Deneysel sonuçların yorumu	75
3.6.11.1. Ortalamanın kestirimi	75
3.6.11.2. Kestirilen ortalama etrafında güven Aralığı	77
3.7. Taguchi Yöntemine Eleştiriler	81

BÖLÜM 4.

TAGUCHİ YÖNTEMİNİN KAUCUK PROSESİNE UYGULANMASI.	83
4.1. İşletmenin Tanıtılması	83
4.2. Kauçuk Üretimi ve Aşamaları	87
4.2.1. Hamur karıştırma	92
4.2.2. Hamur ön şekillendirme	94
4.2.3. Presleme	95
4.2.4. Vulkanizasyon.....	95
4.2.5. Finisaj	96
4.3. Taguchi Tekniği Uygulaması.....	97
4.4. Problemin Belirlenmesi	97

4.5. Performans Karakteristiğinin Belirlenmesi	103
4.6. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi	104
4.7. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi	105
4.8. Faktörlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması.....	106
4.9. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması	109
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	114
5.1. Gözlem Değerleri Ortalamalarına göre yapılan Analizler	114
5.1.1. Hesap tablosu yöntemi ile faktör etkilerinin ve seviyelerinin belirlenmesi	114
5.1.2. Ortalamaya göre varyans analizi	116
5.1.2.1. Kareler toplamı	116
5.1.2.2. Serbestlik derecesi	118
5.1.2.3. Varyans	118
5.1.2.4. F Testi	119
5.2. S / N Oranına Göre Yapılan Analizler	121
5.2.1. S/N oranına göre hesap tablosu yönteminin uygulanması	121
5.2.2. S/N oranına göre varyans analizi	123
5.3 Doğrulama Deneyleri İçin Güven Aralığının Bulunması	123
5.3.1. Doğrulama deneyi	126
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	127
KAYNAKLAR	130
EKLER	134
ÖZGEÇMİŞ	150

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

V_A	: A faktörünün serbestlik derecesi
V_{AxB}	: A ile B interaksiyonunun serbestlik derecesi
K_A	: A faktörünün kademe sayısı
V_T	: Dizinin toplam serbestlik derecesi
N	: Dizinin toplam veri sayısı
D	: X_{ij} 'lerden oluşan kontrol faktörleri matrisi ($D_{d \times k}$)
W	: w_{ij} 'lerden oluşan gürültü faktörleri matrisi ($W_{n \times i}$)
Y	: Y_{ij} 'lerden oluşan veri matrisi
SS_T	: Tüm değerlerin kareleri toplamı
SS_A	: A faktörü için kareler toplamı
SS_O	: Hata kareleri toplamı
V_T	: Toplam serbestlik derecesi
V_A	: A'nın serbestlik derecesi
V_{AxB}	: A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi
V_O	: Hata varyansı
n_A	: A faktörü için veri sayısı
T_1	: Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması
Y_i	: Gözlenmiş i. değeri
k_A	: A faktörünün kademe sayısı
v_0	: Hata varyansı
v_m	: Ortalama varyansı
y	: Veri gurubunun ortalaması
s	: Veri gurubunun standart sapması
B_2	: B faktörünün 2. seviyesinin ortalama değeri
a	: Risk
$1-a$	: Güven

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Deming'in PYDK çemberi.....	6
Şekil 1.2.	Muayene, İPK ve DT yöntemlerinin kalite gelişmesine katkısı...	7
Şekil 2.1.	Faktör etkileşimleri.....	15
Şekil 2.2.	2 ² faktöriyel tasarımı.....	16
Şekil 2.3a.	Faktöriyel deneyleri etkileşim yok.....	17
Şekil 2.3b.	Faktöriyel deneyleri etkileşimli.....	17
Şekil 2.4.	2 ³ faktöriyel tasarımı.....	18
Şekil 3.1.	Kalite kayıp fonksiyonu.....	29
Şekil 3.2a.	En küçük – En iyi.....	30
Şekil 3.2b.	En büyük – en iyi.....	30
Şekil 3.3.	Üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı.....	32
Şekil 3.4.	Üretim kalite çemberi.....	36
Şekil 3.5.	Taguchi metodunun sistematigi.....	37
Şekil 3.6.	Tasarımın üç aşaması.....	38
Şekil 3.7.	Parametre tasarımı akış şeması.....	40
Şekil 3.8.	Robust dizaynı.....	44
Şekil 3.9a.	Etkileşimli durum grafiği.....	52
Şekil 3.9b.	Etkileşimsiz durum grafiği.....	52
Şekil 3.10.	Lineer grafiği.....	60
Şekil 3.11	A tipi L8 lineer grafiği.....	61
Şekil 3.11	B tipi L8 lineer grafiği.....	61
Şekil 3.12	L9 lineer grafiği.....	61
Şekil 3.13	Etkileşmeyen faktörlerin grafiği.....	76
Şekil 4.1.	Kauçuk ürünlerinin genel dağılımı.....	84
Şekil 4.2.	Mühendislik departmanının görünümü ve UG program penceresinden kalıp görünümü.....	85

Şekil 4.3	Çekme kopma test cihazı, profil projektör ve bulunan ölçüm değerlerinin grafikleri.....	85
Şekil 4.4	Mekanik atölye ve kalıp imalatında kullanılan tezgahlar.....	86
Şekil 4.5	Kauçukların ısı ve yağa dayanım tablosu.....	88
Şekil 4.6.	Hamur karıştırma makinesi.....	94
Şekil 4.7.	Hamur ön şekillendirme süreci.....	95
Şekil 4.8.	Kauçuk presleri.....	96
Şekil 4.9.	Optik kontrol makinası ve finisaj bölümü.....	96
Şekil 4.10.	İş akış şeması.....	99
Şekil 4.11.	Süreç seması (birinci aşama).....	100
Şekil 4.12.	Süreç seması (ikinci aşama).....	101
Şekil 4.13.	Süreç şeması (üçüncü aşama).....	102
Şekil 4.14.	Süreç şeması (dördüncü aşama).....	103
Şekil 4.15.	Balık kılçığı diyagramı.....	104
Şekil 4.16.	L16 ortogonal dizisi etkileşimleri.....	107
Şekil 4.17.	Elde edilen sonuçların minitab çıktıları.....	110

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Deney tasarımında bulunması istenen özellikler.....	12
Tablo 2.2.	İki faktörlü deneysel tasarım matrisi.....	14
Tablo 2.3.	İki faktörlü deneysel tasarım matrisinin yeni hali.....	14
Tablo 2.4.	2^3 faktör etkileşimlerinin hesabı.....	18
Tablo 2.5.	Örnek veri değerleri.....	21
Tablo 2.6.	Hesap tablosu.....	22
Tablo 2.7.	Normal olasılık grafiği.....	23
Tablo 3.1.	Kayıp fonksiyonu tipleri.....	30
Tablo 3.2.	İç/dış ortogonal dizi.....	41
Tablo 3.3.	Taguchi'nin kalite sistemi.....	43
Tablo 3.4a	Etkileşimli durum.....	52
Tablo 3.4b	Etkileşimsiz durum.....	52
Tablo 3.5	Teklif edilen deneysel dizaynlar.....	55
Tablo 3.6	Faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecesi ve toplam serbestlik derecesi.....	56
Tablo 3.7	Dataların elde edildiği matris.....	59
Tablo 3.8	L4 üçgensel tablo.....	62
Tablo 3.9	L9 üçgensel tablo.....	62
Tablo 3.10	Dört seviyeli sütun oluşturma kuralları.....	63
Tablo 3.11	Dört seviyeli faktör için Düzenlenmiş L8 ortogonal dizi.....	64
Tablo 3.12	Dört seviyeli sütun oluşturma kuralları.....	64
Tablo 3.13	İki seviyeli faktör için standart L8 ortogonal dizisi.....	64
Tablo 3.14	Dört seviyeli faktör için düzenlenmiş L8 ortogonal dizisi.....	65
Tablo 3.15	İki seviyeli faktör için standart L8 ortogonal dizisi.....	65
Tablo 4.1.	Firmanın makine parkı.....	86
Tablo 4.2.	En fazla kullanan kauçukların genel özellikleri.....	88

Tablo 4.3.	Faktör-seviye diyagramı.....	105
Tablo 4.4.	Faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri ve toplam serbestlik derecesi.....	106
Tablo 4.5.	L16 ortogonal dizisi.....	107
Tablo 4.6.	L16 (2**15) dizisi için standart etkileşim tablosu.....	108
Tablo 4.7.	Faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması.....	109
Tablo 4.8.	Deneyler sonucu elde edilen veriler.....	109
Tablo 4.9.	Ortalamalar için sonuç tablosu.....	112
Tablo 4.10.	S/N oranı için sonuç tablosu.....	112
Tablo 4.11.	Standart sapma için sonuç tablosu.....	112
Tablo 4.12.	Minitab sonuçlarına göre veri analizi özet tablosu.....	113
Tablo 5.1.	Ortalama değerler için hesap tablosu.....	115
Tablo 5.2.	Ortalamaya göre hesap tablosuyla elde edilen faktör ve seviyeleri.....	115
Tablo 5.3.	Varyans analizinde kullanılan formüller.....	117
Tablo 5.4.	Ortalamaya göre hesap tablosuyla elde edilen veriler.....	120
Tablo 5.5.	S/N oranına göre hesap tablosu yöntemi ile bulunan faktör etkileri.....	122
Tablo 5.6.	S/N oranına göre uygulanan hesap tablosu.....	122
Tablo 5.7.	S/N oranına göre hesap tablosuyla elde edilen veriler.....	123

ÖZET

Anahtar kelimeler: Taguchi Metodu, Deneysel tasarım, Grafiksel gösterim, Kauçuk sanayi

Artan rekabet ortamında, işletmelerin ayakta durabilmesi ve varlıklarını sürdürebilmeleri için kalite geliştirme ve maliyet düşürme çalışmalarının sürekli olması gerekir. Taguchi, kalite maliyetlerini azaltmanın bir yolu olarak proses parametrelerinin tasarımında deneysel tasarımın kullanılmasını vurgular. Bu çalışmada, kalite ile ilgili problemlere neden olan değişkenlik kaynakları belirlenerek, kalite karakteristiklerinin en iyilenmesine olanak veren; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin endüstriyel problemlerinde sık ve etkin olarak kullanılan Taguchi Yöntemini kullanarak, endüstriyel bir uygulama bazında da yaptığı iyileştirmeleri ve etkinliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada Deneysel Tasarım ve Taguchi Tekniği ayrıntılarıyla ele alınmış ve Laspar Ltd. Şti. Bursa Fabrikası'nda kauçuk vulkanizasyonu aşamasında gerçekleştirilen bir uygulamaya yer verilmiştir. Uygulamada, kauçuğun en önemli kalite karakteristiği olarak belirlenen kopma mukavemetini maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Uygulamada öncelikle mukavemet üzerinde etkili olduğu düşünülen faktör ve seviyeleri belirlenmiş, belirlenen faktör ve seviyelere uygun ortogonal dizi seçilerek deneyler endüstriyel koşullar altında 5'şer kez tekrar edilmiştir. Deney sonuçları, ortalama değer ve Sinyal gürültü oranına göre hesap tablosu uygulanmış varyans analizi ve taguchi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kopma üzerinde etkili olan faktör ve seviyeleri belirlenmeye çalışılmış ve yapılan doğrulama deneyleri ile kullanılan yöntemin sağlaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde uygulanan yöntem ve çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

APPLYING TAGUCHI METHOD IN INDUSTRIAL RUBBER'S VULCANIZATION PROCESS

SUMMARY

Key Words: Taguchi Method, Taguchi Orthogonal Arrays, Graphical Representation, Rubber Industry

Under increasingly competitive conditions, for the purpose of not being behind their competitors and defending their market share companies have to apply quality improvement and cost minimizing policies and techniques on their process. Taguchi, emphasizes the importance of using experimental design in defining process parameters as a way of minimizing quality costs. In this paper, sources of variation which cause quality problems are determined and Taguchi method which has an ability to optimize of quality characteristics and has been applied quite often in the developed and developing countries industrial applications., is applied. In order to prove the improvement and efficiency of the method, an industrial application in automotive sector has been carried out.

In this study, Experimental Design and Taguchi Approach have been explained in detail and Laspar Co. Bursa Plant has been carried out under real industrial conditions in rubber's vulcanization process. In this application, rubber's vulcanization activity has been selected as the most important quality characteristic and tensile strength to maximize. In the application, firstly factors and levels, which have effect on tensile quality characteristic, were defined and than appropriate orthogonal array was selected and finally experiments were done in each trial 5 times. The experimental results were analysed with equation table an anova techniques and taguchi techniques. At the and, by using confidence experiments it has been tried to identify important factors and levels on tensile. At the last section of the study, results of the application has been criticized and discussed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Üzerinde sıklıkla durulan küreselleşmenin modern hayata etkileri her alanda kendini göstermiştir. Endüstriyel işletmeler de bu etki ve beraberinde getirdiği rekabet şartlarından nasibini almış; dünya pazarlarında firmalarını konumlandırmak, gelişmelere paralel atılımlar yapmak, en önemlisi de güçlü bir duruş sergilemek adına ‘nasıl daha iyi olabiliriz’ sorusunun yanıtını aramaya başlamışlardır.

Bu arayış sürecinde ‘Kalite’ kavramı gündeme oturmuş ve anahtar rolü üstlenmiştir. Üretim artışının, maliyetleri düşürmenin, müşteri taleplerine hızlı ve doğru bir şekilde cevap verebilmenin kalite ekseninde ele alınmasının gerekliliği anlaşılmış, kalitenin endüstriyel hayatın vazgeçilmezi olduğu kabul edilmiştir. O halde nedir kalite?

1.1. Kalite

1.1.1. Kalite kavramı

Üzerinde hemfikir olunan genel bir tanım bulunmamakla birlikte uzmanlarının görüşleriyle kalite;

Kalite, herhangi bir mamulün niteliklerinin, bu mamulü alan veya kullanan kişinin ihtiyaçlarını karşılayabilme derecesidir. Kişi, aldığı veya kullandığı malın niteliklerinden memnun kalıyorsa, o mamul o kişiye göre kalitelidir [14].

Modern kalite kontrol müşteri odaklıdır. Ürünler müşteri ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanır, üretilir ve sevk edilirler. Kalite geliştirme süreci üst yönetimin sorumluluğunda yapılır. Kalite için sorumlulukları herkesin alması önemlidir. Kusurları önlemeye odaklanılır [27].

Kalite kavramı çok yeni bir kavram olarak nitelendirilse bile, çok eski zamanlardan beri önem verilen bir değerdir. Bu kavrama süreç içerisinde yüklenilmiş olan değişik anlamlar ve spesifikasyonlar sayesinde kalite ile ilgili kullanılan birçok tanım ortaya çıkmıştır [25]. Üzerinde hemfikir olunan genel bir tanım bulunmamakla birlikte uzmanlarının görüşleriyle kalite;

- a) Kalite bir ürün yada hizmetin belirlenen yada olabilecek ihtiyaçları karşılama yeterliğine dayanan özelliklerin toplamıdır [5].
- b) Kalite kullanıma uygunluktur. (J.M.JURAN)
- c) Kalite şartlara uygunluktur. (R.B.CROSBY)
- d) Ürünün gönderildikten sonra toplumda meydana getirdiği kayıptır (G. TAGUCHI) [41].
- e) Bir mal ya da hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme yeteneklerini ortaya koyan karakteristiklerin tümüdür(ASQ – Amerikan Kalite Derneği)
- f) Bir mal ya da hizmetin tüketicinin isteklerine uygunluk derecesidir (EQO - Avrupa Kalite Organizasyonu).

1.1.2. Kalitenin tarihsel gelişimi

Sahip olduğu kıt kaynakları kendisine ve yakın çevresine fayda yaratmak için seferber eden insanoğlu meydana getirdiği ürüne olan talebin ürünün niteliğiyle (bugünkü anlamda kalitesiyle) doğru orantılı olduğunu sezmiş ve yaptığı işlerde göz önünde bulundurmıştır. Kalite, o tarihlerde adı konmasa da geçmişi Hammurabi Kanunlarına dayanan köklü bir kavramdır. Sanayi devriminden sonra rekabet üstünlüğü hızlı ve çok miktarda üretimle ilişkilendirildiğinden ürün kalitesi bir müddet geri planda kaldıysa da bu kez seri üretim sırasında meydana gelen kusurlu ürünlerin ayıklanması sorunu gündeme geldi ve bunun için Kalite Kontrol Kavramı ortaya çıkarıldı. İşletmeler üretimden bağımsız kalite kontrol laboratuvarları oluşturarak buralarda hatalı ürünlerin müşteriye ulaşmasını engellemeyi amaçladılar.

20. yüzyıla gelindiğinde salt kalite kontrol çalışmalarının hedeflenen verimliliğe ulaşmadaki yetersizliği anlaşıldı. Kalite Güvence terimini ilk olarak kullanan George

Edwards, kalitenin yönetimin sorumluluğunda olduğu görüşünü ortaya attı. İyi kalitenin iyi şeyler düşünülerek ve şansa bağlı olarak elde edilemeyeceği; kalitenin işletmenin bütün organizasyonel bölümlerinin (tasarım, mühendislik, teknik ve kalite planlama, üretim yerleşimi, standartlar, işçilik ve personel vb.) planlı ve birbirine bağlı çalışmaları ile oluştuğu yaklaşımını geliştirdi. Aslen matematikçi olan Walter Shewhart İstatistiksel Kalite Kontrol kavramını gündeme getirerek kalite kontrol çalışmalarında istatistiki uygulamalar geliştirdi.

II. Dünya Savaşı, kalite teknolojisinin gelişmesini hızlandırdı ve üretilen ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesi gereksinimi kalite kontrol konusundaki çalışmaların artmasına ve daha çok bilgi paylaşımına yol açtı. Ancak savaş sonrasında kalite kontrol çalışmaları önemini yitirmeye başladı. Buna karşılık Japon iş adamları savaş sonrası ülkelerini yeniden imar etmek ve dış pazarlara girebilmek amacıyla ABD'deki kalite uzmanlarını ülkelere davet ederek bir kalkınma hareketi başlattılar.

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

Toplam Kalite Yönetimi anlayışıyla birlikte kalite sistemleri en kamil düzeye ulaştı.

1.1.3. Toplam kalite yönetimi

Sürekli değişkenlik gösteren rekabet ortamında geleceği görebilmek, buna göre yenilik yapabilmek ve yaratıcılığını en üst seviyede tutabilmek çok büyük önem taşımaktadır. Değişen düzene kısa sürede ayak uydurabilen ve en önemlisi bilgiyi elinde tutabilen işletmeler en iyi yerlerde olacaktır. Değişkenlik gösteren rekabet ortamında Toplam Kalite Yönetimi' nin (TKY) önemi daha çok kavranmakta ve TKY' ne yönelmeler hız kazanmaktadır [13].

TKY, Tüketici isteklerini en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile, işletme organizasyonu içindeki çeşitli ünitelerin kalitenin yaratılması, yaşatılması ve

geliştirilmesi yolundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili sistem şeklinde tanımlanabilir [26].

TKY'nin ilkeleri;

1. Üst yönetimin liderliği
2. Müşteri odaklılık
3. Firma elemanlarının eğitimi
4. Takım çalışması
5. Sürekli geliştirme ve iyileştirme'dir.

Yukarıdaki öğelerden ilk dördü beşincisi için gereklidir [43].

TKY Felsefesi bir dizi ilkeler ve yöntemler yumağıdır. Bu felsefenin özünde şunları bulabiliriz:

1. Hataları önlemek, onları sonradan bulup düzeltmekten daha kolaydır, ucuzdur ve güvencelidir.
2. Normal ile anormali, doğal olanla olmayanı ayırmak için istatistiğe ihtiyaç vardır.
3. Her çalışanın fikrinden yararlanmak, sadece bir kısım kişilerin fikrinden yararlanmaktan daha başarılı sonuçlar doğurur.
4. İyi yönlendirilirse, grup çalışmaları işleri daha çabuk geliştirir.
5. İşletmenin başarısı için müşterilerin tercihlerini gözetmek gerekir.
6. Kaliteli bir yönetim, kaliteli insanlarla mümkündür.
7. Kaliteyi güvence altına almak bir sistem meselesidir.
8. İşlerin planlı yapılması, plansız yapılmasına yeğlenir.
9. Hedef birliği sağlanırsa, sonuca daha kısa sürede ve daha emin bir şekilde varılabilir.
10. Tüketicilere kaliteli bir hizmet verebilmek için işletmenin içindeki birimlerin ve bireylerin de birbirlerine kaliteli bir hizmet verebilmeleri şarttır.
11. Dışarıdan sağladığımız mal ve hizmetlerde de yüksek kalite istiyorsak, tedarikçimizi kendi safımıza almalıyız [18].

Modern kalite anlayışı; işletmelerde kaliteyi hataları ayıklamanın ötesine götürmüş, rekabet üstünlüğünü kaliteyi kontrol eden işletmelerden alarak, kaliteyi geliştirmeyi hedefleyen işletmelere vermiştir. İş dünyasında başarıyı yakalayan firmalarsa yine belirli kalite kontrol düzeyinde hatasız üretimi gerçekleştiren firmalar değil, kaliteyi benimsemiş, adeta yaşam biçimi haline getirmiş firmalar olmaktadır. Bu başarıyı yakalamış firmalardan birinin, Hewlett–Packard’ın CEO’su John E. Young ‘un deyişiyle “Kaliteyi sağlamanın yolu hatalı ürünleri tespit eden ve müşteriye ulaşmadan önce kalitesizliği gideren güçlü bir kalite güvence ekibine sahip olmaktan değil, sürekli iyileştirmeyi firmanın kültürün bir parçası haline getirmeyi başarmaktan geçer”

Japon’ların Deming’in öncülüğünde başlattıkları kalite seferberliğinde başarıya ulaşmalarında en önemli faktör ilk olarak batılıların geliştirdiği kalite anlayışını çok iyi özümseyerek kendi yaşam kültürleriyle sentezlemeleri olmuştur.

1970’li yıllarda Amerikan Şirketlerinin dış rekabette Japonların gerisinde kalması, onları kalite anlayışlarını yeniden gözden geçirmeye zorlamıştır. Böylelikle kalite yeniden dünyanın gündemine oturmuştur. Kalite serüvenine Deming, Juran gibi batılı bilim adamlarının öncülüğünde başlayan Japonya bugün, Ishikawa ve Taguchi gibi kalite guru’larıyla tüm dünyaya kalite danışmanlığı yapar hale gelmiştir.

Japon sanayisinin iş dünyasına kazandırdığı bu yeni felsefe işletmeleri Taylorizmde olduğu gibi yöneten ve çalışan olarak bloklara ayırmayı red ederek firmanın sürekli iyileşmesinin sağlanması adına tüm çalışanların bilgi, yetenek ve zekalarını ortaya koymasını gerektiğini savunur. “Bizim için yönetim kendi bireysel ya da sınıfsal engellerinden bağımsız, tüm iş gücünün firma hizmetine bilinçli bağlılığıdır. Çok parlak da olsa birkaç teknokratın zekası, talepleri karşılamakta tam anlamıyla yetersiz kalır. Yalnızca tüm çalışanların zekaları bir firmanın yeni çevresinde karşılaştığı iniş, çıkış ve gereksinmelerle yaşayabilmesine imkan tanır.”

Sürekli iyileştirmeyi merkezine alan bu yaklaşım “Kayzen Felsefesi” olarak adlandırılır. Kayzen çalışmaları TKY’nin en temel faaliyetidir. Kayzen çalışmalarında, Shewhart veya Deming çemberi olarak tanınan “planla ↻ yap

“doğrula karar ver”(PYDK) süreci genel çalışma çerçevesi olarak uygulanır. Bu sürecin uygulanmasında Yedi Araç olarak adlandırılan; ‘Veri Toplama, Balık Kılıcı Diyagramı, Pareto Analizi, Kontrol Diyagramı, Histogram, Gruplandırma ve Dağılım Grafiği’ teknikleri kullanılır. TKY kendi içinde de sürekli gelişen bir yaklaşımdan dolayı bu tekniklere her geçen gün yenileri eklenmektedir.



Şekil 1.1. Deming'in PYDK çemberi [43]

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 [43].

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

Batı’da 1920’li yıllardan beri bilinmekte olan deney tasarımı yöntemi Japonya’da 1950’li yıllarda imalat sektöründe etkin olarak uygulanmaya başlanmış ve Dr.

Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. 1980'li yıllarda Japon kalitesinin sırlarını araştıran ABD'li sanayiciler Japon İşletmelerinde Taguchi'nin geliştirdiği deneysel tasarımın titizlikle uygulanmakta olduğunu gördüler. Böylelikle unutulmakta olan deneysel tasarımın önemi yeniden ortaya çıkmış oldu.

Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiş olan Güçlü Tasarım (Robust Design) kavramı ile, tasarım faaliyetlerine odaklanarak, düşük maliyetle, ürün ve süreçlerin performansının hızlı bir şekilde artırılması hedeflenir. Temel felsefesi, kalitenin tasarım aşamasında ürün veya prosese kazandırılmasıdır [1].

Taguchi metodu (TM) kullanılarak, hedef değere tam olarak ulaşmak değil, kontrol edilemeyen faktörlere karşı tasarımın duyarlılığı en aza indirgenerek, maliyet ve kalite faktörlerinde optimum bir tolerans aralığının belirlenmesi hedeflenir. Taguchi metodu ile tasarımda problem yaratabilecek kilit faktörler belirlenerek problem çözme faaliyetlerinin etkinliği artırılır [16].

Bu çalışmada Deneysel Tasarım ve Taguchi Tekniği ele alınacak ve Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesinde bir uygulamaya yer verilecektir ve bulunan veriler Minitab 15 programında çözümlenecektir.

BÖLÜM 2. DENEYSEL TASARIM

2.1. Deney Tasarımının Tarihsel Gelişimi

Deney tasarımı, 1920'lerde İstatistik Biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "Varyans Analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konumuna gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır.

Deney tasarımı, daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır. Amerika'da imalat sektörü 1980'lerin başında, deney tasarımı Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deney tasarımı, o tarihlerde Japonya'da profesör Genichi Taguchi önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi deney tasarımına kurumsal yenilikler getirmemiştir. Ancak üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır [43].

2.2. Deney Tasarımı

2.2.1. Deney tasarımı yöntemi

Deney tasarımı, değişik koşullarda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni nasıl etkilediğini araştırmak için gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlmelerini veren istatistik dalıdır.

Deney tasarımı; belirlenmiş bir tasarım matrisine göre; proses üzerinde etkili olması muhtemel proses değişkenlerinin sistematik olarak değiştirilerek, bir deneyim veya bir takım sıralı deneylerin gerçekleştirilmesi yöntemidir. Değişik koşullar altında elde edilen sonuçlar aşağıdakilere ulaşabilmek amacı ile değerlendirilir:

- a) Test edilen değişikliklerin içinde etkili olanların tamamlanması,
- b) Belli bir aralıkta değişkenlerin çeşitli seviyelerinin etkilerinin ölçülmesi,
- c) Prosesin mevcut durumda işleyişinin daha iyi anlaşılması,
- d) Birtakım etkenlerin ve etkileşimlerin karşılaştırılması.

Bu yöntemin ürün veya proses geliştirme çevriminin başlarında uygulanması aşağıdakiler gibi bir çok fayda sağlar:

- a) İyileştirilmiş proses çıktıları,
- b) Nominal veya hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılması,
- c) Toplam geliştirme süresinin düşürülmesi,
- d) Toplam maliyetin azaltılması [21].

2.2.2. Deney tasarımı sürecinde kullanılan genel kavramlar

Kalite (Respons) Değişkeni: Deney tasarımı yapılarak tanınmak istenen ve üzerindeki farklı etkilerin araştırıldığı değişkendir. Respons değişkeni proseste iyileştirmeye tabi tutulacak değişkendir. Kalite değişkeni, çelik yay üretimi için çatlak yay yüzdesi, seramik imalatında seramik ürünlerin şekil bozukluğu, talaşlı imalatta üretilen parçanın yüzey pürüzlülüğü gibi farklı değişkenler olabilir.

Faktör: Tasarlanan deneyde kalite değişkeni üzerinde etkisi bulunan, kontrol edilebilir ya da kontrol dışı değişkenler faktör olarak adlandırılır. Faktör, sıcaklık değişkeni, süre gibi ölçülebilir (kantitatif) değişkenler olabileceği gibi, farklı

tezgahların, farklı operatörlerin etkileri gibi kalitatif değişkenler de olabilir.

Seviye: Kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin deneyde alacakları farklı değerler faktör seviyeleri olarak adlandırılır. Örneğin; seramik fırınındaki sıcaklık faktörünün 30° ve 40° olmak üzere iki farklı seviyesi ele alınabilir.

2.2.3. Deney tasarımı için temel basamaklar

Deney tasarımı çalışmaları, toplam kalite yönetimi çerçevesi içinde yapılmalıdır. Özellikle sonuçları birden fazla bölümü etkileyecek deney tasarımı çalışmaları için bir takım oluşturmak yerinde olur. Deney tasarımı takımı, genel çalışma yöntemi olarak PYDK çemberini benimser. Takım üyelerinin 7 basit araç gibi sürekli iyileştirme teknikleri konusunda eğitim görmüş olmalarının, çalışmanın etkinliğine ve doğruluğuna katkısı çok büyük olacaktır.

Deney tasarımı uygulamasında takip edilmesi gereken basamaklar aşağıda verilmiştir.

1. Kalite probleminin tanımlanması: Bunun için, öncelikle, deney sırasında çıktı olarak incelenecek ve ürünün kalite özelliklerini temsil eden kalite değişkeni veya değişkenlerini tanımlamak gerekir. Kalite değişkenlerinin ölçülebilir (sayısal ya da nicel) olması gerekir. Ürünün boya ve yüzey parlaklığı gibi kozmetik ya da nitel özelliklerini temsil eden değişkenler için, birkaç kişilik bir jüri oluşturarak ürünün puanlanması önerilir.
2. Kalite değişken(ler)ini etkilemesi muhtemel tüm faktörlerin listesini çıkarma: Bu listenin tam ve doğru olarak oluşturulabilmesi için ürüne ve sürece ilişkin bir akış çizelgesi hazırlanması ve ilgili kişi ve bölümlerin görüşlerinin alınması çok yararlı olur. Ayrıca belirlenen faktörlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin net olarak görülebilmesi ve sınıflandırılabilmesi için bir balık kılçığı çizelgesi oluşturulabilir.
3. Belirlenen faktörlerden hangilerinin deneyde incelenebileceğine karar verme: Deneyin içereceği faktörlerin kontrol edilebilir, yani değerleri değiştirilebilir olması gerekir. Ayrıca deneye dahil edilmeyen faktörlerin neden dahil edilmediklerinin de belirtilmesi gerekir.

4. Deneyde incelenecek faktörlerin hangilerinin arasında etkileşimlerin olası olduğuna ve deneyde inceleneceğine karar verme.
5. Deneye dahil edilen faktör ve incelenecek faktör sayısına bakarak, L8 ve L16 gibi bir tasarım matrisi seçimi.
6. Her faktör için seviye değerlerinin belirlenmesi: Alt ve üst düzey arası aralık çok küçük olursa, faktörün etkisi görülmeyebilir. Aralık çok büyük olursa, faktör deneye hakim duruma gelir ve diğer faktörlerinin etkilerinin saptanması güçleşebilir. Deneye dahil edilmeyen faktörlerin değerleri deney sırasında sabit kalacaktır.
7. Faktörlerin tasarım matrisi kolonlarına atanması.
8. Tasarım matrisini kullanarak uygulanacak faktör seviye kombinezonlarının belirlenmesi.
9. Rassallaştırma yaparak deneyin uygulama sırasının tespit edilmesi.
10. Deneyin uygulama planının yapılması (personel seçimi, zaman, ölçme yöntemi vs.) ve faktör seviye kombinezonlarını uygulama grubuna verilmesi.(Büyük bir olasılıkla uygulama grubunda takım üyelerinin bir bölümü yer alacaktır.)
11. Deneyin uygulanması ve kalite değişkeni Y'nin değerlerinin alınması.
12. Aşağıda gösterilecek olan hesap tablolarının doldurularak etki değerlerinin hesaplanması.
13. Normal olasılık grafiğini oluşturarak hangi etkilerin istatistiksel olarak önemli olduğuna karar vermek.
14. Varsa önemli etkileşimler için ayrı grafikler çizilerek yorumlanması.
15. Önemli etki ve etkileşimlere bağlı olarak, optimal ürün ve proses düzeylerinin belirlenmesi.Kalite değişkeni Y'nin beklenen değerinin hesaplanması.
16. Belirlenen düzeylerde deneyler yaparak sonuçların doğrulanması.

2.2.4. Deney tasarımında bulunması istenen özellikler

Etkili bir deney tasarımında bulunması istenen özellikler ve bu özellikleri sağlamak için takip edilmesi gereken yöntemler şöyledir.

Deney tasarımının amacı genel olarak bir sürecin gösterdiği davranışlar hakkında bilgi toplayarak, bu sürecin kalite karakteristiklerini etkileyen faktörleri belirlemek ve sürecin kalitesinin iyileştirilebilmesi için hangi faktörlerin hangi seviyede olması

gerektiğini tespit etmektir. Böylece süreçten beklenen performansın elde edilmesi için optimum faktör seviyeleri belirlenmiş ve sürecin kalitesi geliştirilmiş olur.

Tablo 2.1. Deney Tasarımında Bulunması İstenen Özellikler

Özellikler	Yöntemler
1.Deneyin kapsamı, amacı açık şekilde tanımlanmış olmalıdır.	1.Kapsamın tanımlanması, deneyin gerektirdiği tüm ayrıntıların deney tasarımı ekibi tarafından biliniyor olmasını ifade eder. Ayrıca; -Faktörlerin ve seviyelerinin seçimini, -Deneyde kullanılacak malzemelerin, ekipmanın ve prosedürün seçimini, -Ölçüm metodunun belirlenmesini gerektirir.
2.Mümkün olduğunca faktörlerin etkilerinin diğer değişkenlerle karıştırılmamasına dikkat edilmelidir.	2.Uygun bir deney örneğinin seçimi kontrol edilemeyen değişkenlerin etkilerinden arındırılmasına ve analiz sonuçlarının basitleştirilmesine yardım eder.
3.Mümkün olduğunca, deneyin sebebi bilinen ya da bilinmeyen sapmalardan arındırılması gerekir.	3.Rassallaştırmanın kullanımı sapmaların önlenmesine yardımcı olur.
4.Deneylerin, deneysel hata sapmalarının (varyans) ölçümüne elverişli olması gerekir.	4.Tekrarlı deneylerin yapılması varyansın ölçümünü ve rassallaştırma da deneyin geçerliliğini mümkün kılar.
5.Deneyin doğruluğu sonuçların belirlenen amaçları sağlamasıyla mümkündür.	5.Doğruluğun arttırılması ölçümlerin hassaslığı ve deneylerin tekrarıyla gerçekleştirilir.

Deney tasarımı yönteminde, farklı proses şartlarına uygun farklı deney tasarımları geliştirilmiştir.

2.2.5. Faktöriyel deneyler

İki ya da daha fazla seviyeli, sayıları birden fazla olan faktörlerin bir arada incelenmesi faktör kombinezonlarını oluşturur. Bir faktöriyel deney, olası tüm faktör kombinezonlarının her birinin tekrarlı olarak denendiği deneydir. Faktöriyel deneyler, bir proses ya da ürün kalite karakteristikleri için hangi faktörlerin en

önemli olduğunu belirlemeleri açısından oldukça önemlidir.

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

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

2.2.5.1. İki seviyeli tam eşlendirmeli / faktöriyel deneyler

Deney tasarımı notasyonunda deneyde kullanılacak faktörlerin sayısı 'k', yapılan gözlem sayısı 'n', tekrar sayısı 'r' harfleriyle gösterilir. Ayrıca faktörler ve kalite değişkeni de alfabenin büyük harfleriyle temsil edilir. Tam eşlendirmeli (tam faktöriyel) deneylerde faktörlerin farklı kompozisyonlarından meydana gelecek tüm olası deneylere yer verilir.

Yapılacak deney sayısı 2^k formülüyle bulunur. Bu nedenle faktör sayısı ($k > 1$) olan iki seviyeli deneylere 2^k faktöriyel deneyler denir. Örneğin kalite karakteristiği olarak Y (parça yüzey pürüzlülüğü, üründeki şekil bozukluğu, sızdırmazlık gibi kalite değişkenleri olabilir) alınsın. Y'ye etki eden 2 faktör olduğu ve bunların A ve B olarak temsil edildiği düşünölsün.

Aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilen deney, 2 faktörlü ve 2 seviyeli bir deneydir. Deney sırası belirtildikten sonra faktörler sırayla tabloya atanır. Faktör seviyeleri genellikle düşük olan seviyeye 1, yüksek olan seviyeye 2 değeri verilerek ifade edilir. Y kalite değişkeninin aldığı değeri, A ve B faktörlerinin farklı kombinasyonlarıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değeri'dir. AB faktörü A ve B faktörünün etkileşimini gösterir. Etkileşim, faktörlerin respons değişkenine yaptıkları ortak etki olarak tanımlanabilir. Bu etki şöyle örneklenebilir: Normal, sekiz saatlik uyku

düzeşinin ve iyi bir kahvaltının bir öğrencinin başarı seviyesi üzerindeki etkisinin %100 olduğunu varsayalım. Tek başına uyku düzeyinin 5 saate düşmesinin başarıyı %90'a ,yine tek başına açlığın da %70'e düşürdüğünü farz edelim. Fakat hem uykusuz hem aç olan bir öğrencinin başarı seviyesindeki düşüşün % 60 olması beklenirken, bu düşüş açlık ve uykusuzluğun birlikte yaptıkları etkileşimden dolayı daha fazla olmakta, öğrencinin başarısını % 10 düzeylerine indirmektedir.

Tablo 2.2 İki faktörlü deneşel tasarım matrisi

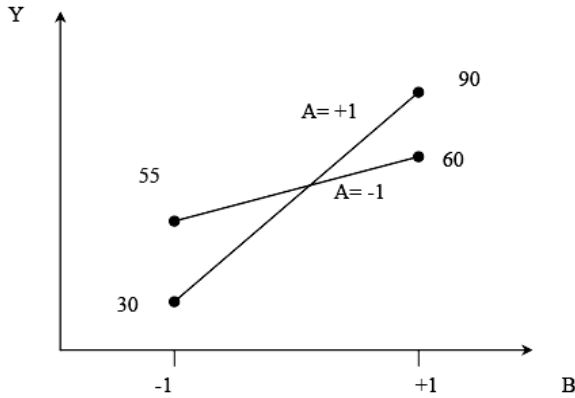
Deneyler No	Faktörler			Kalite değişkeni Y
	A	B	A	
1	1	1	2	55
2	1	2	1	60
3	2	1	1	30
4	2	2	2	90

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

Tablo 2.3. İki faktörlü deneşel tasarım matrisinin yeni hali

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

Faktör etkileşimlerinin etkisi grafik üzerinde de gösterilebilir:



Şekil 2.1. Faktör etkileşimleri

Tekrar sayısı $r=1$ alınan deneylere tekrarsız deneyler denilir. Deneyin tekrarsız olması, her bir kombinezonda tek gözlem yapıldığını ifade eder. Maliyeti düşürmek açısından bu deneyler tercih edilir. Ancak tekrarsız deneyler maliyeti düşürürken deneyin sağlayacağı istatistiksel doğruluk da o derece düşer. Bu nedenle deney sonuçlarının doğruluk ve kesinliğinden emin olmak istendiğinde tekrar sayısı artırılmalıdır. Burada belirtildiği şekilde 2^2 deneylerinde faktörlerin ve etkileşimlerinin etkilerinin hesaplanması çok kolaydır ve şu formüllerle ifade edilebilir:

Düşünülecek en basit durum her biri iki seviyeli iki faktörlü deneydir. Yalnız iki seviyeyi içeren durum oldukça önemsiz gibi görünse de en az iki nedenden dolayı çok yararlıdır. Bu iki neden, daha karmaşık düzenlerin tartışılmasında yarar olacak gösterim ve kavramları tanıtmak ve bu basit durumda gerçekten var olan ana etki ve etkileşimlerin ne olduğunu açıklamaktır [30]. Basit olmalarına karşın, düşük maliyetle, çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesini mümkün kılarlar. Bu bakımdan deney tasarımında çok önemli bir yer tutarlar. Bütün faktör kombinezonlarının denendiği deneylere, tam eşlendirmeli deney ya da tam faktöriyel deney denir. Örneğin, iki faktörlü ve her faktörün iki düzeyi olan bir deneyde, toplam 4 faktör – düzey kombinezonu vardır. Şöyle ki, faktörler A ve B' nin, düzeylerinden birini “-1”, diğerini “+1” kodu ile gösterilirse, düzey kombinasyonları (-1,-1), (-1,+1), (+1,-1), (+1,+1)' dir.

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

Yüksek (+)	b	ab
B		
Düşük (-)	1	a
	Düşük (-)	Yüksek (+)
	A	

Şekil 2.2. 2 2² faktöriyel tasarımı [28]

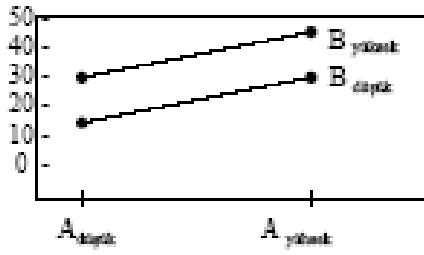
A'nın ana etkisi:

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

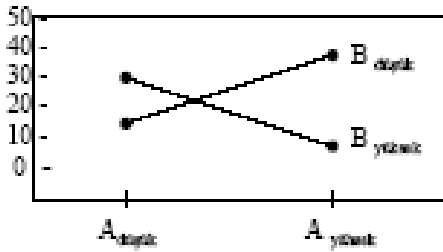
Aynı şekilde diğer etkiler:

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

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



Şekil 2.3a Faktöriyel deneyleri etkileşim yok



Şekil 2.3b Faktöriyel deneyleri etkileşimli[28]

2.2.5.2. İki seviyeli L8 ve L16 deneyleri

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

Deneyde adları A, B ve C olan üç faktör bulunduğu zaman, tam eşlendirme sonucunda, $a*b*c = 2*2*2=8$ kombinezon oluşur. Bu nedenle bu deneylere L8 deneyleri denmektedir.

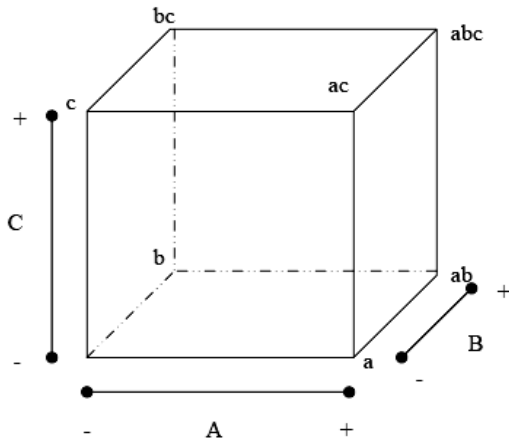
Deneyde 4 faktör ele alındığı zaman, denenecek düzey kombinezon sayısı $a*b*c*d=2*2*2*2=16$ olur. Deneyin düzey kombinezonlarını gösteren bu matrise, L16 dizayn matrisi denir. Pratikte en çok kullanılan deneyler L8 ve L16 deneyleridir.

Üç faktörlü, iki seviyeli L8 deneylerinin incelenmesinde aşağıdaki tasarım matrisi kullanılır. Burada A, B ve C ana faktörleri; AB, AC ve BC ikili etkileşimleri ve ABC de faktörlerin birlikte etkileşimlerini göstermektedir.

Tablo 2.4. 2^3 Faktör etkileşimlerinin hesabı [43]

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

Faktörlerin etki değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki şekilden yararlanılabilir.

Şekil 2.4. 2^3 faktöriyel tasarımı [28]

Böylece faktör etkileri;

$$A = \bar{y}_{A+} - \bar{y}_{A-} = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$B = \bar{y}_{B+} - \bar{y}_{B-} = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$C = \bar{y}_{C+} - \bar{y}_{C-} = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

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

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

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

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

olarak hesaplanabilir.

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

2.2.5.3. Kesirli deneyler

Bir 2_k faktöriyel tasarımında faktörlerin sayısı arttığında, gerekli olan deneylerin hızlıca artar. Örneğin, bir 2^5 faktör için 32 adet deneye gereksinim vardır. Bu tasarımda ana etkiye uygun 5 serbestlik derecesi ve iki faktör etkileşimine uygun 10 serbestlik derecesi vardır. 31 serbestlik derecesinin on altısı yüksek etkileşimlerde değerlendirilerek kullanıldı. Bunlar üç faktör ve daha yüksek etkileşimli olanlarıdır. Özellikle bir proses yada sistem çalışmaya ilk kez başladığında, bu yüksek etkileşimlerde az ilgi vardır [29].

Çok faktörlü bir deneyde ele alınan faktörlerin sayısı arttıkça, deneme kombinasyonlarının sayısı da hızlı biçimde artar. Bu durum 2^n tipinde görülebilir. $n=5$ olduğunda, bir tekrar için 32 deneme; $n=6$ için 64 deneme; $n=7$ için 128 deneme

vs. gerekir. Deney sayısındaki bu artışla birlikte yüksek derecedeki etkileşimlerin sayısında da bir artış olur. Böylece bir deneyde toplam maliyetin büyük bölümünün etkileşimler için harcanacağı açıktır [30].

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

Kesirli deneyleri kullanmaktaki amaç, ikili ve daha yüksek dereceli etkileşimleri ihmal ederek, deneyleri daha ucuza mal etmektir. Kesirli deneyler, tam eşlendirme için gereken gözlem sayısı n 'in belli bir kesrini içerir. Örneğin 7 faktörlü ve $n=128$ gözlem gerektiren deney, kesirli deney olarak tasarımlanırsa, $\frac{1}{2}$ kesir için $n=64$, $\frac{1}{4}$ için $n=32$, $\frac{1}{8}$ için $n=16$ ve en aşırı durumda, $\frac{1}{16}$ için ise $n=8$ gözlem gerektirir. Bu deneylerin her birinde, $n - 1$ sayıda etki hesaplanabilir.

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

Deneylerin sanayi sektöründe yoğun olarak uygulanmamış olmasının bir nedeni, tam faktöriyel deneylerin yüksek maliyetidir [43].

2.2.6. Deney tasarımında hesap tablolarının kullanılması

Burada yer verilen formüller dışında fabrika ortamında yapılan deneylerde

hesaplamaları kolaylaştırmak amacıyla hesap tabloları oluşturulmuştur. L8 deneyleri için kullanılan hesap tablosu aşağıda gösterilmiştir. Tablo üzerinde işlem yaparken deney sonucu elde edilen gözlem değerleri ilgili sütuna girilir. Bu gözlem değerleri faktör sütunlarındaki boş hücrelere aynen yazılır. Sonuçta sütun toplamları toplam satırına girilir ve eleman sayısına bölünerek ortalama satırı doldurulur. Etki değerlerini bulmak için faktörün yüksek seviyesindeki ortalama değeri düşük seviyesindeki ortalama değerinden çıkarılır. Sıra satırına ise faktör etki değerleri büyükten küçüğe doğru numaralandırılır. Bundan sonraki aşamada etki değerlerinin hangilerinin daha önemli olduğunu analiz edebilmek için “normal olasılık grafiği” kullanılır. Etkileşimler ise respons değişkenine olan etkilerini ölçebilmek için 2’li gruplar halinde ayrı ayrı ele alınarak değerlendirilir. Hesaplama Yöntemini örnek üzerinde incelemek gerekirse;

Tablo 2.5. Örnek veri değerleri

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

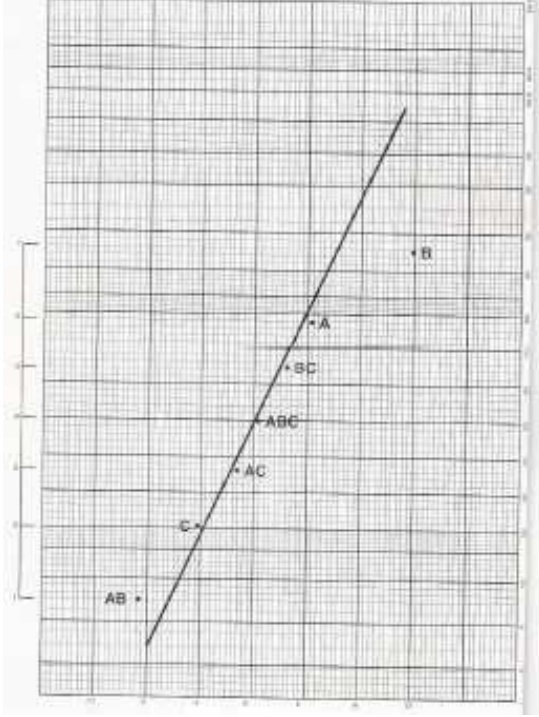
A, B ve C, Y kalite karakteristiğine etki eden 3 farklı faktör olsun. Bu faktörlere ait veri değerleri yukarıda verilmiş ve anlatılan yöntemle hesaplama tablosu doldurulmuştur. Buna göre faktör etkileri hesaplanarak tablonun en altında sıra numarası verilmiştir. Bundan sonraki aşamada etki değerlerinin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

belirlenir. Önemli noktalar ya grafiğin alt tarafında doğrunun solunda, ya da grafiğin üst tarafında doğrunun sağında kalan noktalardır. Bu kriterlere göre bu örnek için B ve AB etkilerinin istatistiksel olarak önemli oldukları ortaya çıkıyor.

Tablo 2.6. Hesap tablosu

Std	Gözlem	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		Sıra	Değeri	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	25	25		25		25			25		25		25	25	
2	21	21		21			21		21	21		21			21
3	44	44			44	44		44			44	44			44
4	43	43			43		43	43		43			43	43	
5	38		38	38		38		38		38			38		38
6	31		31	31			31	31			31	31		31	
7	40		40		40	40			40	40		40		40	
8	36		36		36		36		36		36		36		36
Top.	278	13	14	11	16	14	13	15	12	14	13	13	14	13	13
		3	5	5	3	7	1	6	2	2	6	6	2	9	9
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ort	34.75	33.25	36.25	28.75	40.75	36.75	32.75	39.0	30.5	35.5	34.0	34.0	35.5	34.75	34.75
Etki		3.0		12.0		-4.0		-8.5		-1.5		1.5		0.0	
SIRA		6		7		2		1		3		5		4	

Tablo 2.7. Normal olasılık grafiği



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

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

2^4 faktör L16 deneyinde ise 4 adet ana etki, 6 adet iki faktör etkileşimi, 4 adet üç faktör etkileşimi ve 1 adet dört faktör etkileşimi vardır.

BÖLÜM 3. TAGUCHİ TEKNİĞİ

3.1. Taguchi Felsefesi

Bir kalite iyileştirme ve maliyet düşürme yöntemi olarak takdim edilebilecek “Taguchi Tekniği”, Japon Mühendis ve Bilim adamı Dr. Genichi Taguchi'nin 1940'larda başladığı çalışmalarıyla geliştirdiği ve özellikle 1980 sonrası tüm dünyada geniş yankı uyandıran bir kalite geliştirme metodudur.

Dr. Taguchi aslında tekstil mühendisliği eğitimi almış olmasına rağmen 1940'lı yıllarda istatistik bilimine ilgi duymuş ve daha sonra 2.dünya savaşı sonrasında kiraladığı elektrik haberleşme laboratuvarında o sıralarda Japonya'da gittikçe yaygınlaşan istatistiki proses kontrolü alanında çalışmalara başlamıştır. Laboratuvar çalışmaları Taguchi'nin bir çok deney yapma ve deney sonuçlarını analiz etmesine imkan vermiştir.1960 yılında kendisine Deming ödülünü kazandıracak olan Mühendisler İçin Deney Tasarımı kitabını yazmıştır.

Taguchi, felsefesini üç temel anlayış üzerine bina etmiştir. Sonradan geliştirilen tüm teknikler bu kavramlar ışığında oluşturulmuştur. Taguchi felsefesinin temel prensipleri:

1. Kalite, ürünün tasarımı aşamasında göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir, sonradan ürüne katılamaz.
2. Kaliteye, hedef değerden sapmaların en aza indirilmesiyle en mükemmel düzeyde ulaşılır.Böylelikle ürün kontrol edilemeyen çevre faktörlerine (gürültü faktörleri) karşıda yanıklı hale gelir.
3. Kalitenin maliyeti standart değerlerden sapmanın bir fonksiyonu olarak hesaplanmalı ve kayıplar da sistem çapında ölçülmelidir.

Taguchi, Deming'in "Düşük kalitenin sebepleri, %85 oranında imalat proseslerindeki aksaklıklardan kaynaklanırken, yalnızca %15'i çalışandan kaynaklanmaktadır" tezinden yola çıkmış ve günlük ve mevsimsel çevre faktörlerinden, tezgah yıpranmalarından ve diğer dış etkenlerden kaynaklanan farklılıklara (varyasyon) karşı dayanıklı "Güçlü (Robust)" imalat sistemleri tasarımı kavramını geliştirmiştir. Taguchi, kaliteyi geliştirmenin en iyi yolunun, kaliteyi tasarım aşamasında ürünün doğasına katmak olduğunu savunmaktadır. Kalite geliştirmenin, en başlarda, bir ürünün ya da prosesin tasarımı aşamasında başlayıp, süregelen diğer üretim safhalarında da devam ettirilmesi gerektiğine inanmaktadır.

Taguchi, geleneksel kontrol, izleme ve önleme faaliyetleri ile kalitenin iyileştirilemeyeceğini söyleyerek bunun yerine off-line kalite geliştirme stratejisini önermiştir. Kalite kontrolünün ürüne katkısı olmamakta, hatalı ürünleri ayıklamaktan öteye geçememektedir. Bununla beraber kalite anlayışının önleme yaklaşımı çerçevesinde ele alınması gerekmektedir. Taguchi kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırılması gerektiğini vurgular.

Taguchi felsefesinin üçüncü yaklaşımı, ürüne tasarım aşamasında verilen parametrelerden sapma miktarlarının ürünün yaşam çevrimi boyunca neden olduğu genel maliyetler açısından ölçülmesini gerektirir. Bunlar; hurda, yeniden işleme, kontrol, servis ve gerektiğinde yenisiyle değiştirme maliyetlerini kapsar. Bu maliyetler ana parametrelerin kontrol altında tutulmasına rehberlik eder.

Taguchi, kalite iyileştirmeyi bir süreç faaliyeti olarak adlandırır. Meydana gelen sapmaları sürekli olarak, hedeflenen değer etrafında azaltmaya çalışır.

Kaliteyi iyileştirmek için atılması gereken birinci adım; ürün karakteristiklerinin hedeflenen değerleri etrafında dağılmasını sağlamaktır. Bunu gerçekleştirmek içinse Taguchi, özel olarak hazırlanmış ve Ortogonal diziler olarak adlandırılan tabloları kullanarak tasarladığı deneyleri kullanmıştır. Bu tabloların kullanımı deney tasarımını basit ve kolay anlaşılır hale getirmiştir.

İkinci olarak, ideal değerlere uyan ürünler üretebilmek için hedef değer etrafındaki sapmaları azaltmak gerekir. Bu amacı gerçekleştirmek için de Taguchi gürültü faktörlerini ele almaktadır. Onun terminolojisiyle “Gürültü Faktörleri”; prosesin kalite değişkenini (respons) etkileyen ve kontrol altına alınmaları ekonomik olarak mümkün olmayan faktörlerdir. Hava koşulları, tezgah yıpranmaları vs. sapmaların (varyasyon) başlıca sebebi olan gürültü faktörleridir.

3.1.1. Taguchi felsefesinin özeti

Taguchi felsefesi şu şekilde özetlenmiştir:

1. Bir ürünün kalitesinin önemli bir ölçüsü onun toplumda meydana getirdiği toplam kayıptır.
2. Artan rekabet ortamında, işletmelerin ayakta durabilmesi ve varlıklarını sürdürebilmeleri için kalite geliştirme ve maliyet düşürme çalışmalarının sürekli olması gerekir. Taguchi kalite maliyetlerini azaltmanın bir yolu olarak parametre tasarımında deneysel tasarımın kullanılmasını vurgular. Onun tanımladığı üç tip kalite maliyeti vardır; Ar-Ge maliyeti, İmalat maliyeti ve İşletme maliyeti. Bu üç maliyet de deneysel tasarım yaklaşımlarının kullanılması sayesinde azaltılabilir.
3. Sürekli bir kalite geliştirme programı; ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasının sürekli olarak azaltılması çalışmalarını içermelidir. Burada ürün ve proses değişkenliğinde bir odaklanma söz konusudur. Özelliklerin toplanması ilk adım olarak görülür, son bir amaç değil.
4. Ürünün performansındaki kayıptan dolayı tüketicinin maruz kaldığı kayıp; söz konusu performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesiyle orantılıdır.
5. Bir ürünün nihai kalitesi ve maliyeti, önemli ölçüde mamulün ve ilgili imalat sürecinin mühendislik tasarımlarıyla belirlenir. Bu oldukça basit ve doğrudur. Günümüzde kalite kontrol, ürün ve proses tasarımı süresince yaratılan kronik problemleri çözmeye çalışır. Gelecek, istatistiksel proses kontrolü kullanarak imalat proseslerinin değişkenliğini anlayan, kalite geliştirme çabalarını ürün ve proses tasarımına doğru yönlendiren şirketlere ait olacaktır.
6. Bir ürün ya da prosesin performansındaki değişkenlik, mamul performansı üzerinde etkili olan bir takım parametrelerin doğrusal olmayan etkilerini gidermekle

düşürülebilir. Proses yeterliliğinin ötesinde ürünün özelliklerini pekiştirmeyi denemenin yerine, belki tasarımıdaki bir değişiklik bozulan özellikleri düzeltebilecektir.

7. İstatistiksel deney tasarımları, mamul performansındaki değişkenliğe etki eden parametrelerin etkilerini azaltmada kullanılabilir [27].

Taguchi metodu 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 [10].

3.1.2. Deney tasarımı ve taguchi metodu

Deney tasarımı ve Taguchi metodu, ürün kalitesini ve proses performansını geliştirmek için kullanılan ileri düzeyde istatistik tekniklerdir. Deney tasarımı proses optimizasyonu ve ürün ve proses davranışlarının çalışması için güçlü bir araçtır.

Deney tasarımı, proses performansını optimize eden değişkenlerin sağlanması, çıktılarda etkili olan proses değişkenlerinin bulunması için kullanılır. Taguchi metodu, gerçek üretim şartları süresince kontrol edilemeyen ve istenmeyen dış etkiler sebebiyle varyasyonun azaltılması ile ürün ve proses sağlamlığını maksimize etmek için kullanılır [22]. Deney tasarımının yararlı uygulamalarından bazıları aşağıda verilmiştir.

- a) Ürün ve proses davranışlarını çalışması
- b) Bir ürün yada prosesin çıkış karakteristiklerinde etkili olan farklı faktör yada proses değişkenlerinin nasıl bulunacağı
- c) Devam eden imalat prosesinin sürekliliğini ve güvenilirliğini, toplam kazancının geliştirilmesi
- d) Çalışma altında bir kesin prosesin optimal parametre ayarlarının belirlenmesi

Taguchi metodu çoğunlukla, düşük maliyette ürün kalitesini ve proses performansını geliştirmek hakkındadır. Bu metodu kullanmanın amacı, sıkıntı veren dış faktörlerin istenmeyen etkilerini bastırarak ürün ve proses sağlamlığını yapmaktır. Bu standart

üretim şartları süresince kontrol edilebilen proses parametrelerinin optimal kombinasyonlarının belirlenmesi ile başarılabilir. Taguchi metodunun bazı yararlı uygulamaları şöyledir;

- a) Çevresel değişkenlerden etkilenmeyen ürün ve proseslerin sağlanması
- b) İmalat değişkenlerinin etkilemediği ürünlerin sağlanması
- c) Prosesin hızlı bir şekilde anlaşılması
- d) Proses değişkenliğinin sürekli bir şekilde azaltılması [21]

3.2. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu

Yakın geçmişte, ürün boyutlarını spesifikasyon limitleri dahilinde tutmak yeterli görülüyordu. Bu anlayış, ürünle ilgili ölçülebilir kalite karakteristiklerini, örneğin uzunluk, ağırlık, yoğunluk gibi, bir hedef değer olduğu ve bu hedef değerden sapmaların istenmediği, "Taguchi'nin kayıp fonksiyonu" ile değişti. Bunun da ötesinde kayıp fonksiyonu, hedeflenen değerden sapmanın maliyetini değerlendirebilme imkânı sağladı. Böylelikle farklı doğruluk derecelerindeki üretim metotları arasında finansal karşılaştırmalar yapma imkânı verir.

Kalite kayıpları hem finansal hem de sosyal kayıplardır. Ayrıca müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Kalite kayıplarının minimizasyonu bugünün uluslar arası iş çevrelerinde rekabete dayanmak ve hayatta kalmak için tek yoldur [48]. 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;

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

Topluma mal olan zararları minimum yapmak için uniform ürünlerin üretimine özen gösterilmelidir [8].

Taguchi kayıp fonksiyonunu:

$$y = k (x - \text{hedef})^2$$

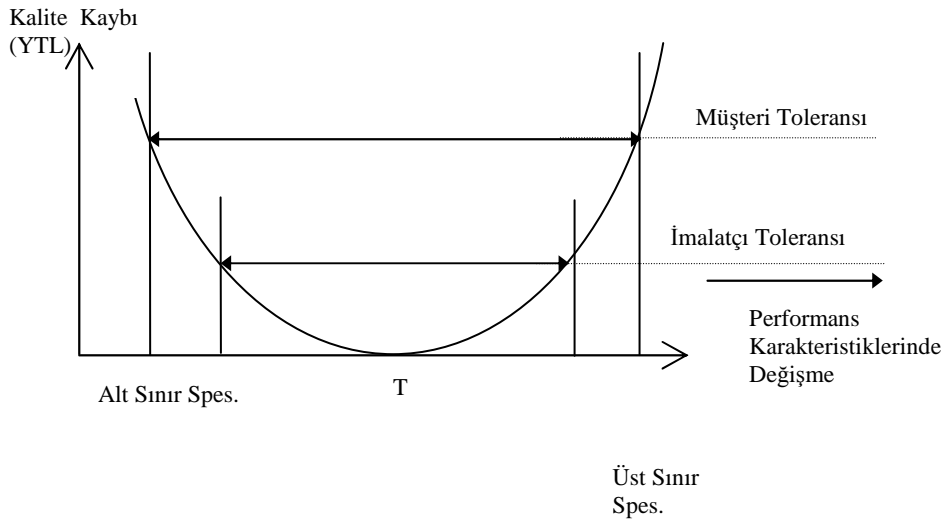
şeklinde ifade etmiştir. [38] Burada;

y = izlenen özelliğe ortaya çıkan kayıp ya da maliyet

k = bir sabit katsayı

x = izlenen özelliğe ilgili gerçekleştirilen ölçüm değeri

hedef = izlenen özelliğe ilgili olması hedeflenen değer'dir.



Şekil 3.1. Kalite Kayıp Fonksiyonu [4]

1. Ölçüm değeri (x) hedef değere eşit olduğunda kaybın ya da maliyetin sıfır olduğu,
2. Ölçüm değeri (x) hedef değerden farklı olduğunda ise kaybın aradaki farkın karesiyle doğru orantılı olduğu durumlarıdır.

Kayıp fonksiyonu en düşük-en iyi, en yüksek-en iyi ve nominal en-iyi olmak üzere üç tipte olabilir.

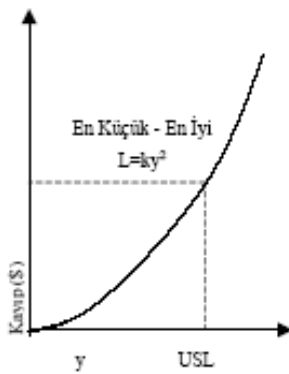
Tablo 3.1. Kayıp fonksiyonu tipleri

Karakteristik Tipi	Kayıp
En yüksek – en iyi	$k(1/y^2)$
Nominal – en iyi	$k(y/m)^2$
En düşük – en iyi	$k(y)^2$

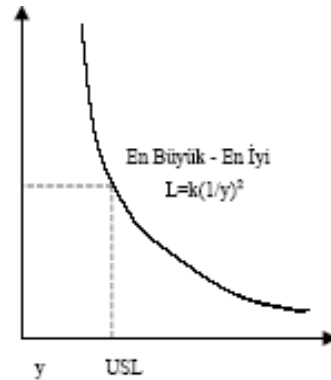
Kayıp fonksiyonu tipleri için örnek vermek gerekirse; en küçük en iyi karakteristiğine iyi bir örnek bir lokantada siparişinizin teslim edilmesi için beklenen zamandır. Etkinlik, yakıt tasarrufu da en büyük en iyinin örnekleridir. Nominal en iyiye ise fırın sıcaklığının belirli bir değerde (30°) tutulmak istenmesi örnek olabilir.

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.



Şekil 3.2a En küçük – en iyi



Şekil 3.2b En büyük – en iyi

3.2.1. Kale direği perspektifi

Endüstri devrimi beraberinde, işçiliklerde uzmanlaşmayı ve üretilen parçalarda tutarlılığı (standartlaşma) getirdi. Böylelikle özellikle montajda kullanılan parçaların birbirleriyle tam uyum halinde olmaları için, parçaların spesifikasyon limitleri dahilinde üretilmesi gerekliliği ortaya çıktı. (continual improvement: some advanced tools) Buna bir somun- cıvata örneği verilebilir. Aynı özellikteki somun ve cıvatalar aynı spesifikasyon limitlerinde olmalıdır. Philip Crosby'nin 80'li yıllarda "Quality is free" kitabında ortaya attığı bu yaklaşım "Kale Direği Sendromu" olarak adlandırıldı. Nasıl ki futbolda kale direkleri içerisinde hangi noktadan olursa olsun ağları bulduğunda gol oluyorsa, bu felsefede de mamul karakteristikleri, toleranslar dahilinde hangi değeri alırsa alsın kaliteli sayılmaktadır.

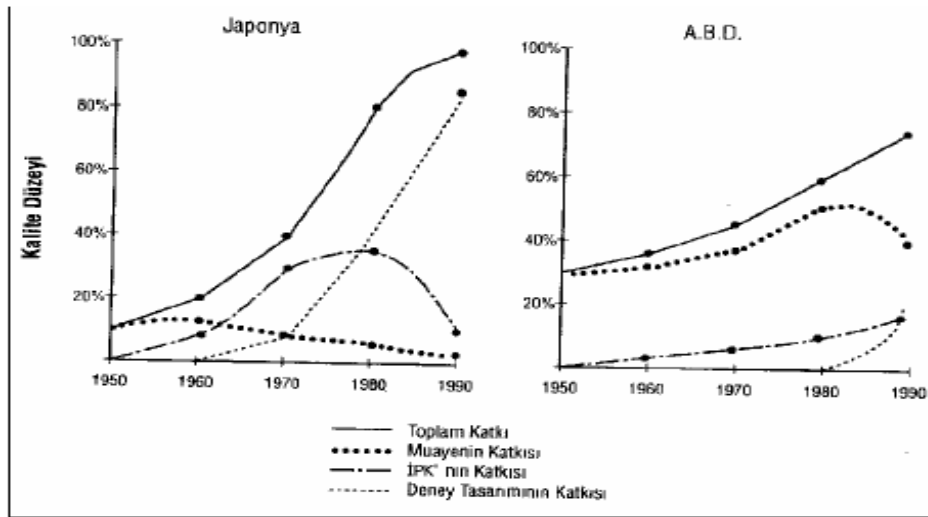
Oysa kalite, Taguchi'nin yaklaşımıyla yalnızca spesifikasyon limitleri dahilinde kalmak değil, hedef değere mümkün olduğunca yaklaşmaktır. Ürün varyasyonlarının azaltılması, hedef değerden sapmaların azaltılması ve en önemlisi müşteri memnuniyetinin ürün mükemmelliği ile sağlanması ancak böylelikle gerçekleştirilir. Kale direği yaklaşımı ve Taguchi'nin kayıp fonksiyonu karşılaştırılması aşağıda gösterilmiştir.

Bu karşılaştırma en iyi şekilde geçmişte yaşanan iki vaka ile örneklenebilir:

Ford Şirketi, imal etmekte olduğu otomobillere şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş vermiştir. Tedarikçi firmalardan biri Ford Şirketi'nin A.B.D.'deki kendi üretim tesisi, diğeri ise Japon Mazda firmasıdır. Her iki firma da şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına uygun olarak üretilip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri ortaya çıkar. Ford yetkilileri sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, A.B.D. firmasının ürettiği parça grubunun sayısal olarak diğerdinden birkaç kat daha fazla olduğunu görürler. Bunun üzerine parçaların bazı kritik performans değerlerinin olasılık dağılımlarını hesaplarlar. Burada her iki firmanın ürettiği parçaların performans ortalamaları aynı olmakla birlikte, A.B.D. firmasının parçalarının performanslarının standart sapması, dolayısıyla varyansı Mazda'ninkilerden daha fazladır. Bu durumda

A.B.D. firmasının parçaları daha sık arıza yapıp Ford'un maliyetlerini arttırmaktadırlar [17].

Geçmişte yapılan bir araştırma ABD'deki TV kullanıcılarının Sony firmasına ait TV'lerden Japon fabrikalarında üretilenleri ABD'deki fabrikalarda üretilenlerden daha yüksek oranda tercih ettiklerini göstermiş. TV'lerin özelliklerinin ve tasarımlarının aynı olmasına rağmen tercihlerdeki bu farklılığın sebebi araştırıldığında, aşağıdaki şekilde ifade edildiği gibi, TV'lerin görsel özellikleriyle ilgili dağılımların ABD'de spesifikasyon limitleri çevresinde gerçekleşirken Japonya'da üretilenlerin hedef değerden çok az farklılıkla üretildiklerini göstermiştir. Sony Şirketinin mühendisleri televizyonu tasarlarken, verici istasyonun çok uzağında, şimşeklerin çıktığı bir sırada, aynı anda mutfak robotunun çalıştığı, hatta elektrik voltajının düştüğü zamanlarda bile müşterilerin iyi görüntü veya "sinyal" vermeyi sürdüren bir tasarımı arzu edeceklerini düşünmüşlerdir. Karlanan ya da diğer rahatsız edici "gürültüleri" üreten TV alıcılarını benimsemeyeceklerdir. Müşteriler televizyonun sesini her açtıklarında görüntü kötüleşirse bundan dehşete düşeceklerdir. Bu yüzden robüslüğün, yüksek sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak tanımlanması akla uygundur [45].



Şekil 3.3. Üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı

3.3. Sinyal / Gürültü Oranı

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımına performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirilmiştir. Performans istatistikleri, kontrol edilemeyen faktörlerin performans karakteristiği üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece kontrol faktörlerinin en uygun bileşimleri bulunmuş olacaktır [27]. Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal / gürültü (S/G) oranı tanımlanmıştır [37]. Bunlar [23]:

3.3.1. En küçük – en iyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni y 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal / gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

3.3.2. En büyük – en iyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni y 'nin hedef değeri sonsuzdur. Bu durumda sinyal / gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

3.3.3. En nominal – en iyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni y 'nin belli bir hedef değeri mevcuttur. Bu durumda sinyal / gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

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

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

Burada ;

y_i = Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri

n = Bir denemdeki test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin ortalaması

s^2 = Gözlem değerlerinin varyansıdır.

S/N oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Analizlerde S/N' nin en büyük değeri daha tercih edilir durumu belirtmektedir [27]. S/N oranı, çok sayıda tekrarı mevcut varyasyonu yansıtan tek bir değerde birleştirir.

Her üç tip problemde de, amaç S/N oranını maksimize etmektedir. Taguchi'ye göre, S/N oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da değişkenliği azaltmaktadır.

S/N oranlarının bir kaç farklı şekli, optimizasyon prosesinin amaçları esasına göre kullanılır. Bununla beraber bütün S/N oranları aşağıdaki özelliklere sahiptir[3]:

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

3.4. Taguchi'nin Üretim Kalite Sistemi Ve Deney Tasarımı

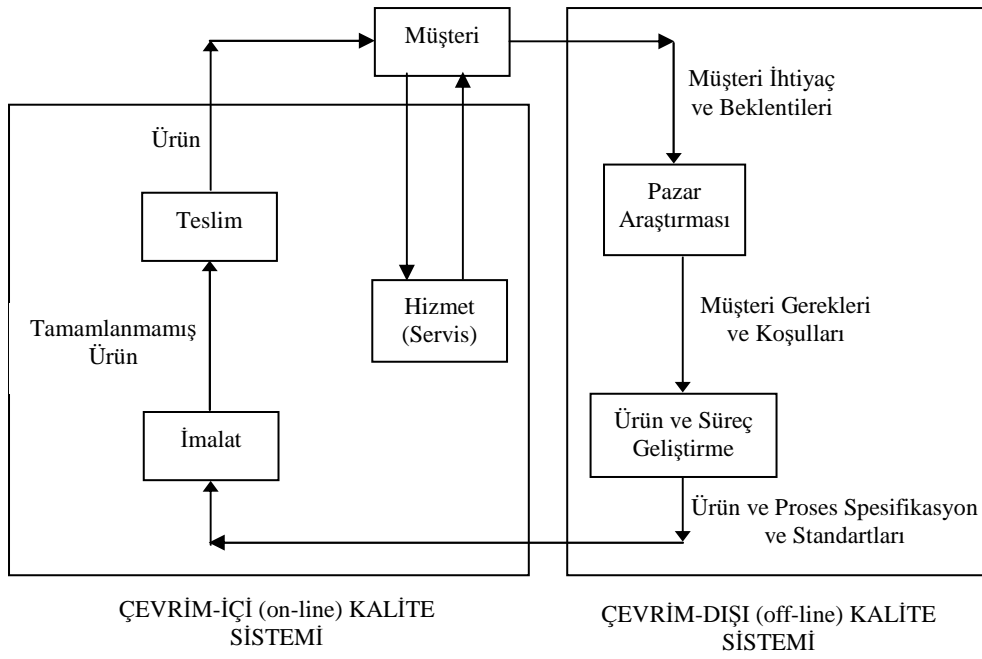
Dr. Taguchi kalite sistemini çevrim dışı kalite kontrolü ve çevrim içi kalite kontrolü olarak ikiye ayırmayı tercih etmiştir.

Çevrim dışı kalite kontrol ile ilgili olanlar aşağıdaki gibidir;

1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini doğru bir şekilde tanımlamak,
2. Müşteri beklentilerini karşılayacak bir ürün tasarlama,
3. Aynı ilkelere dayanan ve ekonomik olan bir imalat ile ürün tasarlama,
4. İmalat için uygun özellikler, standartlar, prosedürler ve donanımların geliştirilmesi.

Çevrim dışı kalite kontrol metotlarının başlıca gereksinimi belirli işletme şartları altında oluşan riskleri minimize edecek nominal parametre tasarım değerlerinin belirlenmesidir. Sistemin çıktısı yada özelliklerindeki değişkenliğin derecesin kontrol etmesi istenir [33]. Çevrim dışı kalite kontrol' ün iki bölümü vardır; ürün tasarımı ve proses tasarımı. Ürün tasarımı süresince, yeni bir ürün geliştirilir yada varolan ürünler üzerinde değişiklikler yapılır. Burada hedef müşteri ihtiyaçlarına karşılık verebilecek ve imalatı yapabilecek bir ürün tasarlamaktır. Proses tasarımı süresince, üretim ve proses mühendisleri ürün tasarımı süresince geliştirilen özellikleri karşılayacak proses imalatını geliştirirler. Yukarıdaki faaliyetlerden 1., 2. ve 3. olanı ürün tasarımı ile ilgilidir. 4. faaliyet proses tasarımı ile ilgilidir. Taguchi, çevrim dışı kalite kontrol' ün iki bölümünün her birinden kaliteyi sağlamak için üç adımlı bir yaklaşım geliştirdi. Çevrim içi kalite kontrol, proses tasarımı süresince geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımı kullanılarak kurulan özelliklerindeki ürünlerin imalatı ile ilişkilidir. Eğer gelişme için müşterilerden ortaya çıkan fırsatlar geri beslenirse, ürün ve proses tasarımı da düzeltilebilir. Taguchi çevrim içi kalite kontrolü 2 bölümde tanımlar. 1. Bölüm üç forma sahip olan ürün kalite kontrol metotlarıdır. Sahip olduğu bu üç form ise; tanı ve ayarlama, tahmin ve düzeltme, ölçme ve eylemdir. 2. Bölüm müşteri ilişkileridir [27].

Taguchi'nin üretim kalite felsefesini anlayabilmek için şekil de verilen üretim / kalite çemberini referans olarak kullanmak yararlı olacaktır.



Şekil 3.4. Üretim kalite çemberi

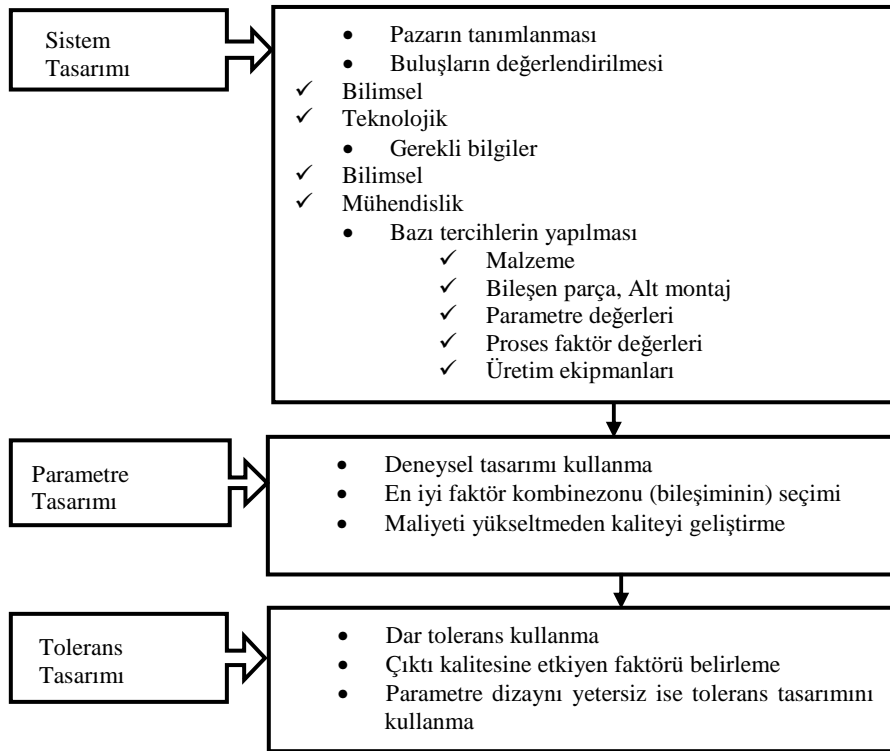
Bu çember çevresinde yer alan ve kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetleri, Taguchi iki bölüme ayırmaktadır.

3.4.1. Off-line kalite kontrol

Taguchi off-line kalite kontrolü,

1. Ürün Tasarımı ve
2. Proses Tasarımı

açısından ikiye ayırıyor. Ürün tasarımı aşamasında yeni bir ürün gerçekleştirilir ya da mevcut ürünün tasarımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır. Ürün tasarımı aşamasında yeni bir ürün gerçekleştirilir ya da mevcut ürünün tasarımı üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılır.

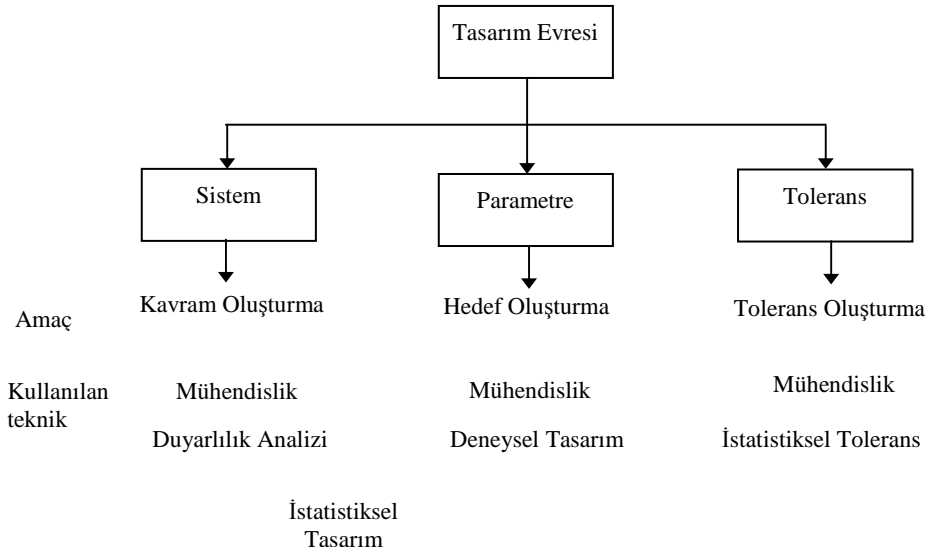


Şekil 3.5. Taguchi metodunun sistematığı

Buradaki amaç, müşteri isteklerini karşılayabilecek ve üretilebilir ürün tasarlamaktır. Proses tasarımı aşamasında ise ürün tasarımı aşamasında spesifikasyonları karşılayacak üretim prosesleri geliştirilir. Kalite sağlama aşaması olarak, hem ürün tasarımı için hem de proses tasarımı için, üç kalite aşaması tanımlıyor. Bunlar yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi;

1. Sistem tasarımı,
2. Parametre tasarımı ve
3. Tolerans tasarımı aşamalarıdır.

Kalite yaratmak için kullanılan üç tasarım aşaması aşağıdaki Şekil 3.6.'da özetlenmiştir:



Şekil 3.6. Tasarımın üç aşaması

3.4.1.1. Sistem tasarımı

Bu aşamada Şekil 3.5.'de de görüldüğü gibi prototip dizaynının geliştirilmesi için gerekli yatırımlar ve tercihlerle ilgili kararlar verilir. Müşterilerin ihtiyaçlarını ve işletmenin kendi yeteneklerini kullanarak bir ilk ürün tasarımı geliştirilir. Bu tasarım performans karakteristiklerinin değerini etkileyen parametre değerlerinin belirlenmesini içerir. Ürün tasarımı aşamasında malzeme, parça, bileşen parça ve alt montajların seçimi, yeni bilimsel ve teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesi, makine ve teçhizatlarla ilgili yeni kararlar bu aşamada gerçekleştirilir. Hiç şüphesiz ki bunca karmaşık ve kendi içlerinde etkileşimleri olan birbirinden farklı üretim faktörlerini bir araya getirerek ideal bir yapı/sistem oluşturmak neredeyse imkansızdır. Kaldı ki burada amaç tasarımın kendisinden gerçekleştirmesi beklenen ihtiyaçları tam anlamıyla karşılayacak kadar “iyi” aynı zamanda da “zarif” olmasını sağlamaktır. Tasarımcının bunca farklı özellik ve etkideki faktörlerle başa çıkabilmesi için öncelikle imalat prosesinde etkili olan faktörlerden hangilerinin kontrol edilebilir hangilerininse kontrol edilemez (gürültü) faktörler olduğuna karar vermektir.

Prototip ürün parametre değerleri seçimi vb., süreç tasarımı aşamasında üretim ekipmanı ve geçici süreç faktörleri değerlerinin seçimi söz konusudur Proses

üzerinde yapılan çalışmalar ise müşteri tatminini sağlayacak spesifikasyonlara sahip belirlenen toleranslar içinde bir ürünü üretebilecek en az maliyetli üretim sistemini sağlama ana hedefi etrafında yapılır. Kalitenin tasarımı ve geliştirilmesi çalışmalarının yatırıma dönük aşaması da denilebilir. Kalite dizaynının ürüne ve prosese yönelik olmak üzere iki yönü vardır. Bir karakteristiğin istenen seviyede müşteri tatmini sağlaması için ürünün ve prosesin güçlü bir tasarımdan geçmesi gerekir [27].

Bir ürün dizaynında yapılacak sistem tasarımı faaliyetleri temel prototip tasarımının geliştirilmesinden ibarettir. Geliştirme işlemleri tam tatmin sağlayacak olan hedef değerden minimum sapma ile yapılmalıdır. Bunun için Pazar araştırması, teknolojik gelişmeler ve bilimsel buluşlardan faydalanılabilir. Ayrıca bu konuda malzeme alımında, ürün ağacındaki parçaların spesifikasyonlarının iyileştirilmesinde, tezgah ve takımların seçimi ve iyileştirilmesinde bir takım kararlar verilir. Örneğin daha hassas bir tezgah gerekiyorsa bununla ilgili değerlendirmeler ve karar vermeler bu aşamada gerçekleşir.

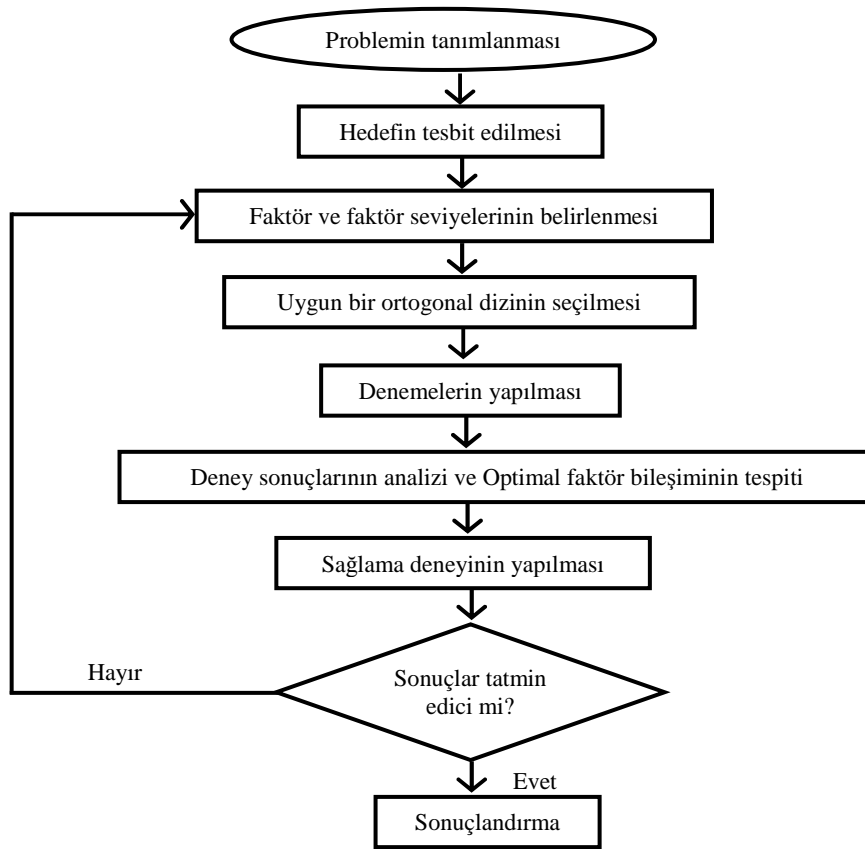
Burada amaç en ideal kalite ve mümkün olduğunca minimum maliyetle belirlenen tolerans limitleri içerisinde üretebilecek bir üretim sistemi tasarlamaktır.

3.4.1.2. Parametre tasarımı

Taguchi'ye göre, ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de proses tasarımı için, "parametre tasarımı" aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin, malzeme (çelik, lastik, kağıt, plastik vb.) formülasyon değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi optimal değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir.

Parametre tasarımında amaç üründe ortaya çıkabilecek farklılığı (varyasyonu) asgariye indirerek, ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktadır. Proses parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat proses parametreleri (hat hızı gibi çeşitli hızlar, fırın sıcaklığı gibi çeşitli sıcaklıklar, çeşitli basınçlar ve çeşitli süreler) için optimal yüzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her

iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve proseste, varyasyon (hedef değerlerinden farklılık, yani kalitesizlik) yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün ve prosesteki varyasyonu en aza indirmektir. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve proses tasarımına “Robüst Tasarım” denmektedir. Burada robüst, kontrol edilemeyen faktörlere örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Parametre tasarımı akış şeması

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 3.2’ de görüldüğü gibi bu deney planında kontrol faktörleri için ayrı bir dizi (iç dizi) ve hata (kontrol edilmeyen) faktörleri için ayrı bir dizi (dış dizi) bulunmaktadır.

Tablo 3.2 İç / dış ortogonal dizi [34]

L ₈ ORTOGONAL DİZİSİ								DIŞ DİZİ (NOISE, HATA FAK.)				
İÇ DİZİ (KONTROL FAK.)								Z	1	2	2	1
								Y	1	2	1	2
								X	1	1	2	2
								VERİLER				
Deneme No	A	B	C	D	E	F	G	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	*	*	*	*	

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 gözükmemektedir. 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 [38].

3.4.1.3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı aşaması, ürün ve proses üzerinde etkili olan kontrol faktörlerine ait tolerans aralıklarını daraltmayı bu yolla üründe gerçekleşebilecek farklılıkları (varyasyonları) en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus toleransların azaltılmasının maliyetleri arttırıcı etkisinin gözden kaçırılmamasıdır. Toleransları azaltmak, üründe meydana gelecek varyansları azaltmak için maliyete katlanmak gerekir.

Mamul (proses) geliştirirken bir problemle karşılaşıldığında tolerans tasarımı aşamasına geçilmeden, ilk olarak parametre tasarımının kullanılması daha uygundur. Parametre tasarımı çalışmaları sonucunda istenilen hedefe varılamadığı takdirde

yapılacak bir takım çalışmalardan ibarettir. Gözlenen değerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur. Geniş bir tolerans hiçbir zaman tercih edilmez. İkinci aşamadaki hedef tasarım parametre değerleri için kabul edilebilir toleranslar belirlenir. Bu aşamada tasarım toleransları uygulamaya konulur. Parametre tasarımıyla elde edilen azaltılmış değişkenlik yeterli değilse tolerans tasarımı uygulanır. Tolerans tasarımı aşamasında, varyansları, çıktı değişimlerinde büyük etkiye yol açan ürün parametreleri ile süreç faktörleri toleranslarının daraltılmasına çalışılır. Tolerans tasarımı, daha iyi derece malzeme, parça, makine alımı için para harcayarak gerçekleştirilebilir. Tolerans tasarımında, toleransları daraltarak motivasyonu 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 kullanabileceği halde pahalılarını kullanmak olacaktır.

3.4.2. On-line kalite kontrolü

3.4.2.1. Üretim kalite kontrol metotları

1. Proses tanı ve ayarlama: Proses düzenli aralıklarla gözlenir. Gerekirse düzeltme ve ayarlamalar yapılır.
2. Tahmin ve düzeltme: Bir çoklu proses parametresi düzenli aralıklarla ölçülür. Veriler prosesteki proje eğilimini hedeflemekte kullanılır. Proses hedef değerden çok uzaklaştığında proses doğru duruma ayarlanır. Bu metot geri besleme veya ileri beslemeli metot olarak da adlandırılır.
3. Ölçme ve eylem: Kalitenin gözden geçirilmesi muayene ile olur. Üretilen her parça gözden geçirilir. Kusurlu parçalar yeniden üretilir ya da hurdaya ayrılır. Bu üretim kalite kontrolün en pahalı ve kullanılması arzu edilmeyen şeklidir[27].

3.4.2.2. Müşteri ilişkileri

Müşteri hizmeti, hatalı ürünlerin değiştirilmesini veya tamir edilmesini ya da kayıpların karşılanmasını içerebilir. Düzeltici eylem için organizasyon içinde ilgili

fonksiyonların geri bildirimini sağlanmalıdır[27].

Tablo 3.3. Taguchi'nin kalite sistemi [27]

		Konular	Kalite sağlama aşamaları
Çevrim dışı kalite kontrol	1. Aşama Ürün Tasarımı	1. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin tanımlanması	1. Sistem tasarımı
		2. Müşteri ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak için bir ürün tasarlama	2. Parametre tasarımı
		3. Aynı ilkelere dayanan ve ekonomik olan bir imalat ile ürün tasarlama,	3. Tolerans tasarımı
	2. Aşama Parametre Tasarımı	1. İmalat için uygun özellikler, standartlar, prosedürler ve donanımların geliştirilmesi.	1. Sistem tasarımı
			2. Parametre tasarımı
			3. Tolerans tasarımı
Çevrim içi kalite kontrol	1. Aşama Üretim	1. Proses tasarımı süresince geliştirilen prosedürleri kullanarak ürün tasarımı süresince kurulan özelliklerdeki ürünlerin imalini yapmak.	Proses tanı ve ayarlama
			tahmin ve düzeltme
			ölçme ve eylem
	2. Aşama Müşteri İlişkileri	1. Proses tasarımının imalatını yapmak, ürün geliştirmek için problemlerdeki gerekli bilgileri kullanmak ve müşterilere hizmet sağlamak.	1. Tamir, yerleştirme
			2. Problemlerden geri besleme
			3. Ürün ve proses özelliklerinde değişme

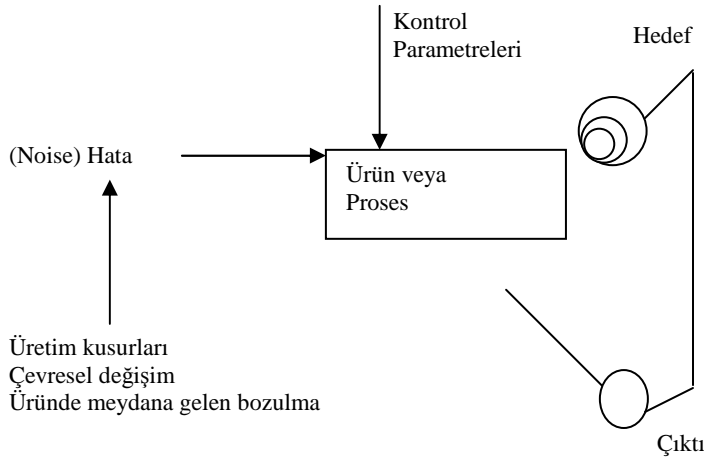
3.5. Robust Tasarım

Robust tasarım düşük maliyette ürün kalitesini, üretilebilirliği ve güvenilirliğini geliştirmek için önemli bir metottur. Bu metot Taguchi'nin önderliğinde 1980 yılında bir çok Amerikan şirketinin ürün ve imalat proses tasarımlarında önemli kalite gelişmeleriyle sonuçlandı.

Robust tasarımın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel metodun çok önemli olduğu kabul edilir. Bu metotlar sinyal/gürültü oranı, ortogonal diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir. Mühendisler arasında Robust tasarımın kullanılması, daha etkin gelişmesi istatistiksel etkinliği kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur [48].

3.5.1. Robust tasarım metodu ve operasyonel adımları

Robust tasarımın ana fikri, performansı olumsuz etkileyen imalat eksiklikleri, çevresel değişkenlikler ve kötüleşme gibi gürültü faktörlerinin etkisini azaltmaktır.



Şekil 3.8. Robust dizaynı [48]

Gürültü faktörleri genellikle pahalı ya da üretim süresince kontrolü mümkün değildirler, fakat deneyler süresince kontrol edilebilir olmalıdırlar. Üretim yanıtı gürültü faktörü olması sebebiyle performans hedefinden sapar. Doğrusal olmayan ilişkilerin ortalamalarının alınmasıyla robust tasarım metodu gürültü faktörlerinin etkisini bastırarak kontrol faktör ayarlarını tanımlar ve böylece düşük maliyette hedeften alınan karşılığın değişkenliği azaltılır. Bir sonuç olarak robust tasarım metodu toplam kazancı, ürün yaşam süresini arttırmayı, kusurlularını azaltmayı ve ürün performansını geliştirmeyi sağlar.

Robust tasarım metodunun adımları:

1. Problem ve amacın durumu
2. Yanıtların, kontrol faktörlerinin ve gürültü kaynaklarının tanımlanması,
3. Yanıtlar, kontroller ve gürültü faktörlerinin arasındaki ilişkilere çalışılarak bir deney planının yapılması,
4. Verilerin toplanması ve deneyin çalıştırılması, ürün ve proses tasarımını

geliştirmeyi tahmin eden kontrol faktör ayarlarını belirterek veri analizi yapılması,
5. Eğer ürün ve proses tasarımını geliştiren 4. adımdaki hareketlerde kontrol faktör ayarları tamamlandıysa onaylanarak küçük bir deney çalıştırılır.

3.6. Taguchi Deneysel Tasarım Metodunun Prosedürleri

Taguchi'nin deneysel tasarımı aşağıdaki temel adımları içermektedir [38]:

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 (gürültü / noise) 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 etkileşimlerinin sütunlara atanması
9. Kalite kayıp fonksiyonları ve performans istatistiklerinin seçilmesi
10. Deneylerin yapılması ve sonuçlarının kaydedilmesi
11. Veri analizi ve kontrol edilebilen değişkenlerin en iyi değerlerinin belirlenmesi
12. Doğrulama deneyinin yapılması ve deneyin sonuçlandırılması

3.6.1. Çözülecek olan problemin belirlenmesi

Kalite geliştirme olayı statik ve bir kerede halledilen bir hadise değildir. Rekabet şartlarının acımasızlığına karşı bunu sürekli yapmak zaruri olup zırh görevi yapmaktadır. Gerek hizmet ve gerekse imalat sektöründe problemin yokluğunu kabul etmek ve gelişmeye kapıları kapatmak demektir. İşletmenin güçlü olabilmesi açısından daima bir takım problemlerin oluşabileceğini kabul edip mevcut problemlerin çözümüne bakmak ve her problem elemine edildikçe yenilerini oluşturup devam etmek zaruri bir hal almıştır.

İmalat sayesinde mevcut belirgin problemler bizi bir süre daha uğraştıracaktır. Bir probleme çözüm getirmek potansiyel olarak düşünmenin ötesinde somut olarak ele almak mümkündür. Bir problemin çözümünün mümkün olabilmesi için öncelikle o problemin neleri kastettiğine bakmak gerekçe problem ismini kazanmışsa şayet, çözümlenmeye aday olacak demektir.

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

3.6.2. Performans karakteristikleri ve ölçüm sisteminin belirlenmesi

Performans karakteristiklerinin ve deney tamamlandığında ulaşılmak istenen sonucun tanımlanmasını içerir. Aslında hedef belirlemekle problemin tanımlanması aynı şeylerdir. Potansiyel bir problemin çözüm bekler hale getirilmesi bir bakıma etrafı çizilmiş, soyluktan kurtarılmış ve hedefi belirlenmiş olması demektir. Hedef belirlenmiş çalışmalarına daha önce belirlenmiş ölçülerle başlanır. Eğer mümkünse müşteri görüşleri ve eğilimlerinden faydalanılarak hedef daha hassaslaştırılır. Meydana gelen sapmaların ne gibi kayıplar getirdiği iyice belirlenir. Söz konusu kayıplar itina kaybı, maliyetlerin yükselmesi, müşteri tatminsizliği olabilir. Bunlar arasından maliyet kaybını ölçmek kolay iken diğerlerini ölçmek gayet zordur, tesirleri uzun dönemde ortaya çıkar. Taguchi'nin üzerinde özellikle durduğu kayıplarda esasında uzun dönemde etkilerini göstermesi beklenen bu tür kayıplardır. Zorlu rekabet şartlarında itibarda ve dolayısıyla müşterilerde meydana gelebilecek kayıplar uzun dönemde önemli maliyet kayıpları haline dönüşür. Dolayısı ile hedefin bu tür kayıpları önleyebilecek hassasiyette olmasına ve de müşteri tatminini azami derecede sağlayabilmesine özen göstermek gerekir.

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.

3.6.3. Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seçimi ve seviyelerinin belirlenmesi

Hedefi belirlenmiş bir problemin çözümüne bu adımdan itibaren aktif olarak başlanır. İlk olarak meydana gelen hedeften sapmaların kaynakları araştırılır. Bu kaynaklara faktör adını veriyoruz. Faktör sonuç değişkenleri üzerinde belli etkilere sahip olan herhangi bir etken olabilir. Bu bakımdan prosesi çok iyi tetkik etmek gerekir. Faktör tespiti yapılırken mamul ve prosesle ilgili kişilerden bir grup kurulur ve bütün proses göz önüne alınır. Beyin fırtınası, akış şeması veya balık kılçığı diyagramı incelenecek faktörlerin belirlenmesinde yardımcı olabilir. Biz burada uygun araçlarla doğru veriyi toplamaya çalışacağız. Çözüme ulaşmanın yolu veriye dayandığına göre, veri toplama da istatistiğe dayalı kontrol için kritik öneme sahiptir. Bu konuda dikkat edilmesi gerekli konular şu başlıklar altında toplanabilir:

Hedefler net ve açık tanımlanmalıdır;

Veri toplanmadan önce, bu verinin ne işe yarayacağı ve hangi amaçlar doğrultusunda kullanılacağı belirlenmelidir. Bunun için de kontrol edilecek süreçlerin önceden belirlenmiş olması şarttır. Kalitede veri toplamanın amaçları şunlar olabilir:

- a) Üretim sürecinin gözlenmesi ve denetimi (Sürekli İyileştirmeye yönelik)
- b) Uygunsuzluk analizi
- c) Muayene/deney

Ölçümlerin güvenilirliği sağlanmalıdır;

Ölçüm cihazlarının kalibrasyonu, ölçüm aralığı, çevre şartları ve nesnellik gibi faktörler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca OT-VT (Otomatik Tanıma / Veri Toplama) tekniklerinin kullanılması, veri toplarken oluşacak hız kaybı ve kişiye bağlı hataların önüne geçecektir. Tüm bunlardan sonra toplanan verilerin, kullanılacak istatistik yöntemine uygun olarak kaydedilmesi ve sonraki işlemleri kolaylaştıracak şekilde bir araya getirilmesi gerekir. Verilerin alındığı tarih/saat, veriyi kaydeden şahıs, üretimin yapıldığı donanım ve üreten kişi, üretilen parti (lot) gibi kritik bilgiler, mutlaka veriyle birlikte işlenmelidir. Ayrıca verinin görsel olarak analizini çabuklaştıracak

şekilde düzenlenmesi de (örneğin çetele tablosu tutulması) hataların daha çabuk tespitini sağlar.

Beyin fırtınası; işletme problemlerine çözüm aranırken ilgili personelin bir araya gelip her birinin konu hakkındaki kanaat ve çözüm önerilerini dile getirdiği bir toplantıdan ibarettir. Bu etkin istişari toplantıya her seviyeden işgören katılabilmektedir. Görüşler ifade edildikten sonra oylama usulü ile etkin çözüme doğru yol alınır. Oylamaya her görüş dahil edilir. Metod kullanılarak kalite karakersizliği üzerinde etkili olan faktörler belirlenir. Mevcut metodlar arasında en etkin olanı çoğunlukla bu metot olmalıdır. Bütün grafikleme teknikleri kullanıcının dikkatini problemin gerçekten önemli boyutlarına çekmeyi sağlar. Bunun yanında problemi veya çözümü tüm boyutlarıyla geniş biçimde düşünmek önemlidir. Beyin fırtınası 2 şekilde kullanılabilir.

1. Yapılandırılmalı - Gruptaki her kişi kendi sırası geldiğinde fikrini söyler.
2. Yapılandırılmaması - Grup üyeleri akıllarına geldiğinde fikirlerini söyler.

Bu teknik aşağıdaki gibi uygulanabilir.

1. Beyin fırtınası yapılacak konu hakkında herkes hemfikir olmalıdır. Konuyu tahtaya yazın.
2. Her fikri tahtaya veya bir çizelgeye yazın.
3. Asla fikirleri eleştirmeyin.
4. Yazılanları yorumlamadan söyleyenin kelimeleriyle yazın.
5. Fikir çıkmayınca kadar birkaç tur döndürün
6. Turlar bitince fikirlerin anlaşılması için tartışın

Proses Şeması; veya İş Akış Şeması faktör belirlemede kullanılan bir başka yöntemdir. Probleme belirlenen hedefin gerçekleştirilmesinde nihai olarak varılan noktaya kadar proses baştan başa şematize edilir. Bunun vasıtasıyla her bir işlem adımının etkileri tartışılarak faktörler belirlenmeye çalışılır.

Balık kılçığı diyagramı; Ishikawa kalite çemberlerinin ve balık kılçığı diyagramının mucididir. İshikawa kalitenin öğelerini dört grupta toplamaktadır ;

1. Müşteri ihtiyaçlarının tatmini,
2. Müşterinin merkeze alınması,
3. Bilgi, süreç, hizmet ve amaç kalitesinin geniş boyutta düşünülmesi,
4. Tam kalite, tam fiyat ve tam miktar.

İstatistiksel yöntemler kullanarak sonuçlardan hareketle sebeplere ulaşabildiğimize göre, sonuçlarla bunları doğuran sebepler arasındaki çapraşık ilişkinin ortaya çıkarılması ve görsel olarak masaya konması gerekmektedir. Bunu ise en kolay olarak Sebep-Sonuç Diyagramları ile yapabiliriz. İlk defa 1953 yılında Kaoru Ishikawa tarafından kullanılan bu metot, daha sonra Japonya'da büyük ilgi görmüş ve Japon Endüstri Standartları (JIS) Kalite Kontrol terminolojisine dahil edilmiştir. Orada geçen tanımıyla Sebep-Sonuç Diyagramı, "kalite karakteristikleriyle etmenler arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram"dır. "Balık kılçığı diyagramı" olarak da bilinen bu diyagram, omurgasını ilgili kalite karakteristiğinin (sonuç) oluşturduğu, sebeplerin ise önemine göre (ana sebep / tali sebep) kılçıkları teşkil ettiği bir gösterim metodudur. Bu diyagramın hazırlanmasında öncelikle araştırılacak karakteristik, çizilen omurganın sağına yazılır. Daha sonra birinci derecede etki eden faktörler büyük kılçıklarla, onlara bağlı ikincil etkenler de küçük kılçıklarla gösterilir [38].

Balık kılçığı diyagramı aşağıdaki gibi uygulanabilir;

1. Diyagramı çizmek için gereken sebepler beyin fırtınası veya takım üyeleri tarafından önceden hazırlanmış basit kontrol çizelgeleri kullanılarak üretilir.
2. Sebep-sonuç diyagramı oluşturulur.
 - a) Problem ifadesini sağdaki kutunun içine yazılır.
 - b) Temel neden kategorileri yazılır. Üretim için metod, makina, malzeme ve insan gücü
 - c) Beyin fırtınasında bulunan fikirler, uygun ana kategorilere yerleştirilir.
 - d) Her sebep için "Bu neden oluştu?" sorusu sorulur ve cevapları ana sebeplerin dalları olarak listelenir.
3. Yorumlama

Problemin en temel sebeplerini bulmak için;

 - a) Tekrarlı oluşan sebepleri incelenir.

- b) Grup içinde anlaşmaya varılır. Nominal grup tekniği kullanılabilir.
- c) Farklı sebeplerin sıklığını belirlemek için kontrol çizelgeleri oluşturulur.

Yukarıdaki metotlardan biri veya bir kaç birlikte kullanılarak faktörler belirlenir.

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 elimine etmek ve mamulün problemiyle ilgili ya da kalite değerini arttırmaya katkıda bulunan önemli birkaç faktörü belirlemektir.

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin kaç değişik seviyede inceleneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörlerin kademeleri (seviyeleri) en az iki olmak üzere üç veya daha çok olabilir. Ancak seviyeleri iki veya üç olarak belirlemek büyük kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca gerekli toplam serbestlik derecesi faktörler için seviye sayılarının bir fonksiyonudur. Bir faktör için serbestlik derecesinin o faktör için kullanılan seviye sayısının bir eksiğine eşit olduğu bilinmektedir. Faktörlerin yanında bir de faktörler arasında olması beklenen karşılıklı etkileşimlerde belirlenir. Bu tür karşılıklı etkileşimlere İnteraksiyon denir. Proseste bazen faktörlerin bir arada olması dolayısıyla karşılıklı etkileştikleri ve sapmalara bu şekilde de kaynaklık ettikleri görülebilir. Örnek olarak sıcaklığın bir faktör ve nemin bir faktör olduğu durumlarda sıcaklık ve nem etkileşimi de ayrıca bir faktör olarak etki edebilmektedir. Şayet bu tür faktörler varsa bunlara ait olabilecek etkileşimleri de bir faktör olarak göz önünde bulundurup belirlemek gerekir. Eğer faktörler arasında bir etkileşim söz konusu ise bu etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir. Toplam serbestlik derecesi her bir faktörün serbestlik derecesinin toplamına eşittir. Seviye sayısını arttırmakla toplam serbestlik sayısı artacak bu da yapılması gereken test (deney) sayısını arttıracaktır. Her bir faktör için serbestlik derecesinin bir olması toplam test sayısını en küçüklemektedir. Deneyin ilk aşamasında birçok faktör elenir ve kalanları deney hacminde, maliyet ve zamanı arttıran bir artışa neden olmadan birkaç seviyede incelenir.

3.6.4. Faktörlerin kontrol ve hata (gürültü / noise) faktörleri olarak ayrılması

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

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

Gürültü faktörleri; imalatçının doğrudan kontrol edemediği müşterinin çevresi ve kullanımına göre çeşitlilik gösteren faktörlerdir. Taguchi gürültü faktörlerini üç şekilde tanımlar [44].

Dışsal gürültü: Çevre şartlarının değişmesi sonucu oluşan gürültü tipidir. Örneğin toz, sıcaklık nem ya da yüksek voltaj.

İçsel gürültü: Mevcut şartların değerlerinden düşmesi sonucu oluşur. Ürün aşınması, malzeme eskimesi, zaman ya da kullanılması ile malzemelerde meydana gelen değişiklikler. Mamul gürültüsü: montaj prosesleri, imalat donanımı, malzemelerdeki değişkenlik sebebiyle ürünlerin farklılıklarının aynı özelliklere inşa edilmesidir. Parametre tasarımının adımları deneysel tasarımları kullanılması ile ürün karakteristiklerindeki kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini tanımlamayı kapsar. Amaç kontrol edilebilir faktörleri ayarlamaktır.

3.6.5. 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 tablolar 3.2 ve 33'de gösterilmektedir [43].

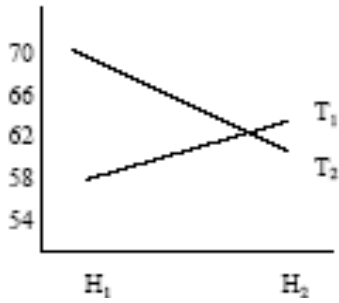
Tablo 3. 4a Etkileşimli durum

	T1	T2	Toplam
H1	52	70	122
H2	65	63	128
Top.	117	133	250

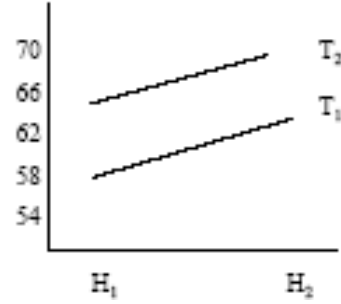
Tablo 3. 4b Etkileşimsiz durum

	T1	T2	Toplam
H1	57	65	122
H2	60	68	128
Top.	117	133	250

Şekillerden de anlaşılacağı gibi etkileşimli durumda çizgiler kesişir, diğer durumda kesişmez.



Şekil 3. 9a Etkileşimli durum grafiği



Şekil 3. 9b Etkileşimsiz durum grafiği

53

İki faktör arasında etkileşim olup olmadığını daha önceden belirlemek için bir metot yoktur. Bu konuda deneyimlerden ya da daha önceki Taguchi Deneylerinden yararlanılabilir. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, bu faktörlerin dışında bir de etkileşimlerin oluşturduğu bir sütun bulunur ve etkileşimler de faktör gibi kabul edilip diziye atanır [36].

Karşılaşılabilecek bazı bileşik etkilerin deney planına katılması seçilecek deney planının boyutunu artırır. Kaynak sınırlaması nedeniyle başlangıçta daha büyük deney seçilerek 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 [7].

3.6.6. Ortogonal diziler

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal düzenin en önemli özelliği, bir çok faktörün minimum sayıda test ile değerlendirilmesini sağlanması ve klasik metottan farklı olarak faktör kademelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yapmayı önermesidir [22,24].

Örneğin; 2 seviyeli ve 7 faktörden oluşan bir deneyde geleneksel yol takip 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 istatistikçiler kısmi faktöriyel deneyler olarak 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 L8 dizisi bu deney için uygundur. Yapılacak 8 deney ile istenilen analizler yapılabilir ve $128 - 8 = 120$ deney yapmak için geçen süre ve maliyetten tasarruf edilir. Aynı zamanda istatistiksel açıdan da proses ya da tasarımların genellikle bağıl olarak daha az parametre ile de uygun olarak ifade edilebileceği göz önüne alındığında tam faktöriyel tasarım ve denemenin çok gerekli olmadığı da bir gerçektir[35].

3.6.6.1. Ortogonal dizilerin çeşitleri

Bu dizilere ortogonal dizi denmesinin sebebi, her faktörde eşit miktarda farklı kademelerin bulunmasıdır. Bunun testini yapmak istediğimizde 1'lere (-1), 2'lere de (+1) değerlerini vererek her faktöre ait sütunu toplarsak sonucun 0 olduğunu görürüz. Bu da eşit miktarda farklı kademelerin bulunduğu işaretidir. Örnek olarak L8 dizisindeki 6. faktörü ele alalım.

$$\text{Toplam} = (-1)+(1)+(1)+(-1)+(-1)+(1)+(1)+(-1) = 4*(-1)+4*(1) = 0$$

Tablo 3.5. Teklif edilen deneysel dizaynlar

2k Dizaynı		Taguchi Dizaynı																		
Deneme No	Faktör No							L8 Ortogonal Dizisi				L9 Ortogonal Dizisi								
	1	2	3	4	5	6	7	Deneme No	1	2	3	4	5	6	7	Deneme No	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
4	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2
5	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
6	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
.
.
128	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Bu işlem herhangi bir ortogonal dizinin herhangi bir sütunu için de aynı sonucu

Ortogonal diziler 2 kademeli, 3 kademeli ve 2 ve 3 kademeli olmak üzere üç türlü belirlenmişlerdir. Belirlenen bu diziler standart olup Taguchi deneysel tasarımının temel taşlarını oluştururlar. Taguchi metodu kullanılarak yapılacak her deney bu standart dizilerden birini seçip kullanmak zorundadır. Şayet başlangıçta faktörlere uygun dizi bulamadıysa faktörlerde bir takım düzenlemeler yapılmalıdır. En çok kullanılan diziler 2 seviyeliler için L4, L8, L16 ve L32 iken 3 seviyeliler için L9, L18 ve L27 dizileri olmaktadır. Her iki seviyenin karışık olarak kullanıldığı dizilerden bazıları L18, L36 ve L54 dizileridir. Burada L harfi ortogonal diziyi, bitişiğindeki rakamsa dizinin öngördüğü deneme sayısını gösterir. Dizilerin seçimi kademe sayısı ve toplam serbestlik derecesi yardımıyla yapılır. kademe sayısı yukarıda açıklandığı gibi dizilerin sınıflandırılmasında belirleyici unsurdur. Bu bakımdan 2 seviyeli faktör gurubuna 3 kademeli bir diziyi teklif edemezsiniz. Eğer kademelerde karışıklık varsa düzeltmelere gidilerek faktörlerdeki kademe homojenliği sağlanır. Bundan sonra toplam serbestlik derecesine bakılır[38].

3.6.6.2. 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 eşitsizlikler sağlanmalıdır.

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

$V_{LN} \geq V$ (Faktör etkileşimleri için gerekli olan miktar) [38]

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

Dizide sütunlara atanan faktörler ya tek başına faktör veya iki faktörün interaksyonu olabilmektedir. Serbestlik dereceleri sırasıyla şöyle hesaplanır:

V_A : A faktörünün serbestlik derecesi

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

K_A : A faktörünün kademe sayısı

V_A : $k_A - 1$

$V_{A \times B}$: $(V_A) (V_B)$

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

$V_T = N - 1$

V_T : Dizinin toplam serbestlik derecesi

N: Dizinin toplam veri sayısı

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

Tablo 3.6. Faktör ve etkileşimlerin serbestlik derecesi ve toplam serbestlik derecesi

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

Faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplamıdır. Tablo 2’de gösterildiği gibi toplam serbestlik derecesi 6 olarak bulunmuştur.

Serbestlik derecesi belli olmuş bir faktör gurubu için ortogonal dizi seçimi rahatlıkla yapılabilir. Serbestlik derecesi hangi birinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilir. Uygun düşme hadisesine gelince toplam serbestlik derecesi en fazla, seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Yoksa eşit olursa o zaman bir üst diziyi seçmek zorunda kalınacaktır. O halde mevcut serbestlik derecesine 1 eklendiğinde eldeki dizilerden hangisine eşit olursa o seçilir. Şayet hiç birine eşit olmuyor da herhangi ikisinin arasında kalıyorsa bir alt değil bir üstteki seçilir. Daha sonra seçilen dizinin sütunlarına faktörler atanır.

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

Bir faktör grubunun toplam serbestlik derecesinin gruptaki tüm faktörlerin ayrı ayrı serbestlik derecelerinin toplamı olduğu daha önce belirtilmişti. Ayrıca her ortogonal dizideki kolonların serbestlik derecesi kolondaki seviye adedinin bir eksiği olup, kolonların toplam serbestlik derecesi tek tek kolonların serbestlik derecelerinin toplamıdır. Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, doğal olarak etkileşimlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu durumda daha büyük bir ortogonal dizinin kullanımına ihtiyaç duyulur. Ortogonal dizilerde etkileşimli faktörler için de sütunlar bulunmaktadır. Etkileşim sütununun serbestlik derecesi etkileşen faktörlerin serbestlik derecesi çarpılarak elde edilir. Toplam serbestlik derecesi bulunurken etkileşim sütununun serbestlik derecesi de ilave edilir.

3.6.7. Deneyin yapılması (dataların toplanması)

Deney ortogonal dizinin öngördüğü denemelerden oluşur. Bu denemelerin her biri faktörlerin değişik şartlarına göre ayarlanmış olup hangi şartın karakteristik üzerinde nasıl etki yaptığını belirler. Her deneme sonucunda elimize bir takım veriler geçmiş olur. Bu verilerin niteliği ve niceliği hakkında deneyi yapmadan önce bir takım kararlar verilir. Bunların önemli olanlarını şöyle sıralamak mümkündür.

1. Etkin bir ölçüm sistemi
2. Denemelerde yapılması gereken tekrar sayıları
3. Denemelerin bir randomizasyona göre sıralanması

Ölçüm sistemi verilerin toplanması için çok önemli bir gerektir. Zira faktör etkilerinin ölçümü için mecburen bir ölçü sistemi gerekecektir. Bir deney yapılmadan önce elde edilmesi beklenen numunelerin ölçülüp veri haline getirilmesi için ölçümün sistematik ve mümkün olduğunca kolay olması beklenir. Ayrıca deneylerden iyi sonuç alınabilmesi için ölçüm aletlerinin hassas olması sağlanmalıdır. Keza yukarıda ifade ettiğimiz gibi sistemin mümkün olduğunca basit, kolay ve çabuk olması tercih edilir.

Deney boyunca faktör şartları değiştirildikçe veya denemeler gerçekleştirilirken hatanın minimize edilmesi için denemelerin tekrar edilmesi gerekir. Eğer deneyde

gürültü faktörü yada faktörleri varsa bunun için zaten bir dizi seçilmiş ve dizinin öngördüğü kadar tekrar yapılacaktır. Eğer belirlenmiş bir dış dizi yoksa bu durumda tek değerle yetinmek lazım gelir.

Tek değer söz konusu olunca hata payının yüksek olması mümkün olduğu gibi bilinmeyen faktörlerin etkilerinin de ölçülmesine fırsat verilmemiş olur. Ancak deneme maliyeti yüksekse o zaman tek değer veya mümkünse iki değerle yetinmek gerekeceği için denemeleri titizlikle yapmak daha bir önem kazanır. Normal hallerde tekrar sayısı 5 ve 10 arasında değişirse tatmin ediciliği yüksek olur.

Randomizasyon denemelerinin yapılış sırasının numara sırasına göre değil de bir rasgelelikle belirlenmesinden ibarettir. Bir deneyi dizinin öngördüğü numara sırasına göre icra etmek bazı bilinmeyen faktörlerin denemeyi etkilemesine sebep olabilir. Bu tür bilinmesi çok zor veya imkansız olan yahut ta henüz bilinmeyen faktör etkilerine fırsat vermemek için rasgele bir sıra oluşturmak faydalı olacaktır. Örneğin bir deneyde işçilerin iş görme titizliği hiç hesaba katılmamış olan bir faktör olabilir ve normal seyirde iken deney esnasında daha bir titiz fakat başka vakitlerde daha bir baştan sağma olunabilir. Bu durumda deneyi öyle bir rasgelelikle yapmak gerekir ki, iş görenlerin normal halleri yakalanmış olsun. Bazen de imkansızlıklar yüzünden randomizasyon yapılamayabilir. Örneğin bazı faktörlerin kademelerini sık sık değiştirmek aşırı maliyetler alabilir. Bu zorlayıcılık dolayısıyla faktör şartlarının durumuna uygun bir sıralama yapılabilir.

Randomizasyon için random sayılar tablosu veya sayıların yazılıp atıldığı bir yığından çekme metodu kullanılabilir. Rastgele sıra sağlandıktan sonra sıra denemelerin yapılmasına gelir.

Deneyin yapılması faktör şartlarının sağlanması ile başlar. Faktörler her denemeye tek bir kademelerindeki değerleri ile katılırlar. Her deneme faktörlerin değişik kombinasyonlarının denenmesidir. Örneğin; 7 faktörlü deneyde 6. deneme faktörlerin A1, B1, C2, D2, E1, F2, G1 kombinasyonundan müteşekkildir. Ön görülen tekrarlar bitirdikten sonra deneyde bir daha bu kombinasyona söz hakkı verilmez. Bir deneyde interaksiyon varsa daha önce belirtildiği gibi bir faktör gibi

işleme sokulur, ancak interaksiyonun kademeleri ana faktörlerin kademeleri değiştirildikçe değişir. Bizzat müdahale ile değiştirmek ana faktörlerden bağımsız olarak mümkün değildir. Deney esnasında sadece ana faktörlerin kademelerine müdahale etmek mümkün olmaktadır.

D: X_{ij} 'lerden oluşan kontrol faktörleri matrisi (D_{dxk})

W: w_{ij} 'lerden oluşan gürültü faktörleri matrisi (W_{nXi})

Y: Y_{ij} 'lerden oluşan veri matrisi

Z (X_i): 1. denemenin performans ölçüsü

Deneyden verilerin elde edilmesini bir takım notasyonlarla ve aşağıdaki şekilde şematize etmek faydalı olacaktır.

Tablo 3.7. Dataların elde edildiği matris

Kontrol faktörleri Matrisi (D)	w1l	.....	wil	.....	wll	} Gürültü faktörleri Matrisi (W)				
	w1s	.....	wis	.....	wls					
	w1p	.....	wip	.....	wlp					
X1l	.....	X1t	.....	X1k	y1l	.....	y1i	....	y1l	U(X1)
Xjl	.....	Xjt	.....	Xjk	yjl	.....	yji	....	yjl	U(Xj)
Xdl	.....	Xdt	.....	X1k	ydl	.....	ydi	....	ydl	U(Xd)

Yukarıdaki Y matrisi deneyden elde edilen verilerin matrisini oluşturmaktadır. Bu veriler analiz edilerek bir sonuca varılır.

3.6.7.1. Lineer grafiğin çizimi ve faktörlerin sütunlara atanması

Taguchi faktörlerin ve etkileşimlerin yerleştirilmesine yardım etmek amacıyla iki araç geliştirmiştir. [38]

1. Lineer Grafikler
2. 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.

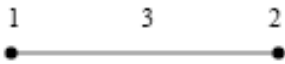
Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşmesi mümkün olan tüm etkileşimleri içerir.

3.6.7.1.1. Lineer grafikler

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

3.6.7.1.1.1. İki seviyeli ortogonal dizilerde lineer grafikler

En basit iki seviyeli ortogonal dizi olan L_4 'e ait lineer grafik aşağıdaki şekilde görülmektedir. L_4 ortogonal dizisi üç sütunlu ve dört denemelidir. Lineer grafik, A faktörünün birinci sütununa, B faktörünün ikinci sütuna AXB etkileşiminin ise üçüncü sütuna yerleştirilebileceğini gösterir. 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.

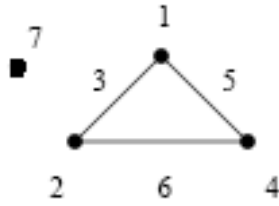


Şekil 3. 10. Lineer grafiği [4]

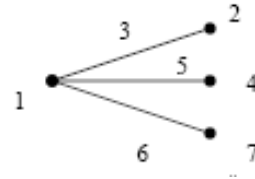
Biraz daha karmaşık olan L_8 ortogonal dizisi için şekilde görüldüğü gibi iki lineer grafik mevcuttur. Bu iki lineer grafikte çeşitli faktörlerin farklı sütunlara atanabileceği ve bir çok farklı etkileşimin farklı sütunlarda değerlendirilebileceğine işaret etmektedir. Örneğin şekil b tipi lineer grafikte 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 farklı etkileşimlerin atanmasında alternatif bir düzenleme sağlamaktadır [38].



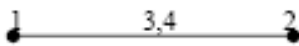
Şekil 3.11a A tipi L8 lineer grafiği



Şekil 3.11b B tipi L8 lineer grafiği

3.6.7.1.1.2 Üç seviyeli ortogonal dizilerde lineer grafikler

L_9 ortogonal dizisine ait lineer grafik şekilde 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 3.12 L9 Lineer grafiği [38]

3.6.7.1.2. 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 3.5te 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, üçgenel tablo AXB etkileşiminin 1.sütunda olması gerektiğini belirler.

Üç seviyeli ortogonal dizilere ait olan L₉ ortogonal dizisi için üçgenel tablo da görülmektedir. Üçgenel tablo varolan ve değiştirilmeyen tüm mümkün matematiksel sütun ilişkilerini listeler.

Tablo 3.8 L₄ üçgenel tablo

Sütun	B	
	2	3
1	3	2
A	2	1

A x B

Tablo 3.9 L₉ üçgenel tablo[4]

Sütun	2	3	4
1	3,4	2,4	2,3
2		1,4	1,3
3			1,2

3.6.8. 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 ya da 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 ya da 8 seviyeli bir sütuna; 4 seviyeli bir sütun 8 seviyeliye yükseltilebilir. Diğer taraftan sütunların seviye sayıları da düşürülebilir.

3.6.8.1. İki seviyeden dört seviyeye dönüştürme

İki seviyeli diziler kolaylıkla dört seviyeli sütunlar içerir hale dönüştürülebilirler. Dönüştürme kavramının kullanılmasının sebebi, iki seviyeli bir sütunun dört seviyeli hale getirilmesi sırasında, serbestlik derecesinin 1'den 3'e çıkarılmasıdır. Serbestlik

derecesi 1 olan sütunun 4 seviyeli faktör için yeterli serbestlik derecesini sağlayabilmesi için iki sütun daha dahil edilmektedir[38]. 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_4 lineer grafiğinden üç etkileşimli sütun seçilir. Örneğin 1., 2. ve 3. sütunlar.
2. Bunlardan iki sütun seçilir. 1. ve 2. seçilmiş olsun.
3. İki sütun tablo 3. 10 daki kurallardan yararlanılarak birleştirilir. Orijinal 1, 2 ve 3 sütunları kaldırılır. Yeni hazırlanan sütun 3 numaralı sütunun yerine yerleştirilir.

Tablo 3. 10. 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

Yeni sütunda 1. seviye 1 1'e, 2. seviye 1 2'ye, 3. seviye 2 1'e, 4. seviye 2 2'ye karşılık gelmektedir. Bir tane 4 seviyeli faktör veya dört tane 2 seviyeli faktör içeren L_8 ortogonal dizisinin düzeltilmiş hali tablo 3. 11'de görülmektedir. Yeni düzende sütunlar yeniden numaralandırılır. Ayrıca tablo 3.12'da iki seviyeli L_8 ortogonal dizisini göstermektedir.

Tablo 3. 11. Dört seviyeli faktör için düzenlenmiş L8 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 3. 12. İki seviyeli faktör için standart L8 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

3.6.8.2. Sütun seviyesi düşürme

Ortogonal dizilerin iki seviyeli kolonları daha yüksek seviyelere yükseltilebildiği gibi yüksek seviyeli bir kolon da düşük seviyeli kolonlara da ayrıştırılabilir. Buna Dummy Treatment denir [38]. A, B, C ve D faktörlerini içeren bir deneyi ele alalım. A iki seviyeli, diğerleri üçer seviyeli olsun. Bu durumda serbestlik derecesi 7'dir.

Tablo 3.13. Dört seviyeli sütun oluşturma kuralları [4]

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

Tablo 3.14. Dört seviyeli faktör için düzenlenmiş L8 ortogonal dizisi [4]

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 3.15. İki seviyeli faktör için standart L8 ortogonal dizisi [4]

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

Bir L₉ dizisinin üç seviyeli 4 sütunu vardır ve serbestlik derecesi 8 dir. Sütunlardan birinin seviyesi A faktörü için düşünülmelidir. Benzerlik işleminde A'nın üçüncü seviyesi, gerçekte varmış gibi A₃ olarak alınır. Fakat A₃ yerine A₁ ya da A₂ kullanılır. A faktörü herhangi bir sütuna alınabilir. Bu örnekte her üç deneme grubunun birinde 3 = 1 değişimi olacak şekilde üçüncü sütuna alınmıştır.

Dummy Treatment, iki seviyeden üç seviyeye dönüştürme prosesi olarak da 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 ise önceki üç seviyeden biri şeklinde tekrarlanır. Daha anlamlı, daha ucuz veya daha kolay olan herhangi biri tekrarlanarak ortogonalitenin bozulmaması sağlanmış olur.

3.6.9. Deneyin yönlendirilmesi

Seçilen ortogonal diziyi faktörler yerleştirildiğinde test stratejisi kurulmuş olur ve testi uygulamak için gerekli fiziki hasırlıklar başlayabilir. Bu aşamadan sonra

denemelerin test edilmiş sırasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu sıra belirlenirken çeşitli yöntemler kullanılabilir. Rassallaştırma en çok kullanılan yöntemlerdendir.[38]

3.6.9.1. 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.[27]

Rassallaştırma çeşitli şekillerde gerçekleştirilebilir. En yaygın olanları:

1. Tamamen rassallaştırma
2. Basit tekrar
3. Bloklar içinde tamamen rassallaştırma'dır. [38]

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 yapılarak 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 diğerlerinden 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.

3.6.9.2. 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 kullanılabilir [38].

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

3.6.10. 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.

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

Deneysel dizayn esasında varyans analizine dayanmaktadır. Bu metod 1930'larda İngiliz İstatistikçisi Fisher tarafından geliştirilmiştir. İsminin baş harfi F'ye dayanılarak yönteme F testi diyenlerde vardır. Varyans analizi tek faktörlü, iki

faktörlü ve çok faktörlü olmak üzere geniş bir kullanım yelpazesi sunmaktadır. Taguchi ortogonal dizileri iki ve üç kademeli olduklarından çoğunlukla ikili veya üçlü kademe için varyans analizi bu aşamada kullanılır[38].

Aşağıda varyans analizine dair bazı formüller verilmiştir:

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{Tüm verilerin kareleri toplamını verir.}$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{A faktörünün kareleri toplamını verir.}$$

$$SS_O = \sum_{j=1}^{k_A} \sum_{i=1}^{n_{A_j}} (y_i - A_j)^2 \quad : \text{Hata kareleri toplamını verir.}$$

$SS_T = SS_A + SS_O$: Tüm verilerin kareleri toplamı aynı zamanda faktörlerle hatanın kareleri toplamıdır.

$v_A = k_A - 1$: A'nın serbestlik derecesi kademe sayısından 1 çıkarmakla bulunur.

Bu her faktör için aynıdır.

$v_{AxB} = (v_A)(v_B)$: Herhangi bir interaksiyonun serbestlik derecesi ilgili faktör serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizini şöyle sunmak mümkündür. Hesaplama kullanılan notasyonlar şöylece sunulabilir.

SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı

SS_A : A faktörü için kareler toplamı

SS_O : Hata kareleri toplamı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

V_A : A'nın serbestlik derecesi

V_{AxB} : A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi

V_O : Hata varyansı

N : Elde edilen toplam veri sayısı

n_A : A faktörü için veri sayısı

T: Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

Y_i : Gözlenmiş i. Değer

k_A : A faktörünün kademe sayısı

Gurubun serbestlik derecesi eldeki veri sayısından 1 çıkarmakla bulunur. Ayrıca tüm faktörlerin serbestlik dereceleri ile hata serbestlik derecesinin toplamına eşittir.

Bu bakımdan hata serbestlik derecesinden faktörlerin toplam serbestlik derecelerini çıkarmak gerekir.

$$v_T = N - 1$$

$$v_T = v_A - v_O$$

$$v_O = v_T - v_A$$

Varyanslarda genel olarak kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesiyle bulunur.

$$v_A = SS_A / v_A$$

$$v_O = SS_O / v_O$$

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlarla F testi yapılır. Bu testte önce aşağıdaki formül kullanılarak teorik F hesaplanır.

$$F = v_A / v_o$$

v_A , A faktörünün varyansıdır. Şayet dizide başka faktörler varsa o zaman her faktörün ayrı ayrı F değeri bulunur. Bulunan F değeri tablo değeri olan F_{α, v_A, v_O} ile karşılaştırılır.

Eğer teorik F tablo değerinden büyükse o zaman hipotez $1 - \alpha$ güvenle kabul edilir.

Tablodaki ifadelerle bakılınca A ve B faktörleri etkin olup %90 güvenle F değerlerini almışlardır. C, D ve E faktörlerinden ilk ikisinin etkinlikleri 0, sonuncusunun ise 0 denecek kadar küçüktür. Bu yüzden bunların etkileri ihmal edilir. Ancak varyansları hata varyansına eklemek gerekir. Dikkat edilirse T'den önce hata varyansı olmadığı halde T'den sonra e_F şeklinde bir hata varyansı görülmektedir. Söz konusu hata ihmal edilen faktörlerin varyansları ile oluşturuldu. Hem serbestlik derecesi de diğer üçünün serbestlik dereceleri toplamını verir. Bu hata havuzlanmış hatadır. Bunları tek tek açıklarsak;

3.6.10.1. Kareler toplamı(varyasyon)

Toplam varyansı bileşenlerine ayırırsak üç çeşit varyasyonla karşılaşırız.

1. Performans karakteristiğini etkileyen faktörlere göre (A, B, C ...) varyasyon.
2. Bu faktörlerin etkileşimlerine göre varyasyon,
3. Hataya göre varyasyondur.

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

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{A \times B} + SS_e$$

$A \times B$, A ve B faktörleri arasındaki etkileşimi temsil etmektedir.

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

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

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

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{A \times B}$$

Ortogonal düzende sütunların toplam kareler toplamı SS_T 'yi verir.

$$SS_T = \sum SS_{\text{SÜTUN}}$$

3.6.10.2. 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 [38]. 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

$$V_T = V_A + V_B + V_{A \times B} + V_e$$

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğine eşittir.

$$V_T = N - 1$$

Bir faktör ya da sütunun serbestlik derecesi de seviye sayısının bir eksiğidir.

$$v_A = k_A - 1$$

$$v_B = k_B - 1$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

$$v_{A \times B} = (v_A)(v_B)$$

Hata serbestlik derecesi de; toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve

etkileşimlerin serbestlik dereceleri çıkartılarak bulunur.

$$V_e = V_T - V_A - V_B - V_{AxB}$$

Denemelerin tekrarları söz konusu olduğunda ise toplam serbestlik derecesi $V_T = \text{Deneme sayısı} \times \text{Tekrar sayısı} - 1$ 'dir.

3.6.10.3. Varyans

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

$V_e = \text{Hata varyansı}$

$$v_T = SS_e / v_e$$

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

A faktörü için varyans:

$$v_A = SS_A / v_A$$

B faktörü için varyans:

$$v_B = SS_B / v_B$$

AxB etkileşimi için varyans:

$$v_{AXB} = SS_{AXB} / v_{AXB}$$

şeklinde bulunur.

Ortogonal düzende atama yapılmamış olan sütunların toplam kareler toplamı, hata kareler toplamını vermektedir [38]. Sütunların hata varyansının kestiriminde

kullanılması yaklaşımı tüm sütunlara faktörler atandığında da kullanılabilir. Deneylemler yönlendirilmeden önce performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktörler gerçekte önemli olmayabilirler. Bu faktörlerin atandığı sütunların varyansı küçük olacağından bunlar hata varyansının kestiriminde kullanılırlar.

Bir faktörün deney sonucuna katkısı yüzde olarak küçük bir rakamsa, analiz hesaplamalarında göz ardı edilmesi tasarımda daha büyük önem taşıyan faktörlerin belirlenmesi için gereklidir. Yüzdesele etkinin yanı sıra, 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 çok olan sütunu 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 bulununcaya kadar devam eder.

3.6.10.4. F testi

Testler yapıp veriler 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 kullanılabilceği belirtilmektedir [35].

F- testi uygulanırken analiz sırasında hesaplanan f değerleri ile belirlenen güven seviyesindeki F tablo oranları karşılaştırılarak, tablo oranından büyük F değerine sahip faktörlerin performans karakteristiği üzerinde etkili olduğu düşünülür. Verilerden elde edilen F değeri faktör ya da etkileşimi varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = v_A / v_e$$

(A faktörüne ait F değeridir.)

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

Fa ; v_1 ; v_2

a = Risk

Güven = 1 – a

v_A = Risk Güven = 1 – a v_1 = payın serbestlik derecesi

v_2 = 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 kriterlerden (F-tablo değeri) büyük olan faktörlerin yığın için ortalama değeri etkileyeceği düşünülür. F değeri tablo değerinden küçük olan faktörlerin ise ortalama üzerinde hiçbir 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 elimine edilebileceğinden α hatası düzeltilebilir[38].

3.6.11. Deneysel sonuçların yorumu

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

1. Ortalamanın kestirimi
2. Kestirilen ortalama etrafında güven aralığı [38]

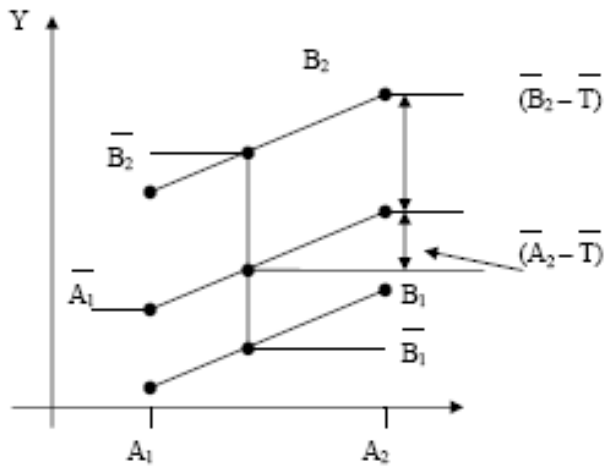
3.6.11.1. Ortalamann kestirimi

Deneyi yapan kişi, genellikle ürün veya prosesten dikkate değer tepkiler almayı bekler. Seçilen karakteristiğin 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.

1. Belirlenen faktör seviyelerinin kombinasyonu, deneydeki deneme koşullarından biridir.
2. Belirlenen faktör seviyeleri kombinasyonu deneye dahil edilmemiştir.

Belirlenen proses şartları için ortalamann tahmininde; prosedür faktöriyel etkilerin toplanabilirliğine bağlıdır. Eğer bir faktöriyel etki bir diğeri ile toplanabilirse toplanabilirlik iyidir ve sonuçlar doğru olarak tahmin edilebilir. Etkileşimin varolduğu durumlarda etkileşen faktörler arasındaki toplanabilirlik zayıftır. Etkileşimin, kendisini oluşturan faktörler dışındaki faktörlerle toplanabilirliği iyidir.

Şekil 3.13'de aralarında etkileşim olmayan iki faktöre ait grafik görülmektedir. Geometrik olarak çizgisinin B_1 orta noktası B_1 'yi temsil etmektedir. B_1 , B_1 koşulu altındaki tüm verilerin ortalamasıdır. B_2 koşulu için de aynı uygulama geçerlidir. A_1 , A ilk seviyesinde olduğunda B_1 ve B_2 koşulu arasında ortada bulunabilir.



Şekil 3.13. Etkileşmeyen faktörlerin grafiği [38]

Eğer bu dört nokta iki doğru parçasıyla 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_2B_2 proses koşulu tahmin edilmek istendiğinde, $(\bar{A}_2 - \bar{T})$, ortalamayı \bar{T} 'den A_2 'ye değiştiren A_2 etkisini ve $(\bar{B}_2 - \bar{T})$, ortalamayı \bar{T} 'den B_2 'ye değiştiren B_2 etkisini temsil eder.

$$\mu_{A_2B_2} = \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) = \bar{A}_2 + \bar{B}_2 + \bar{T}$$

\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 ta, $B_2C_1F_2G_2$ durumunun ortalamasını tahmin edersek, $\mu_{B_2C_1F_2G_2} = B_2 + C_1 + F_2 + G_2 - 3T$

İncelenen karakteristik, en iyi karakteristiği ve $B_1 = 1,30$ $B_2 = 1,50$ $C_1 = 2,30$ $C_2 = 0,50$ $F_1 = 0,90$ $F_2 = 1,90$ $G_1 = 1,00$ $G_2 = 1,80$ $T = 1,40$

$$\begin{aligned}\bar{B}_1 &= 1,30 & \bar{B}_2 &= 1,50 \\ \bar{C}_1 &= 2,30 & \bar{C}_2 &= 0,50 \\ \bar{F}_1 &= 0,90 & \bar{F}_2 &= 1,90 \\ \bar{G}_1 &= 1,00 & \bar{G}_2 &= 1,80 \\ \bar{T} &= 1,40\end{aligned}$$

$$\mu_{B_2C_1F_2G_2} = 1,50 + 2,30 + 1,90 + 1,80 - 3(1,40) = 3,30$$

$B_2C_1F_2G_2$ Durumunun ortalaması, faktörlerin toplanabilirliği sayesinde, her hangi 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.

3.6.11.2. Kestirilen ortalama etrafında güven aralığı

Ortalamanın tahmini u deneyden elde edilen sonuçların ortalamalarına dayandırılan bir nokta tahminidir. İstatiksel olarak bu durum, gerçek ortalamanın μ 'den büyük olma ihtimali için %50 bir şans, küçük olma ihtimali için de %50 bir şans tanımaktadır. Deneyi yapan kişi, belirli bir güven düzeyi ile 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 istatiksel anlamda, hata yapma şansı olduğunu gösterir. Örneğin, standart bir zarda, 1,2,3,4 veya 5 gelmesi (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 seçilir fakat, daha geniş bir güven aralığı, gerçek ortalamanın belirlenen limitlerin dışında olma şansını azaltacaktır.

3.6.11.2.1. Doğrulama deneyini öngören güven aralığı (c1)

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.

Üç türlü güven aralığı hesaplanabilmektedir.

1. Deneyde mevcut herhangi bir faktör şartına ait güven aralığıdır.

$$CI_1 = \sqrt{(F_{\alpha;1;v_2} v_o / n)}$$

$$\mu_{A_1} = A_1 \pm CI_1$$

$$A_1 - CI_1 \leq \mu_{A_1} \leq A_1 + CI_1$$

CI_1 : Güven aralığı

$F_{\alpha;1;v_2}$: Gerekli F oranı

α : Risk

$1 - \alpha$: Güven

v_1 : 1

v_2 : v_o

v_o : Hata varyansı

n : İlgili test sayısı

N : Yığının hacmi

r : Örnek hacmi

2. Deneyde bulunan optimal şartlara göre tahmin edilen değerin güven aralığıdır. Bunu için yukarıdaki formülleri aynen kullanabiliriz.

$$CI_2 = \sqrt{\left(F_{\alpha;1;v_2} v_O / n_{off} \right)} \quad n_{off} = N / n_t$$

n_t : μ 'nün tahmin edilmesinde kullanılan toplam serbestlik derecesi

Örneğin $\mu_{A_1B_2C_1D_2} = A_1B_2 + C_1 + D_2 - 2T$ olsun. Güven aralığı ile beraber

3. Sağlama deneyi için güven aralığıdır. CI_2 'den farkı CI_2 tüm yığının güven aralığı iken CI_3 'ün sadece sağlama deneyi örneği için güven aralığı olmasıdır. Burada yine aynı notasyonu kullanabiliriz.

Örneğin; her deneme için bir test içeren L16 ortogonal dizisi kullanılırsa;

$$\mu_{A_2B_2C_1D_2} = \overline{A_2B_2} + \overline{C_1} + \overline{D_2} - \overline{2T}$$

$$N = 16 \text{ ise ;}$$

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

$$\mu_{A_2B_2C_1D_2} = A_2B_2 + C_1 + D_2 - 2T$$

$$N = 16 \text{ ise ;}$$

$$n_{eff} = 4 \text{ olur.}$$

F oranı, ANOVA 'da kullanılan F Tablolarında elde edilir. Payda yer alan ve devamlı 1'e eşit olan serbestlik derecesi, kestirilmekte olan ortalama ile ilgilidir. Doğrulama deneyi, deneysel sonuçların doğrulanması için tavsiye edilir ve şu şekilde yorumlanır.

Eğer doğrulama deneyi sonuçlarının ortalaması, güven aralığı limitlerinin içindeyse deneyi yapan kişi, önemli faktörlerin olduğu kadar belirlenen seviyelerin de istenen sonuçları alabilmek için uygun seçildiğine inanır.

Eğer doğrulama deneyi sonuçlarının ortalaması güven aralığı limitlerinin dışındaysa, deneyi yapan kişi istenen değerde sonuçları sağlayacak faktör ve seviyelerinin yanlış seçildiğine ya da büyük ölçme hataları yaptığını inanır. Böylece başka deneylerin yapılması gerekliliği doğar. Diğer faktör ve seviyeleri yapılacak yeni deneylerde dikkate alınmalıdır. Doğrulama deneyi, ürün veya prosesin fonksiyonlarını uygun bir şekilde yerine getirmesini neyin sağlayacağını anlamada yapılacak araştırmanın son adımıdır [38].

Tahmini değerler güven aralıklarıyla beraber belirlendikten sonra işlemlerin sağlanması mahiyetinde optimal şartlarda bir deney gerçekleştirilir. Bu işlem parametre tasarımı sürecinin son ve önemli adımı olmaktadır. Deney seçilen optimal şartlar altında birkaç tekrar halinde yapılır. Tekrarların adedi daha önceki deneylerdekinin aynısı olabilir.

Bu deneyden elde edilen verilerin ortalaması ve standart sapmaları bulunur. Hatta S/N oranları bulunur. Eğer gözlenen değerler daha önceki çalışmalardan elde edilen tahmini değerlere yakınsa daha doğrusu sağlama deneyi için öngörülen güven aralığının içinde ise deney realitelere oldukça yaklaşmış demektir. Böylece biz bulduğumuz optimum değerleri bu çalışmanın uygun ve optimum sonuçları olarak kabul eder ve çalışmayı sone erdiririz. Şayet gözlenen değerler daha önce öngörmüş olduğumuz değerlerden uzaksa o zaman modelde bir başarısızlık, bir hata var demektir. Başarısızlık söz konusu olunca geri besleme mekanizmasını devreye sokmak gerekmektedir. Geri beslemenin varlığı, metodun sürekli kendini yenileyebilirliğini ve sürekli gelişmeye imkan veriyor anlamını verir. Geri besleme en başa değil de modelin kuruluşunun başı sayılan faktör seçimi ve seviye tespitinin yapıldığı 3. adıma gidiyor. Buraya gelince prosesi tekrar yeni baştan inceleyip daha isabetli bir model kurma çalışmasına yeniden başlanır.

Yapılacak çalışmalar öncelikle hatanın ne olabileceği ve kaynağının neresi olduğunu belirleme çalışması olacaktır. Başarısızlığın kaynakları şunlar olabilir; hedef fonksiyonunun yanlış seçimi, yanlış faktörlerin seçilmiş olması, karakteristiğın yapısına uygun olmayan S/N oranının seçilmiş olması, ortogonal dizinin seçiminde hata yapılmış olması gibi bütün bu sebeplerden biri veya birkaçı neticenin başarısızlığına etki etmiş olabilir. Hatanın farkına varılınca hemen düzeltme yoluna bakılıp çalışmalara tekrar başlanıp sonuca gidilir.

Sonuçlandırma safhasına gelince çalışmalarımız başarılı olmuş demektir. Bu durumda yapılacak çok önemli bir şey yoktur. Yapılacak şey sadece optimal olarak ortaya çıkmış faktör kombinasyonunu üretimimizin ayarlanması gereken durum olarak benimsenmesidir ve yapılacak üretim bundan sonra bu şartlara göre ayarlanmalıdır.

Sonuca varılınca şayet hedef değere isabet ettirilebilmişse bu taktirde mesele kalmamıştır. Sadece kaliteyi sürekli geliştirme felsefesi gereği yeni daha çok nitelikli ve daha bir üst hedef tayin edilip bu yeni belirlenen hedefe varma çalışmaları yapılır. ancak yapılan çalışmada hedefe varmak mümkün olamamış ise bu taktirde tolerans tasarımı çalışmaları yapılır ve mümkün olduğunca üretim aralığı (tolerans aralığı) dar tutulur. Bu durumda da yine geliştirme çalışmalarına devam edilir. Zira bu işletmenin sürekli faaliyetleri arasına alınması gerekliliğine haiz değerdedir.

3.7. Taguchi yöntemine eleştiriler

Taguchi' nin robust parametre tasarımı yaklaşımıyla ilgili beş önemli eleştiri bulunmaktadır.

Bunlar:

1. Sinyal gürültü oranının yetersizliği
2. Tasarım değişkenlerini modellemede esneklik eksikliği
3. Deney tasarım planının ekonomik olmayışı

4. Optimizasyonla ilgili zihni meşguliyet
5. Ardışık deneye formal izin olmaması.

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

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

Box, Easterling, Pignatiello ve Ramberg, Taguchi'nin katkılarını ve batıda geliştirilen istatistiksel yöntemler bağlamında eleştiriler sunmuşlardır. Box, standart veri transformasyonu yöntemlerinin, Taguchi'nin S/N oranlarından nasıl daha etkin olabileceğini göstermiştir. Box, Taguchi'nin Robust tasarım yaklaşımında ardışık araştırmaların yetersizliğine değinmiştir. Ayrıca Taguchi'nin tasarım seçimindeki kısıtlamaları bulunduğunu ifade etmiştir [50].

BÖLÜM 4. TAGUCHI YÖNTEMİNİN KAÜÇUK İŞLETMESİNE UYGULANMASI

4.1. Laspar Ltd. Şti'nin Tanıtılması

18 Ocak 1982 yılında kurulmuş olan LAS-PAR LTD. ŞTİ. 1986 yılından itibaren BURSA / Demirtaş Org. San. Bölgesinde 3650 m² kapalı alanda üretimine devam etmektedir. Sızdırmazlık elemanları ve muhtelif conta üretiminin yanı sıra titreşim sönümleme ve yalıtım alanında da faaliyet göstermektedir.

Ürünlerini TSE/ISO 9000:2000 ve AQAP-120 (Allied Quality Assurance Publications) standartlarına uygun üretmekte ve sunmaktadır. Müşteri memnuniyetini esas kabul ederek, kaliteyi üretirken sağlamayı prensip haline getirmiştir.

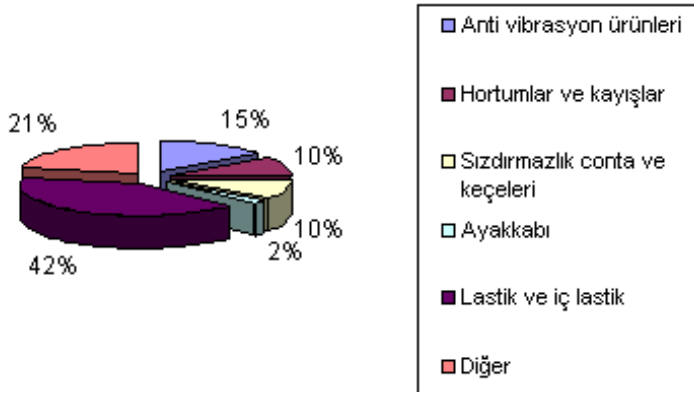
Çalışmalarında müşteri isteklerini ön planda tutmaktadır. Ulusal ve Uluslararası ASTM, SAE-J, MILITARY, EN, DIN, ISO standartları üretim kalite konusunda, referanslarını teşkil etmektedir.

Veri tabanındaki formülasyon çeşitlerinden ideal olanı seçilerek müşteri istekleri doğrultusunda yüksek performanslı teknik kauçuk üretimi yapılmaktadır. Firmanın üretim portföyü conta, körük, diyafram, gromet, u-cup, o-ring, dörtgen-ring ve özel üretimlerden oluşmaktadır. Konusunda uzman, genç ve dinamik kadrosuyla faaliyet gösterdiği alanlar şunlardır:

1. Otomotiv
2. Beyaz Eşya
3. Savunma Sanayi
4. Elektronik
5. Endüstriyel Makine Sanayi
6. Yağ Ve Gaz Donanımları
7. Isıtma Ve Soğutma Sanayi

Sektördeki üretim devlerinin montaj hatlarına doğrudan kauçuk parça üretimi yapan firma günden güne büyümekte ve gelişimini tüm bünyesinde sürdürmektedir.

Kauçuk, özellikle U.S.A. ve Japonya olmak üzere tüm dünyada pek çok ürün çeşidinin üretiminde kullanılan önemli bir hammaddedir. Kauçuk en çok bilinen haliyle sadece araba lastiği olarak değil, daha pek çok çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Lastik dışında kullanıldığı ürünler hortumlar, kayışlar, sızdırmazlık contaları, keçeler, anti-vibrasyon parçaları (örneğin; titreşim önleyen takozlar), ayakkabı tabanı ve diğer malzemelerdir.



Şekil 4.1. Kauçuk ürünlerinin genel dağılımı

Şekil 4.1.'de de görüldüğü üzere, kauçuk, dünya genelinde en çok %42 ile lastik ve iç lastik üretiminde tüketilmektedir. Bunu % 21 ile diğer malzemeler izlemektedir. Bu sıralamadan sonra % 15 oranında anti-vibrasyon ürünleri, %10 hortum ve kayışlar, % 10 sızdırmazlık conta ve keçeleri, %2 ile ayakkabı tabanı gelmektedir. Bunun yanı sıra kauçuk zemin ve çatı kaplamalarında, özellikle kaldırım ve asansör döşemesi olarak de kullanılmaktadır.

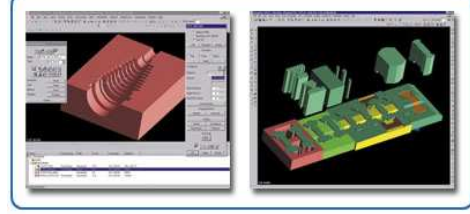
Firmada yer alan üretim ile ilişkili departmanlar aşağıdaki gibidir.

1. Mühendislik ve Ar-ge: Kalıp tasarımı, müşteri istekleri doğrultusunda teknik resim, numune veya standartlardan faydalanılarak yapılmaktadır. UNIGRAPHICS CAD/CAM programı sayesinde bilgisayar ortamında çizim ve modelleme yapılmaktadır. AR-GE çalışmaları kapsamında imalat yöntemlerinin geliştirilmesi,

üretim kapasitesinin artırılması, yeni üretim teknolojilerinin araştırılması gibi çalışmalar yürütülmektedir.



Şekil 4.2a Mühendislik departmanının görünümü



Şekil 4.2b UG program penceresinden kalıp görünümü

2. Laboratuvar

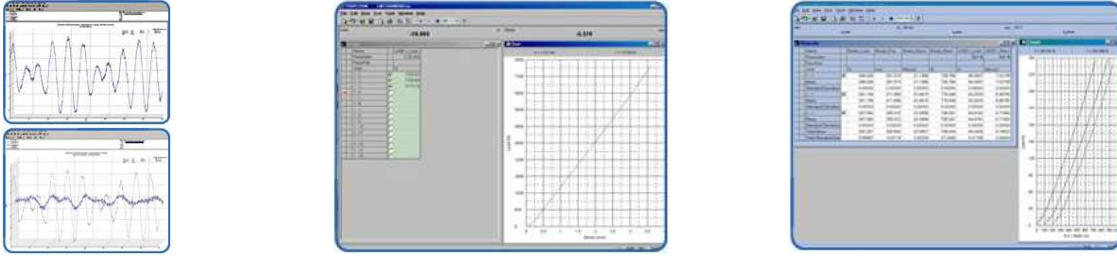
- a. Kimya Laboratuvarı: Firma $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda çalışabilen, katı-sıvı-gaz birçok ortamda kullanılabilen yüksek mekanik özelliklere sahip elastomer malzemeler üretmektedir. (NR, NBR, SBR, MQ, VMQ, FVMQ, FKM, HNBR, CR gibi). Bu üretilere ait malzeme ve ölçü kontrollerini firma kendi laboratuvarında yapmaktadır. Kauçuk sektöründe en riskli kontroller malzeme kontrolleridir. Yaptığı yeni laboratuvar yatırımları ile çok karmaşık olan elastomer kimyasını daha kolay analiz etme yeteneğine ulaşmayı planlamaktadır.
- b) Ölçü kontrol Laboratuvarı: Ölçü ve fonksiyon kontrolleri bu bölümde hassas ölçüm aletleriyle yapılmaktadır.



Şekil 4.3a Çekme Kopma Test Cihazı



Şekil 4.3b Profil Projektör



Şekil 4.3c Ölçüm Değerlerinin Grafikleri

3. Kalıp imalatı: Kalıplar değişik kapasitelerdeki NC CNC ve Konvansiyonel tezgâhlarda hassas bir şekilde imal edilmektedir.



Şekil 4.4a. Mekanik atölyenin görünümü



Şekil 4.4b. CNC torna



Şekil 4.4c. Kalıp imalatında kullanılan tezgâhlar

Tablo 4.1. Firmanın makine parkı

1-Mekanik atölye	3-Finısaj atölyesi
Üniversal Torna Tezgahı (1m'lik)	Revolver Boy Kesme Aparatı x4
Üniversal Torna Tezgahı (1,5m'lik)	Eksantrik Pres x2
Kalıpçı Freze (350x750)	Çapak alma Motoru x5
Sutunlu Matkap (ø 16 x h 550)	Kollu Kesme Presi
Satıh Taşlama Tezgahı (300x600)	Kollu Kesme Aparatı
CNC Dik İşlem Merkezi (1,2x5 m'lik)	Soğuk Çapak alma Makinası
Destere (ø 280 mm)	Optik Kontrol Makinası
Arc Kaynak Makinası	
Kalem Bileme Taşı	
Dalma Erezyon (EDM)	

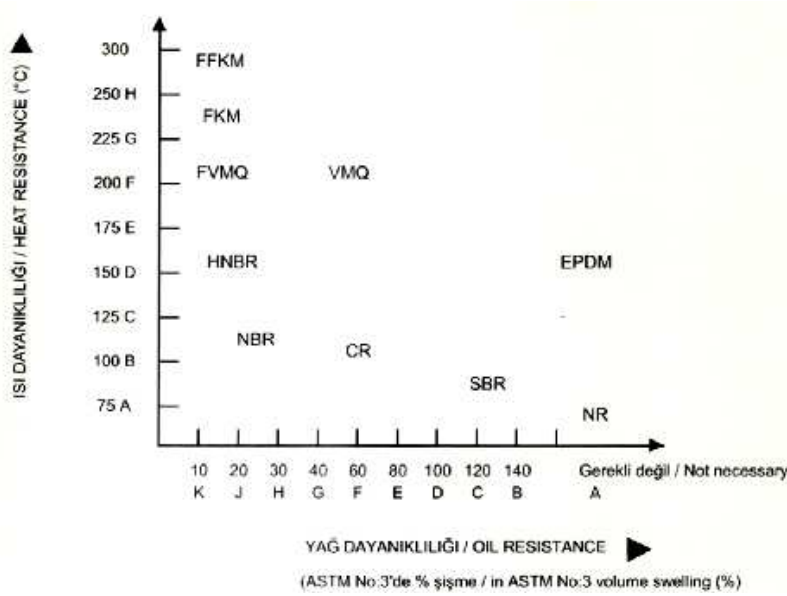
2-Kauçuk pres atölyesi	4-Hamurhane
KPA 3 Hidrolik Kauçuk Presi 6 göz 1 tabla 300x300 mm	Banburi (60 lt)
KPA 2 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 350x340 mm	Hamur Makinası (40 lt)
KPA 9 Hidrolik Kauçuk Presi 1 göz 1 tabla 650x650 mm	Hamur Makinası (20 lt)
KPA 6 Hidrolik Kauçuk Presi 5 göz 1 tabla 500x500 mm	Barwell (40 lt)
KPA 5 Hidrolik Kauçuk Presi 1 göz 1 tabla 430x545 mm	Hamur Kesme Makası
KPA 8 Hidrolik Kauçuk Presi 5 göz 1 tabla 360x460 mm (PLC)	Hamur Kesme Makası
KPA 4 Hidrolik Kauçuk Presi 1 göz 1 tabla 500x500 mm	Silikon Badinözü
KPA 1 Hidrolik Kauçuk Presi 6 göz 1 tabla 500x500 mm (PLC)	
KPA 7 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 500x500 mm (vakumlu - PLC)	
KPA 14 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 500x500 mm (vakumlu - PLC)	
KPA 15 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 560x660 mm (vakumlu - PLC)	
KPA 16 Hidrolik Kauçuk Presi 1 göz 1 tabla 800x950 mm (PLC)	
KPA 17 Yatay Enjeksiyon Presi 1 göz 1 tabla 450x450 (PLC)	
KPA 18 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 560x660 mm (vakumlu - PLC)	
KPA 19 Hidrolik Kauçuk Presi 2 göz 1 tabla 560x660 mm (vakumlu - PLC)	
Kompresör x 2	

4.2. Kauçuk Üretimi Ve Aşamaları

Kauçuk aslında bir ağaç adıdır. Bu ağacın kendisinden ve özsuyu olan lâteksinden elde edilen maddeler endüstride kullanım sahası bulmuştur. Son yıllarda tabii kauçuğun yanı sıra sentetik kauçuğun da üretilmesi ile pek çok kauçuk türü ortaya çıkmıştır. Kauçuğun en önemli özelliği yüksek bir elastisiteye sahip olması yani yeniden eski haline dönebilen bir uzayabilirliğinin olmasıdır. Kauçuk işleme endüstrisinin gelişmesinin ve hemen her sektörde kullanılmasının temelinde de bu vardır.

Doğal kauçuk yılda 5–5,5 Mt ve sentetik kauçuk da 10 Mt olarak üretilmektedir. Doğal kauçuk dünyada en çok Malezya, Endonezya ve Tayland'da üretilmektedir.

Sentetik kauçuk ise, U.S.A. başta olmak üzere en çok Japonya, Almanya ve Fransa'da üretilmektedir. Kauçuklar, tabii kauçuk (NR), neopren kauçuk (NE) veya kloropren kauçuk (CR), viton kauçuk (FKM), etilen-propilen-dien kauçuk (EPDM), bütadien kauçuk (BR), nitril- bütadien kauçuk (NBR), stiren-bütadien kauçuk (SBR), stiren-izopren kauçuk (SIR) ve hidrojene nitril- bütadien kauçuk (HNBR) gibi pek çok türdedir.



Şekil 4.5. Kauçukların ısı ve yağ dayanım tablosu

Tablo 4.2. En fazla kullanılan kauçukların genel özellikleri

kauçuk kodu / rubber code	nr	sbr	epdm	cr	nbr	fkm	vmq
fiziksel özellikler / physical properties							
yoğunluk (g/cm ³) / density (g/cm ³)	1,18	1,14	1,18	1,33	1,23	2,26	1,15
sertlik (shore a) / hardness (shore a)	30-90	35-90	30-90	38-90	40-90	60-80	30-80
gaz geçirgenliği / gas permeability	c	c	c	b	a	a	c
elek.direnci / electrical properties	a	b	a	b	d	b	a
mekanik özellikler / mechanical properties							
kopma mukavemeti (kgf/cm ²) / tensile strength (kgf/cm ²)	150-300	80-180	70-200	70-200	70-200	70-125	70-100
kalıcı deform. / compression set	b	b	b	b	b	b	b
yırtılma direnci tear str. & abrasion resistance	a	b	b	b	b	b	d
elastikiyet / resilience	a	b	b	b	b	c	b

ısı özellikleri / heat properties							
servis sıcaklığı / service temperature							
*maximum (°c)	70	85	130	100	100	250	200
* maksimum sınır / peak maximum (°c)	100	110	150	110	120	300	300
* minimum (°c)	-40	-50	-55	-40	-35	-25	-60
alev direnci / flame resistance	d	d	d	b	d	b	c
ısı direnci / heat resistance	c	b	a	b	b	a	a
dayanıklılık / resistance to							
yağında yaşlandırma / ageing in oil							
*astm n ^o 1, 20 °c - 100 °c	d	d	d	c	a	a	a
*astm n ^o 3 20 °c - 100 °c	t	t	t	b	b	a	b
sıvısı içinde yaşlandırma / ageing in fuel							
*astm "b"40°c'ye kadar / astm "b" to 40 °c ^o	t	t	t	d	c	a	t
bitkisel yağlar / vegetable oils	d	d	d	b	b	a	t
hayvansal yağlar / animal oils	d	d	d	b	b	a	t
oksidasyon / oxidation	c	c	a	b	c	a	a
hava ve ozon / weather and ozone	d	d	a	b	c	a	a
çözücülere 20 °c'de / solvents 20 °c							
*alkol / alcohol	b	b	b	b	b	b	b
*aseton / acetone	c	c	b	c	d	b	d
*benzen / benzene	t	t	t	t	t	b	t
*su / water	b	b	a	b	b	b	b
kimyasal ürünlerde / chemical products							
*asitler / acids	c	c	b	b	b	a	c
* bazlar / bases	b	b	b	c	c	b	c

Polimerlerin Genel Kullanımı;

NR: yüksek elastikiyet uygulamaları için

SBR: mükemmel aşınma direnci uygulamaları için

EPDM: mükemmel ısı, ışık ve oksidasyon direnci uygulamaları için

CR: ısı ve hava direnci uygulamaları için

NBR: normal yağ direnci uygulamaları için

FKM: mükemmel ısı ve yakıt direnci uygulamaları için

VMQ: ısı direnci uygulamaları için

Firmanın imalatını yaptığı ürünler aşağıdaki gibidir.

1. O-ringler

O-ringler daire kesitli, halka şeklinde Basit geometrik şekli ile o-ring biçimlendirilmiş sızdırmazlık elemanıdır. en ekonomik ve etkili

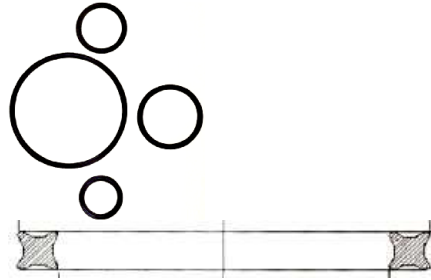
sızdırmazlık elemanıdır. Ölçü seçimi yapılırken iç çap ve kalınlık toleransları dikkate alınmalıdır. Kullanımdaki tatbik şekline dikkat edilmeli ve o-ringin malzemesi kullanım ortamına göre çok iyi seçilmelidir.



2. X-ringler

Kesit X şeklinde, O-ringe benzeyen bazı uygulamalarda O-ringlerin yerine kullanılan sızdırmazlık elemanıdır. X-ringlerin aksel hareketlerde yuva içinde hareket etmesi ve o-ringler gibi burulma eğilimi olmaması nedeni ile tercih edilmektedir. X-ringler, aksel hareketlerde 50 bar basınca kadar o-ringlerden daha iyi performans gösterirler. X-

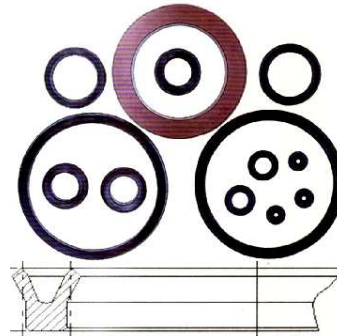
ringlerde yüzey kalitesi ve yağlama o-ringlerde belirtilen koşullarda olmalıdır.



3. Hidrolik contalar

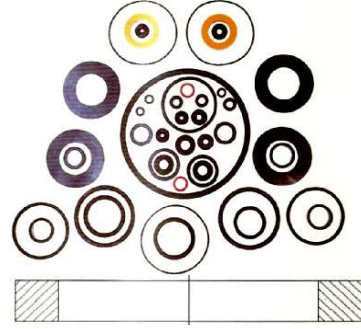
O-ringlerin tam olarak görev yapamadıkları aksel hareketli hidrolik uygulamalarda basınca karşı kullanılan sızdırmazlık elemanıdır. Hidrolik contalar özellikle düşük ve orta basınçlı sistemlerde kullanılır. O-ringlerden daha geniş toleranslar ve daha küçük şartlarda, sızdırmaya ve aşınmaya karşı iyi performans gösterdikleri için geniş kullanım alanı vardır. Malzemeler gerilim altındaysa kesilmeye ve aşınmaya karşı fazla

duyarlıdır. Yüksek hızlarda ısınma yüksek olduğu için birden fazla u-cup kullanılmalıdır.



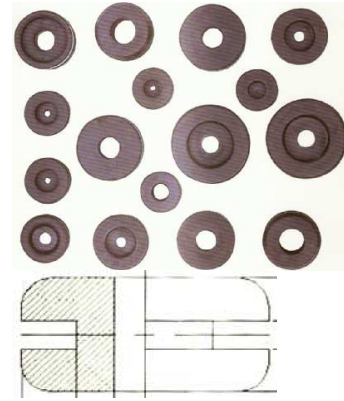
4. Kare ve dikdörtgen kesitli halkalar

Kare ve dikdörtgen kesitli halkalar, genel olarak flanş veya kapaklarda conta olarak kullanılır. Bazı hallerde değişik devirli millerde salmastra şeklinde kullanılabilirler. Çalışma ortamına göre değişik tipte ve değişik malzemedен yapırlar.



5. Grometler

Gromet; motor, makine ve diğer mekanizmalardaki gürültü ve titreşim yalıtımının sağlanmasında kullanılan etkin ve ekonomik bir sızdırmalık elemendir. Değişik ölçü ve tiplerde yapılabilirler. Kullanım yerleri, elektronik, bilgisayar çevresinde, laboratuvar ekipmanlarında, sağlık ve ofis ekipmanlarında ve diğer çeşitli aletlerde kullanılmaktadır.



6. Muhtelif contalar

Contalar, genellikle motorlarda ve hidrolik sistemlerde, bloklar arasında statik sızdırmazlık sağlar. Malzemeleri kullandıkları yerin çalışma şartlarına göre değişir. Müşteri isteğine göre özel olarak üretilir.



7. Körükler

Körükler; çalışma ortamına göre değişik tip ve malzemedен yapılabilirler. Sıkıştırma, kaldırma ve vibrasyon alma konularında kullanılabildiği gibi makine veya özel platformların altında da kullanılabilmektedirler.



8. Diyaframlar

Diyaframlar; sınavi yağ, akaryakıt, gaz ve yüksek sıcaklık mukavemeti istenilen yerlerde, makine, dedantör ve karbüratörlerde kullanılmaktadır. Ayrıca araçların havallı fren sistemindeki en önemli parçadır. Bezlive bezsiz tipleri vardır. Dinamik çalışmaya uygundur.



Bir kauçuk ürününün formül reçetesinde kauçuk, kükürt, çinko oksit yağ asidi, hızlandırıcı, dolgu, yumuşatıcı ve anti-oksidan vardır. Kauçuktan yapılmış ürünlerin başlıcaları; anti-vibrasyon parçalar, sızdırmazlık elemanları, araba lastikleri, tamponlayıcı malzemeler, zemin döşemeleri, ayakkabı tabanı ve çeşitli oyuncaklardır. Dünyada bu ürünlerden en çok kullanılanı ve atık olarak geri döneni araba lastikleridir.

Kauçuk ürün üretim prosesi, üretilecek ürün türüne bağlı olarak değişmektedir. Her ürün için spesifik bir üretim şekli olmasına rağmen, proses temeli ortak işlemlerden oluşmaktadır.

Temel işlemler aşağıda verilmiştir:

1. Karıştırma
2. Hamur ön şekillendirme
3. Presleme
4. Vulkanizasyon (Kauçuğun pişmesi)
5. Finisaj

4.2.1. Hamur karıştırma

Kauçuk ürün prosesi, kauçuğa polimerler (örneğin; ham ve/veya sentetik kauçuk), karbon siyahı (kauçuk karışımı oluşturmak için birincil dolgu malzemesi), yağlar ve çeşitli kimyasal katkı maddelerinin katılmasıyla başlar. Kimyasal katkı maddeleri; proses yardımcıları, vulkanizasyon ajanları, aktivatörler, hızlandırıcılar, yaşlanmayı

önleyiciler, dolgular, yumuşatıcılar ve özel maddelerden oluşmaktadır. Bu katkı maddelerinin fonksiyonlarını kısaca tanımlarsak;

Proses Yardımcıları: Karıştırma periyodunda veya proses boyunca kauçuğu modifiye eder veya preslemede ve operasyonlarında spesifik bir tarz oluşmasına yardım eder.

Vulkanizasyon Ajanları: Polimer zincirleri arasında çapraz bağlar oluşturur.

Aktivatörler: Vulkanizasyonun ilerlemesi ile kür süresinin azalmasını, vulkanizasyon ajanları ile kombinasyonu sağlarlar.

Hızlandırıcılar: Aktivatörler ile kimyasal kompleks oluşturacak formdadırlar. Böylece artan vulkanizasyon hızı ve final ürün özellikleri oluşması ile hızlandırma sisteminden max. fayda sağlarlar.

Yaşlanma Önleyiciler: Kauçuğun bozulmasına sebep olan etkenler ile reaksiyona girerek (örneğin; O₂, O₃, ışık, ısı, radyasyon) , kauçuk ürünlerinin bozulmasını yavaşlatırlar.

Dolgular: Kauçuğun fiziksel özelliklerinin modifiyesini ve güçlenmesini sağlarlar. Proses özelliklerini açığa çıkartırlar. Kauçuk kalıbı için ihtiyaç duyulan pahalı materyallerin miktarının azaltılması ile maliyetlerin düşmesine yardımcı olurlar.

Yumuşatıcılar: Karışıma daha fazla elastisite sağlamayı, ürünü bağlamayı veya kauçuk hidrokarbonunun bir kısmı ile yer değiştirmeyi (fiziksel özellikler yitirilmeksizin) temin ederler.

Özel Maddeler: Geciktiriciler, renk vericiler, şişiriciler, koku vericiler vb. kapsar. Özel maddelerin, spesifik görevleri vardır. Genel olarak, başlıca kauçuk bileşimi içinde duyulmayan maddelerdir.



Şekil 4.6. Hamur karıştırma makinesi

Kauçuk karışımları, imal edilen ürünün karakteristiklerine göre, farklılık taşırlar. Kauçuk karışımının (hamurunun) üretimi, bileşenlerin kombinasyonu için kullanılan Banbury karıştırıcı içinde daha önceden tartılan ve yükleme yapılan bileşen maddelerin karıştırılmasından oluşur. Polimerler ve çeşitli kimyasal maddeler, madde depolama sisteminden karıştırma makinası içine manuel olarak ilave edilirken, karbon siyahı ve yağlar genelde direkt olarak enjekte edilirler. Makine gövdesi duvarlarında hamurun kesilmesini sağlayan 2 adet rotor olması, homojen bir kütle yapısında olmasını ve karışımını sağlar.

4.2.2. Hamur ön şekillendirme

Banburiden çıkan kauçuk hamuru kütlesi, hamur ön şekillendirme (tabakalaşma veya çeşitli boyutlarda parçalara bölünme) içine koyulur. Sıcak kauçuk, sonra su bazlı anti-bağlayıcı solüsyondan geçirilerek, ortam sıcaklığına soğutulur. Yapıştırma sonrasında kauçuk tabakaları oluşur. Kauçuk tabakaları, soğuk hava veya soğuk su uygulamaları ve kauçuk tabakalarının düşük sıcaklıkları içinde direkt olarak uzun konveyör bandı üzerinde yer alır. Karıştırma prosesi, Banburyde karıştırma, ön şekillendirme, anti-bağlayıcı tabaka oluşturma ve soğutma işlemlerini kapsar.



Şekil 4.7. Hamur ön şekillendirme süreci

Hazırlanan kauçuk hamuru Barwell Makinesinde ön şekillendirmeye tabi tutulur ve vulkanizasyona hazır hale getirilir.

4.2.3. Presleme

Presler, kauçuğu değişik şekillere veya profillere dönüştürürler. Bu da kalıbın direkt ya da döner oluşuna göre değişir. Presleme işleminde, kauçuk ve kauçuk fireleri ısınmıştır. Kauçuğun presten çıkarılmasında fiber veya kumaşa benzer takviye malzemeler kullanılarak, sıkıştırılan kauçuğun sıyrılması sağlanır. Bazen preslenen kauçuk, tel kablo, polyester ve diğer maddeler kullanılarak, farklı kauçuk ürünler üretilir. Bazen de metalli parçalar ve kauçuk aynı anda prese konarak, metalli kauçuk parçaları üretilir. (Örneğin; anti-vibrasyon parçaları)

4.2.4. Vulkanizasyon

Tüm kauçuk ürünleri, vulkanizasyona girerler. Vulkanizasyon, ısıtılan basınçlı kalıplarla, sıcak hava ve mikrodalga fırınlarla veya çeşitli akışkan yatak ünitelerinde yapılır. Vulkanizasyon prosesi süresince kauçuktaki polimer zincirleri, elastik ve termoset kauçuğa yani nihai ürün formuna, çapraz bağlarla dönüşür. Kauçuktaki çapraz bağ sayısının artışı, kauçuğun elastikiyet kalitesinin de arttığını ifade eder.



Şekil 4.8. Kauçuk Presleri

4.2.5. Finisaj

Vulkanizasyon sonrasında gelen finisaj işlemi ise, vulkanize olmuş kauçuk ürünün temizlenmesini, gereksiz kauçuk parçalarından arındırılmasını kapsar. Bölümde tüm ürünlere göz kontrolü yapılır.



Şekil 4.9. Optik kontrol makinası ve finisaj bölümü

4.3. Taguchi Tekniği Uygulaması

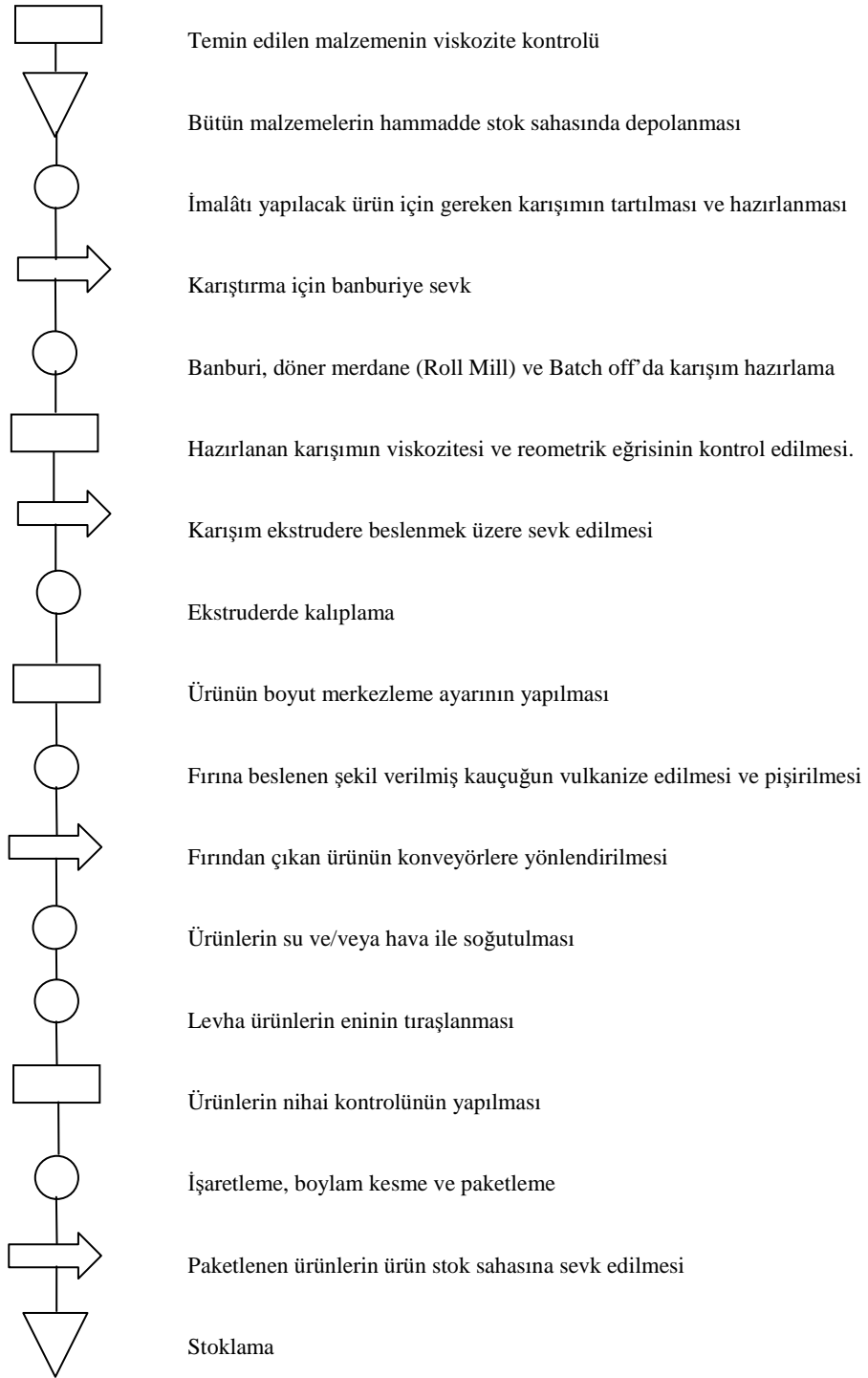
Kauçuk üretim prosesinin Taguchi tekniğinin uygulanabilirliği açısından genel olarak iki gruba ayrılması düşünölmüştür.

4.4. Problemin Belirlenmesi

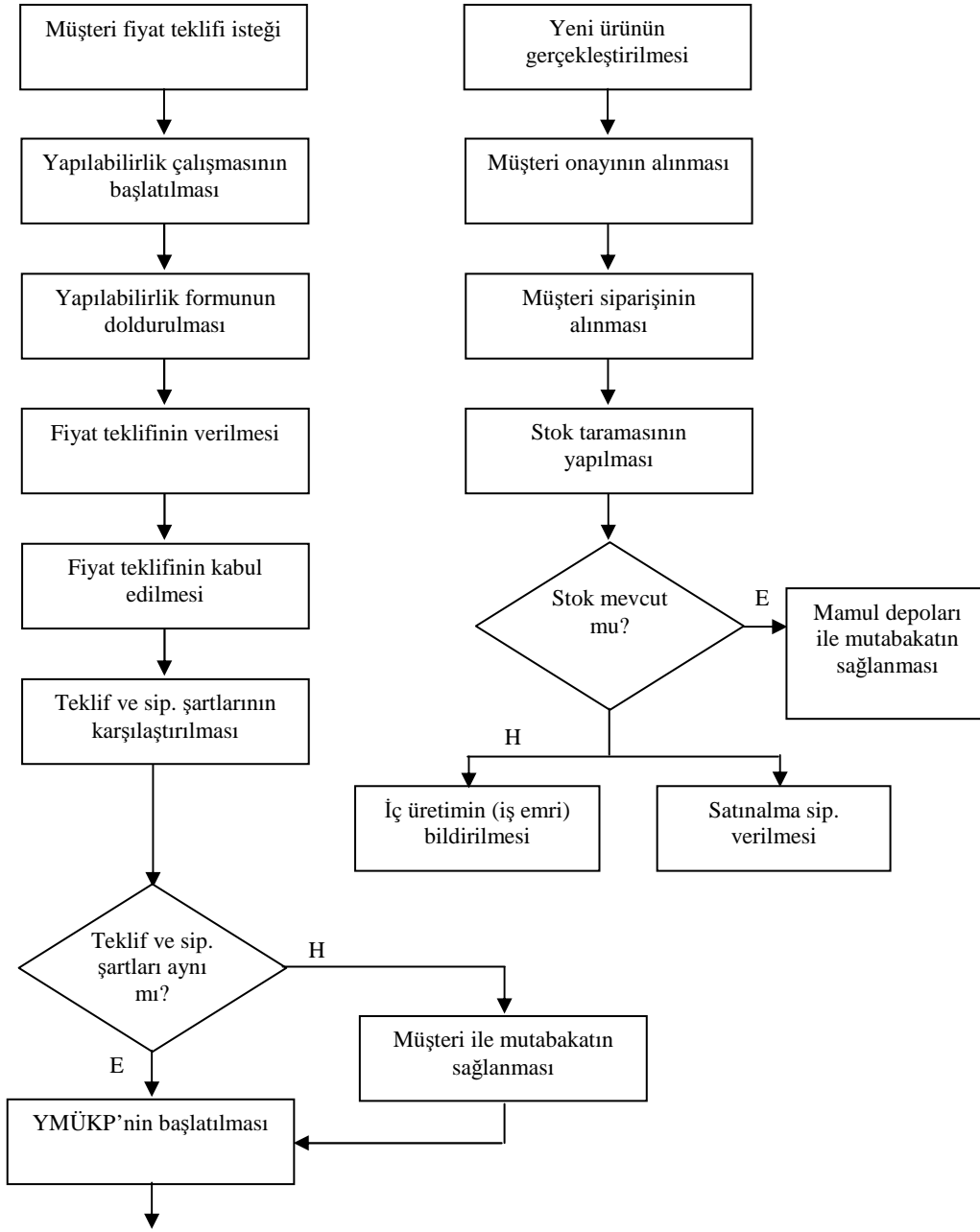
Firmanın problemi imalatını gerçekleştirmiş olduğu ürünlerin istenen müşteri memnuniyetini sağlayamayarak iade edilmesidir. Müşteride memnuniyetsizlik yaratabilecek ürünlerdeki genel kalite sorunları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

1. Havalı
2. Hamuru yetmemiş
3. Kopuk
4. Patlak
5. Kavruk
6. Yabancı madde
7. Kalın çapaklı
8. Vuruk
9. Hamur sıkışmamış
10. Pişmemiş
11. Kalıp hatası
12. Kalıp pisliği
13. Delik hatası
14. Ölçüsel hatalı
15. Hamursal hatalı
16. Kesim hatası
17. Yamuk
18. Kaçık
19. Fire yapışmış
20. Çizgili
21. Lekeli
22. Zımpara hatası
23. Sertlik hatası
24. Pürüzlü
25. Muhtelif
26. Konik

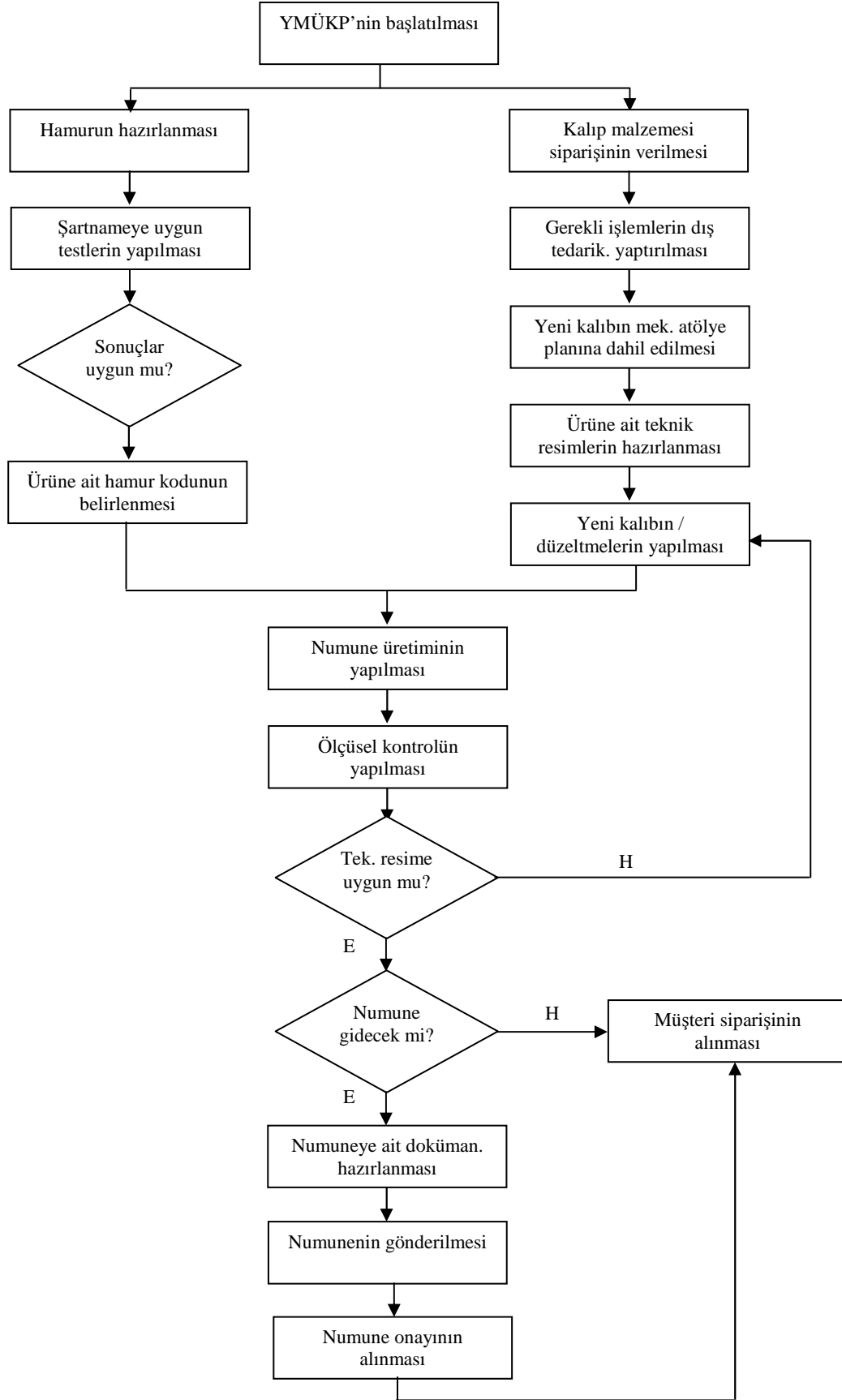
Kauçuğun malzemeye şekil verildikten sonra bir daha kullanımı söz konusu olmamaktadır. Malzemenin bu dezavantajı göz önünde bulundurulduğunda, üretilen üründe meydana gelebilecek hataları sonradan düzeltmenin mümkün olamayacağı dikkate alınarak, hatasız ürünlerin üretilebileceği optimum proses şartlarının belirlenebilmesi için, kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırılması istenmektedir. Bizim sorunumuz ürünün çalıştığı ortama uygun dayanıklılıkta olabilmesi. Amacımız ürünün dayanıklılığını etkileyen faktörlerin üretim aşamasındaki optimum değerlerini bulmak. İstenen dayanım ürüne müşterinin isteğine göre değişmektedir. Gaza dayanım, ateşe dayanım (alev almaz), sıcaklığa dayanım, ezilmeye dayanım, kopmaya dayanım, ... v.b. Bizim seçtiğimiz ürün kopmaya dayanıklı olacak. Ürünün kopmasına neden olan hatalardan bazıları havalı, hamursal hatalı, sertlik hatalı, pişmemiş, kavrulmuş. Bu hatalara neden olabilecek ölçülebilen faktörler; çalışma şartlarını kontrol edip değiştirebileceğimiz vulkanizasyon aşaması ve ürünün özelliklerine etki eden hamurudur.



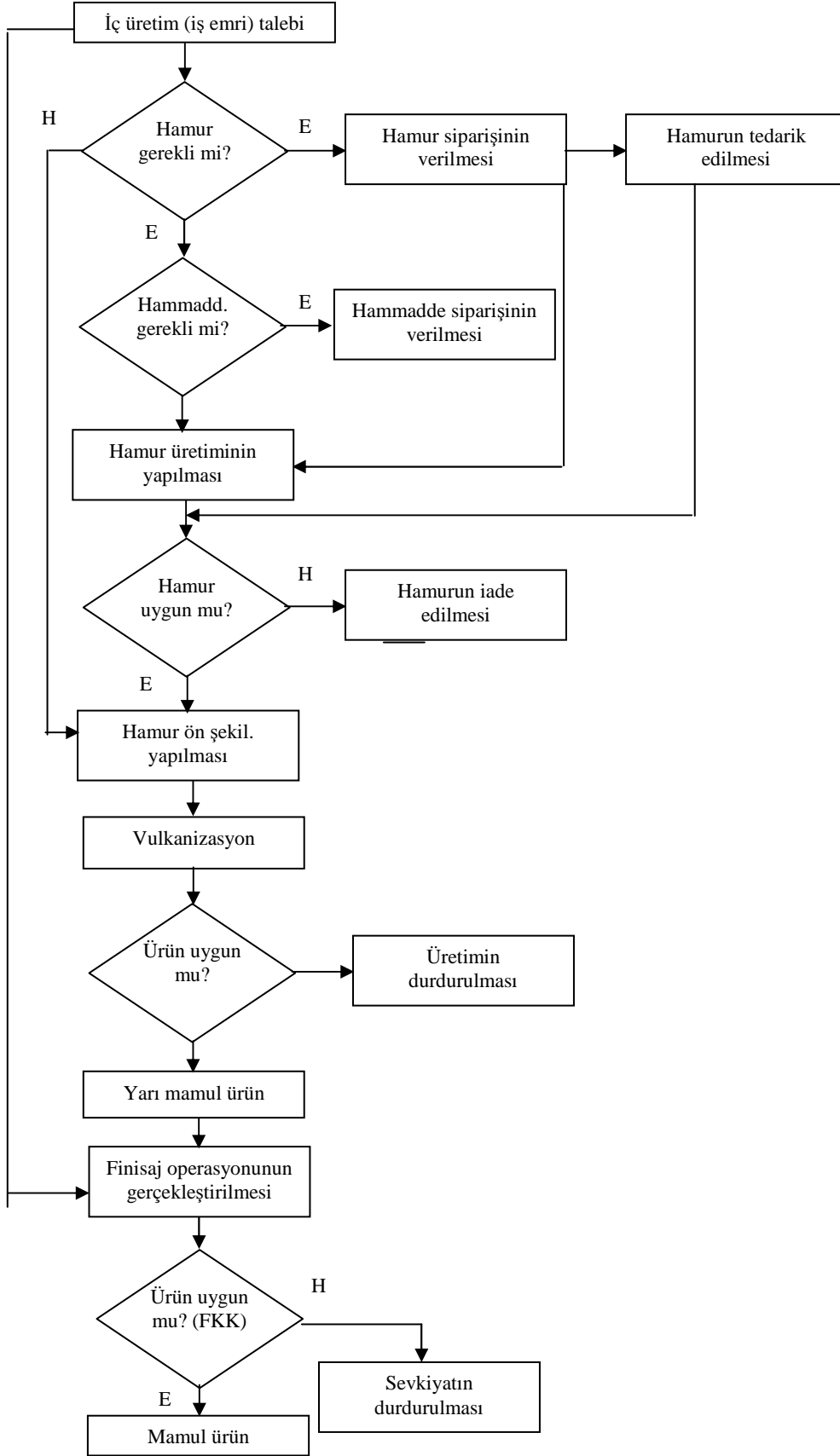
Şekil 4.10. İş akış şeması



Şekil 4.11. Süreç seması (birinci aşama)



Şekil 4.12. Süreç seması (ikinci aşama)



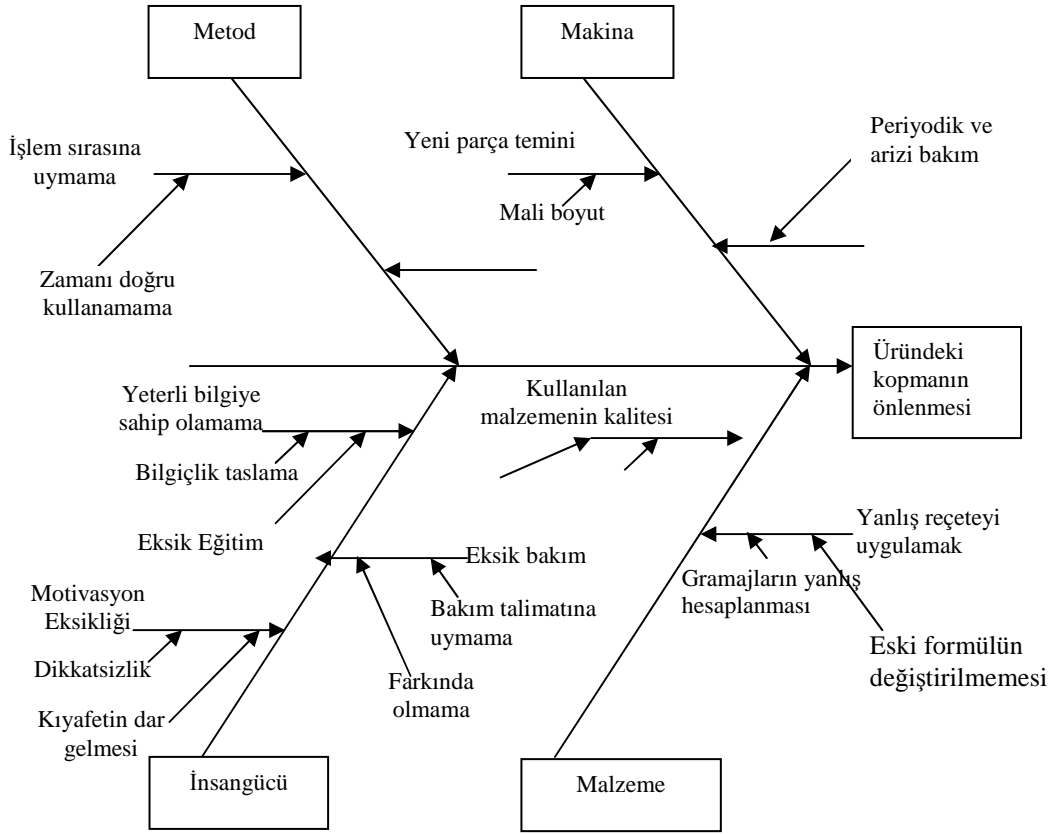
Şekil 4.13. Süreç seması (üçüncü aşama)



Şekil 4.14. Süreç seması (dördüncü aşama)

4.5. Performans Karakteristiğinin Belirlenmesi

Gerçekleştirilen beyin fırtınası oturumları neticesinde, kauçuk üretiminde müşteri istek ve beklentilerini karşılayacak ürünlerde genel olarak ele alınacak kalite karakteristiğinin ürün mukavemeti olması gerektiği ortaya konmuştur.



Şekil 4.15. Balık Kılıcı Diyagramı

4.6. Performans Karakteristiğini Etkileyeceği Düşünülen Faktör ve Seviyelerinin Belirlenmesi

Yapılan araştırma ve analizler sonucunda, kauçuk ürünün üretildiği prosese ve sağlamlığına etki edeceği düşünülen faktörler şunlardır;

1. Vulkanizasyon süresi
2. Vulkanizasyon sıcaklığı
3. Presleme basıncı
4. Hamurun sertliği
5. Hamurun gramajı
6. Hazırlanan hamurun bekleme süresi
7. Hamur hazırlanırken kullanılan barwell ve banburynin hızı

8. Ortam sıcaklığı ve nem durumu
9. Kalıplanmak üzere ambalajından çıkartılan hamurun kalıplanmak üzere beklerken hata faktörlerinin etkisi ve zamanın ilerlemesiyle hamurun kimyasal özelliklerinde olabilecek değişim.

Yukarıda bahsedilen faktörlerden ilk altısı kontrol edilebilir faktör olarak belirlenmiştir. Diğer faktörler ise kontrolleri zor, pahalı ve zaman alıcı olduğundan, bunlar kontrol edilemeyen (noise, hata) faktörler olarak kabul edilmiştir. Her deney için yapılan 5 tekrar, kontrol edilemeyen faktörlerin gün boyunca değişmesi durumunda, bu faktörlerin etkilerinin belirlenmesinde fayda sağlamıştır.

Kademeler mümkün olduğunca tüm faktörler için 2'li olarak belirlenmelidir. Zorunluluklar dolayısıyla ancak daha üst kademe sayısına başvurulur. Seviyeler belli olduktan sonra deneyde faktör şartlarını belirleyen Ortogonal Diziyi belirlemeye geçilir. Performans karakteristiğini etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyeleri, Tablo1'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Faktör-seviye diyagramı

Kod	Faktörler	1. Seviye	2. Seviye
A	Vulkanizasyon süresi (sn)	150	180
B	Üst Kalıp sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	125	145
C	Alt Kalıp sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	135	155
D	Presleme basıncı (bar)	130	180
E	Hamurun sertliği (shore)	60	70
F	Hamurun gramajı (gr)	125	140
G	Hamurun bekleme süresi (sa)	7	15

4.7. Problem İçin Uygun Ortogonal Dizinin Seçimi

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

Faktör grubunun toplam serbestlik derecesi; gruptaki tüm faktörlerin ve etkileşimlerin ayrı ayrı serbestlik dereceleri toplamıdır. Tablo 2’de gösterildiği gibi toplam serbestlik derecesi 9 olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4. Faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri ve toplam serbestlik derecesi

Faktör/Etkileşim	Serbestlik Derecesi	
A	$V_A=K_A-1=$	$2-1=1$
B	$V_B=K_B-1=$	$2-1=1$
C	$V_C=K_C-1=$	$2-1=1$
D	$V_D=K_D-1=$	$2-1=1$
E	$V_E=K_E-1=$	$2-1=1$
F	$V_F=K_F-1=$	$2-1=1$
G	$V_G=K_G-1=$	$2-1=1$
A*B	$V_{AxB}=(V_A)*(V_B)=$	$1*1=1$
A*C	$V_{AxC}=(V_A)*(V_C)=$	$1*1=1$
Toplam Serbestlik Derecesi = 9		

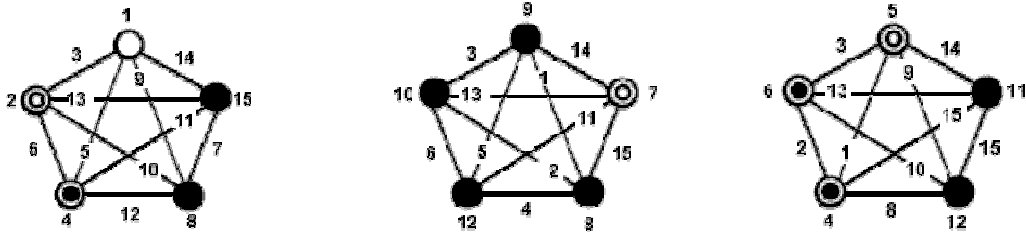
Serbestlik derecesi hangi dizinin deneme sayısına uygun düşüyorsa o tercih edilmiştir. Toplam serbestlik derecesi en fazla, seçilecek olan dizinin deneme sayısından bir eksik olabilir. Bu nedenle bu probleme en uygun ortogonal dizi L_{16} ’dir. ($VL_{16}=16-1=15 > L9$)

4.8. Faktörlerin Belirlenen Ortogonal Diziye Atanması

Belirlenen standart L_{16} ortogonal dizisi aşağıdaki gibidir.

Tablo 4.5. L16 ortogonal dizisi

	Faktörler														
	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



Şekil 4.16. L16 ortogonal dizisi etkileşimleri

Faktör ve etkileşimlerin L_{16} ortogonal dizisine atanması triangüler gösterimler dikkate alınarak yapılmıştır.

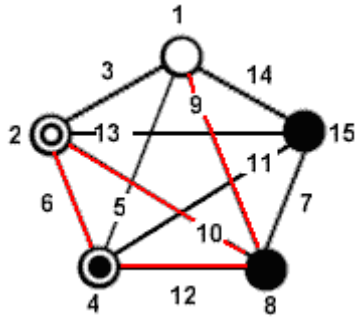
Tablo 4.6. L16 (2**15) dizisi için standart etkileşim tablosu [34]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2		(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3			(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4				(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5					(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6						(6)	1	14	15	12	13	10	11	8	9
7							(7)	15	14	13	12	11	10	9	8
8								(8)	1	2	3	4	5	6	7
9									(9)	3	2	5	4	7	6
10										(10)	1	6	7	4	5
11											(11)	7	6	5	4
12												(12)	1	2	3
13													(13)	3	2
14														(14)	1
15															(15)

Tablo'ya göre, koyu renkle yazılmış faktör kolon numaralarının keşistikleri rakam, o faktörlerin etkileşimlerinin yerleştirileceği kolon numarasını vermektedir. Örneğin; 1 ve 2 numaralı kolonun keşimi 3 nolu kolona, 1 ve 4 nolu kolonun keşimi 5 nolu kolona, 3 ve 6 nolu kolonun keşimi 5 nolu kolona vb. yerleştirilecektir.

Yerleştirme işlemi yapılırken, öncelikle etkileşimli oldukları tahmin edilen faktörler yazılır ve bunların etkileşimleri tabloya bakılarak ilgili kolona atanır. Daha sonra kalan faktörler, mümkün olduğu kadar herhangi 2 faktörün etkileşiminin olmadığı kolona denk gelecek şekilde yerleştirilir [32]. Problem için faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması, Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Faktör ve etkileşimlerin kolonlara atanması



Faktörler/Etkileşimler	Atanacağı Kolon
A	1
B	2
A*B	3
C	4
A*C	5
D	7
E	8
F	11
G	13

L16 tablosunda her faktör grubu için belirtilen düzeylerdeki deneyler; deney sırasında oluşabilecek ve sonuçları olumsuz yönde etkileyebilecek fakat başlangıçta öngörülmemiş olan değişkenlik kaynaklarına karşı korunabilmek için rassal bir biçimde gerçekleştirilir.

4.9. Deneylerin Yapılması ve Verilerin Toplanması

Tablo 4.8. Deneyler sonucu elde edilen veriler

Vulkanizasyon süresi (sn)	Üst Kalıp sıcaklığı (°C)	Alt Kalıp sıcaklığı (°C)	Presleme basıncı (bar)	Hamurun sertliği (shore)	Hamurun gramajı (gr)	Hamurun bekleme süresi (sa)	Ürünün Kopma Mukavemeti (N/mm ²)				
							Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
150	125	135	130	60	125	7	90,88	71,16	95,87	71,14	89,14
150	125	135	130	60	140	15	103,87	81,20	98,13	125,81	85,65
150	125	155	180	70	125	7	80,51	61,40	87,81	68,39	68,62
150	125	155	180	70	140	15	101,63	51,14	73,41	58,81	68,87
180	145	135	130	70	125	15	112,22	79,13	101,84	71,77	61,85
180	145	135	130	70	140	7	94,57	108,35	97,78	76,70	84,39
180	145	155	180	60	125	15	77,79	87,61	62,77	89,00	96,13
180	145	155	180	60	140	7	107,81	81,91	79,33	117,44	69,07
150	145	135	180	70	125	7	82,25	81,77	86,54	94,61	90,28
150	145	135	180	70	140	15	59,26	82,12	73,03	118,07	93,80
150	145	155	130	60	125	7	72,20	84,07	75,48	103,54	67,44
150	145	155	130	60	140	15	104,56	107,00	90,33	99,92	114,47
180	125	135	180	60	125	15	77,93	65,71	78,50	84,44	99,67
180	125	135	180	60	140	7	67,69	98,33	94,10	76,56	69,11
180	125	155	130	70	125	15	100,84	70,47	80,50	61,37	81,13
180	125	155	130	70	140	7	77,54	73,26	52,06	113,39	78,28

Belirlenen deneme koşullarına göre testler yapıp, her deneme 5'şer kez tekrarlanmıştır. Böylece her bir denemeden 5'şer veri sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar yukarıda Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Toplanan veriler, Minitab 15 programının Taguchi analizi kısmında çözümlenmiş ve aşağıdaki veriler ve grafikler elde edilmiştir.

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	85,35	80,86	86,88	87,73	87,82	81,59	83,52
2	83,96	88,45	82,43	81,58	81,49	87,72	85,79

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29
	A	B	AB	C	AC	D	E			F	G				Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	SNR	LSTD	STDE	MEAN1	CV1	PSNRA	PMEAN	PSTDE	PLSTD	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	90,88	71,16	95,87	71,14	89,14	38,23	2,46	11,66	83,64	0,14	39,94	101,81	15,66	2,69	
2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	103,87	81,20	98,13	125,81	85,65	39,60	2,87	17,59	98,93	0,18					
3	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	80,51	61,40	87,81	68,39	68,62	37,10	2,36	10,61	73,35	0,14					
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	101,63	51,14	73,41	58,81	68,87	36,33	2,96	19,31	70,77	0,27					
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	112,22	79,13	101,84	71,77	61,85	38,01	3,05	21,03	85,36	0,25					
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	94,57	108,35	97,78	76,70	84,39	39,12	2,50	12,23	92,36	0,13					
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	77,79	87,61	62,77	89,00	96,13	38,05	2,66	12,90	82,66	0,16					
8	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	107,81	81,91	79,33	117,44	69,07	38,69	3,02	20,50	91,11	0,23					
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	82,25	81,77	86,54	94,61	90,28	38,76	1,70	5,45	87,09	0,06					
10	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	59,26	82,12	73,03	118,07	93,80	37,93	3,10	22,28	85,25	0,26					
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	72,20	84,07	75,48	103,54	67,44	37,84	2,65	14,21	80,54	0,18					
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	104,56	107,00	90,33	99,92	114,47	40,20	2,19	8,94	103,26	0,09					
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	77,93	65,71	78,50	84,44	99,67	37,96	2,51	12,35	81,25	0,15					
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	67,69	98,33	94,10	76,56	69,11	37,88	2,66	14,23	81,16	0,18					
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	100,84	70,47	80,50	61,37	81,13	37,59	2,69	14,73	78,86	0,19					
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	77,54	73,26	52,06	113,39	78,28	37,16	3,09	22,05	78,91	0,28					
17																													
18																													

Şekil 4.17. Elde edilen sonuçların minitab çıktıları

15.08.2008 17:37:34

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

L16(2**7)

Factors: 7
 Runs: 16
 Interactions

AB
 AC

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3; Y4; Y5 versus A; B; C; D; E; F; G

Response Table for Signal to Noise Ratios
 Larger is better

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	38,25	37,73	38,44	38,47	38,56	37,94	38,10
2	38,06	38,57	37,87	37,84	37,75	38,36	38,21
Delta	0,19	0,84	0,57	0,63	0,81	0,42	0,11
Rank	6	1	4	3	2	5	7

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	85,35	80,86	86,88	87,73	87,82	81,59	83,52
2	83,96	88,45	82,43	81,58	81,49	87,72	85,79
Delta	1,40	7,60	4,45	6,15	6,33	6,12	2,27
Rank	7	1	5	3	2	4	6

Response Table for Standard Deviations

Level	A	B	C	D	E	F	G
1	13,76	15,32	14,60	15,31	14,05	12,87	13,87
2	16,25	14,69	15,41	14,70	15,96	17,14	16,14
Delta	2,50	0,62	0,80	0,60	1,91	4,28	2,27
Rank	2	6	5	7	4	1	3

Main Effects Plot for Means

Main Effects Plot for StDevs

Main Effects Plot for SN ratios

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3; Y4; Y5 versus A; B; C; D; E; F; G

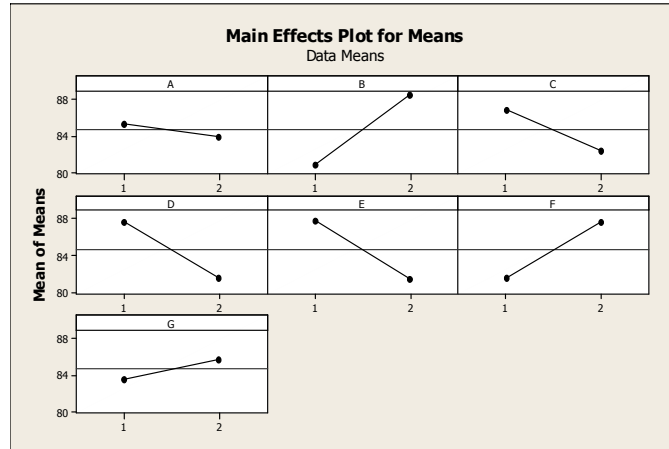
Predicted values

S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
39,9403	101,814	15,6636	2,69200

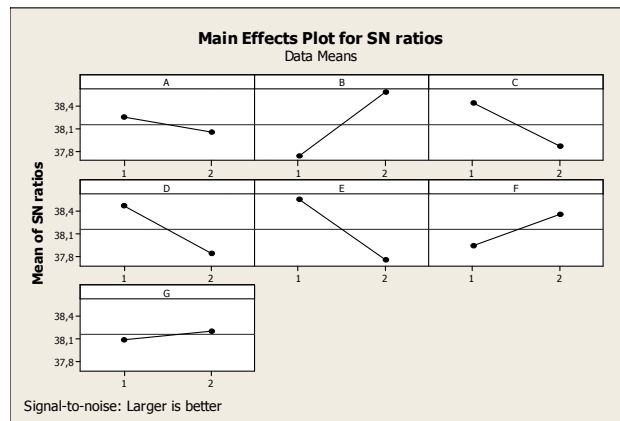
Factor levels for predictions

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

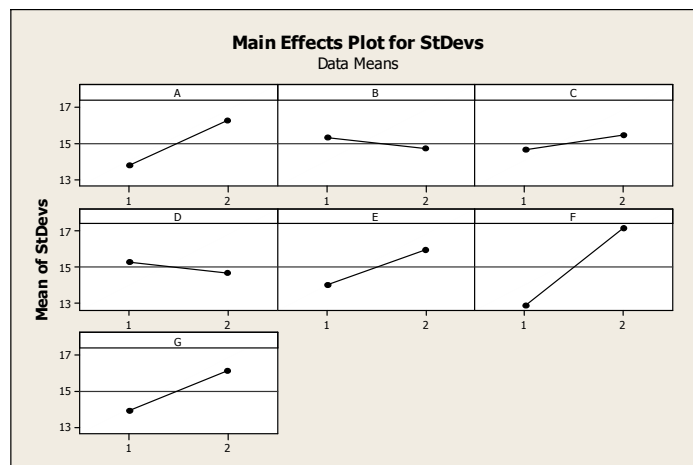
Tablo 4.9. Ortalamalar için sonuç tablosu



Tablo 4.10. S/N oranı için sonuç tablosu



Tablo 4.11. Standart sapma için sonuç tablosu



Tablo 4.12. Minitab sonuçlarına göre veri analizi özet tablosu

Faktör / Etkileşim	Ortalamalar İçin Sonuç (En Büyük En İyi)		S/N Oranı İçin Sonuç (En Büyük En İyi)		Log (Std) İçin Sonuç (En Büyük En İyi)	
	Etki Derecesi	Uygun Seviye	Etki Derecesi	Uygun Seviye	Etki Derecesi	Uygun Seviye
A	7	1	6	1	2	1
B	1	2	1	2	6	2
C	5	1	4	1	5	1
D	3	1	3	1	7	2
E	2	1	2	1	4	1
F	4	2	5	2	1	1
G	6	2	1	2	3	1

Sonuç olarak, Tablo 4.12'ye göre $A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ kombinasyonu ortalama mukavemet değerinin en yüksek olduğu çözümü vermektedir.

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Elde edilen veriler, Taguchi analizi ile çözümlenmiş, ortalamaya ve S/N oranına göre varyans analizine tabi tutulmuş ve hesap tablosu yöntemi ile incelenerek her üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.1 Gözlem Değerleri Ortalamasına Göre Yapılan Analizler

5.1.1 Hesap tablosu yöntemiyle faktör etkilerinin ve seviyelerinin belirlenmesi

Daha önce anlatıldığı şekliyle hesaplanan tablo değerleri Tablo 5.1'deki gibidir. Hesap tablosu yönteminde, gözlem değerlerinin ortalamaları alınarak seçilen ortogonal dizideki dolu hücrelere atanır. Her bir sütun toplamı değer sayısına bölünerek ortalama sütun etkisi hesaplanır. Böylece her bir faktör için 2 seviyede ayrı ayrı etkiler ortaya çıkar. Bu 2 seviyeye ait etkilerden en küçüğü en büyük değerden çıkarılarak sütun etkisi hesaplanmış olur. Bu yöntemle belirlenen faktör etki değerleri ve seviyeleri sıralaması Tablo 5.2'deki gibi özetlenebilir.

Aşağıda da görüldüğü gibi ortalamalardan elde edilen kombinasyon $A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ olarak bulunur.

Tablo 5.1. Ortalama değerler için hesap tablosu

NO	Y	A	B	AB	C	AC	D	E	F	G									
1	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64	83,64									
2	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93	98,93									
3	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35	73,35									
4	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77	70,77									
5	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36	85,36									
6	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36	92,36									
7	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66	82,66									
8	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11	91,11									
9	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09	87,09									
10	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26	85,26									
11	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55	80,55									
12	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26	103,26									
13	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25	81,25									
14	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16	81,16									
15	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86	78,86									
16	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91	78,91									
TOPLAM	682,85	671,7	646,87	707,7	686,46	668,1	695,05	659,5	673,60	680,9	701,87	652,7	702,56	652	652,76	701,8	668,17	686,4	
DEĞER SAATİ	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ORTALAMA	85,36	83,96	80,86	88,46	85,81	83,51	86,88	82,43	84,20	85,12	87,73	81,58	87,82	81,50	81,60	87,72	83,52	85,79	
ETKİ	-1,40		7,60	-2,30	-4,45	0,92	-6,15	-6,33	6,12	2,27									
SIRA	5	5	9	4	3	6	2	1	8	7									

Tablo 5.2. Ortalamaya göre hesap tablosuyla elde edilen faktör ve seviyeler

Faktör	Seviye	Etki
E	1	-6,33
D	1	-6,15
C	1	-4,45
A	1	-1,40
G	2	2,27
F	2	6,12
B	2	7,60

5.1.2. Ortalamaya göre varyans analizi

5.1.2.1. Kareler toplamı (varyasyon)

Ele aldığımız problemde kontrol edilebilen 7 faktör ve iki etkileşim bulunmaktadır. una göre kareler toplamı aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

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

Aynı zamanda ortogonal diziyi oluşturan kolonların, kareler toplamı da SS_T 'yi (toplam kareler toplamı) verir.

$$SS_T = SS_{KOLON}$$

Faktör etkilerinin belirlenmesinde kullanılan varyans analizini şöyle sunmak mümkündür. Hesaplama kullanılan notasyonlar şöylece sunulabilir.

SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı

SS_A : A faktörü için kareler toplamı

SS_O : Hata kareleri toplamı

V_T : Toplam serbestlik derecesi

V_A : A'nın serbestlik derecesi

$V_{A \times B}$: A ve B interaksiyonunu serbestlik derecesi

V_O : Hata varyansı

N: Elde edilen toplam veri sayısı

n_A : A faktörü için veri sayısı

T: Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması

Y_i : Gözlenmiş i. Değer

k_A : A faktörünün kademe sayısı

Aşağıda varyans analizine dair bazı formüller verilmiştir:

Tablo 5.3. Varyans analizinde kullanılan formüller

$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N}$	: Tüm verilerin kareleri toplamını verir.
$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N}$	: A faktörünün kareleri toplamını verir.
$SS_O = \sum_{j=1}^{k_A} \sum_{i=1}^{n_{A_j}} (y_i - A_j)^2$	: Hata kareleri toplamını verir.
$SS_T = SS_A + SS_O$	: Tüm verilerin kareleri toplamı aynı zamanda faktörlerle hatanın kareleri toplamıdır.
$v_A = k_A - 1$	: A'nın serbestlik derecesi kademe sayısından 1 çıkarmakla bulunur. Bu her faktör için aynıdır.
$v_{AxB} = (v_A)(v_B)$	: Herhangi bir interaksiyonun serbestlik derecesi ilgili faktör serbestlik derecelerinin çarpımına eşittir.

Tablo 5.3'deki formüller kullanılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$\begin{aligned}
 SS_A &= 7,81 \\
 S_B &= 230,89 \\
 SS_{AXB} &= 21,16 \\
 SS_C &= 79,12 \\
 SS_{AXC} &= 3,35 \\
 SS_D &= 151,41 \\
 SS_E &= 160,02 \\
 SS_F &= 150,06 \\
 SS_G &= 20,66 \\
 SS_e &= 44,35 \\
 SS_T &= 1090,60
 \end{aligned}$$

5.1.2.2. Serbestlik derecesi (v)

Gurubun serbestlik derecesi eldeki veri sayısından 1 çıkarmakla bulunur. Ayrıca tüm faktörlerin serbestlik dereceleri ile hata serbestlik derecesinin toplamına eşittir.

Bu bakımdan hata serbestlik derecesinden faktörlerin toplam serbestlik derecelerini çıkarmak gerekir.

$$v_T = N - 1$$

$$v_T = v_A + v_O$$

$$v_O = v_T - v_A$$

v , toplam serbestlik derecesi dizinin deneme sayısının bir eksiğine eşittir. O halde; $v = 16 - 1 = 15$ olur.

$v_T = v_A + v_B + v_C + v_D + v_E + v_F + v_G + v_e$ Tablo 4.3’de belirtildiği gibi, her bir faktörün serbestlik derecesi 2 olduğundan; $15 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + v_e \Rightarrow v_e = 8$ olarak bulunur. (Hata serbestlik derecesi, ortogonal dizide atama yapılmamış olan kolonların serbestlik derecelerinin toplamıdır.)

5.1.2.3. Varyans

Varyanslarda genel olarak kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesiyle bulunur.

$$v_A = SS_A / v_A$$

$$v_O = SS_O / v_O$$

Bir faktörün varyansı, faktöre ait kareler toplamının, o faktöre ait serbestlik derecesi ile bölümünden elde edilen değere eşittir. Buna göre faktörlere ait varyans değerleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
V_A &= 7,81 \\
V_B &= 230,89 \\
V_{AXB} &= 21,16 \\
V_C &= 79,12 \\
V_{AXC} &= 3,35 \\
V_D &= 151,41 \\
V_E &= 160,02 \\
V_F &= 150,06 \\
V_G &= 20,66 \\
V_e &= 44,35
\end{aligned}$$

5.1.2.4. F – Testi

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlarla F testi yapılır. Bu testte önce aşağıdaki formül kullanılarak teorik F hesaplanır.

$$F = v_A / v_e$$

v_A , A faktörünün varyansıdır. Şayet dizide başka faktörler varsa o zaman her faktörün ayrı ayrı F değeri bulunur. Bulunan F değeri tablo değeri olan F_{α, v_A, v_e} ile karşılaştırılır.

$$\begin{aligned}
F_A &= 0,18 \\
F_{AXB} &= 5,21 \\
F_B &= 0,48 \\
F_{AXC} &= 1,78 \\
F_C &= 0,08 \\
F_D &= 3,41 \\
F_E &= 3,61 \\
F_F &= 3,38 \\
F_G &= 0,47
\end{aligned}$$

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

Eğer teorik F tablo değerinden büyükse o zaman hipotez $1 - \alpha$ güvenle kabul edilir.

Taguchi tekniğinde, faktörlerin performans karakteristiğine olan etkilerini tanımlamak için F oranı referans olarak kullanılır.

Yukarıdaki değerlerden yola çıkılarak % 90 ve % 95 güvenilirlik düzeyinde F testi yapılmıştır.

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

$$F_{\alpha ; V_1 ; V_2}$$

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

$$\text{Güven} = 1 - \alpha$$

$$V_1 = \text{payın serbestlik derecesi}$$

$$V_2 = \text{paydanın serbestlik derecesi}$$

Tablo 5.4. Ortalamaya göre hesap tablosuyla elde edilen veriler

	Serbestlik Derecesi (v)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (V)	F Değeri
A	1	7,81	7,81	0,18
B	1	230,89	230,89	5,21
AB	1	21,16	21,16	0,48
C	1	79,12	79,12	1,78
AC	1	3,35	3,35	0,08
D	1	151,41	151,41	3,41
E	1	160,02	160,02	3,61
F	1	150,06	150,06	3,38
G	1	20,66	20,66	0,47
HATA (e)	6	266,12	44,35	
TOPLAM	15	1090,60		

Yapılan işlemler sonucunda elde edilen verileri yukarıdaki tablo ile özetleyebiliriz.

$$F_{(0.1); 1; 6} = 3,7795 \text{ (%90 güven aralığı)}$$

$$F_{(0.05); 1; 6} = 5,9874 \text{ (%95 güven aralığı)}$$

5.2. S/N Oranına göre Yapılan Analizler

5.2.1. S/N oranına göre hesap tablosu yönteminin uygulanması

Bu kez hesap tablosu yönteminde ortalama değerler yerine S/N oranları konularak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kalite karakteristiği olan aktivite

değerinin en yüksek – en iyi olduğu tespit edilmiş ve $S / N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^{-2} \right]$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Bu yöntemle elde edilen faktör seviyeleri ve sıralamaları şu şekilde özetlenebilir:

Tablo 5.5 S/N oranına göre hesap tablosu yöntemiyle bulunan faktör ve seviyeler

NO	Y	A	B	AB	C	AC	D	E	F	G
1	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23	38,23
2	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60	39,60
3	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10	37,10
4	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33	36,33
5	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01	38,01
6	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12	39,12
7	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05	38,05
8	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69	38,69
9	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76	38,76
10	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93	37,93
11	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84	37,84
12	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20	40,20
13	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96	37,96
14	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88	37,88
15	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59	37,59
16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16	37,16
TOPLAM	305,99	304,5	301,85	308,6	306,01	304,4	307,49	303	304,56	305,9
DEĞER SAYISI	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
ORTALAMA	38,25	38,06	37,73	38,38	38,25	38,06	38,44	37,87	38,07	38,24
ETKİ	-0,19	0,84	-0,20	-0,57	0,17	0,17	-0,63	-0,81	0,42	0,11
SIRA	5	9	4	3	7	7	2	1	8	6

Tablo 5.6. S/N oranına göre hesap tablosuyla elde edilen faktör ve seviyeler

Faktör	Seviye	Etki
A	1	0,19
B	2	-0,16
C	1	0,56
D	1	0,63
E	1	-0,80
F	2	-0,42
G	2	0,11

5.2.2. S/N oranına göre varyans analizi

Bölüm 5.1.2 ' de ortalama değerler üzerinde yapılan varyans analizi hesaplamaları, S/N oranı için de yapılmış ve varyans analizi özet tablosu aşağıda sunulmuştur.

S/N oranına göre yapılan varyans analizi sonuçlarına göre faktör etkilerinin sıralanışı: $A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ olarak bulunmuştur.

Tablo 5.7. S/N oranına göre hesap tablosuyla elde edilen veriler

	Serbestlik Derecesi (v)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (V)	F Değeri
A	1	0,15	0,15	0,20
B	1	2,85	2,85	3,87
AXB	1	0,15	0,15	0,21
C	1	1,28	1,28	1,74
AXC	1	0,11	0,11	0,15
D	1	1,59	1,59	2,17
E	1	2,60	2,60	3,54
F	1	0,71	0,71	0,97
G	1	0,05	0,05	0,07
HATA (e)	6	4,41	0,74	
TOPLAM	15	13,91		

5.3. Doğrulama DeneYeri İçin Güven Aralığının Bulunması

Faktörlerin optimum seviyeleri problemin maksimizasyon problemi olduğu dikkate alınarak Minitab programından elde ettiğimiz $A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ kombinasyona göre aşağıdaki sonuçları elde etmiş oluruz.

Bu faktörlere ait yığının beklenen ortalaması aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\mu_{A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2} = \bar{T} + (\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + [(\bar{A}_1 \bar{B}_2 - \bar{T}) - (\bar{A}_1 - \bar{T}) - (\bar{B}_2 - \bar{T})] + (\bar{C}_1 - \bar{T}) + [(\bar{A}_1 \bar{C}_1 - \bar{T}) - (\bar{A}_1 - \bar{T}) - (\bar{C}_1 - \bar{T})] + (\bar{D}_1 - \bar{T}) + (\bar{E}_1 - \bar{T}) + (\bar{F}_2 - \bar{T}) + (\bar{G}_2 - \bar{T})$$

A_1B_2	A_1C_1	A_1	B_2	C_1	D_1	E_1	F_2	G_2	T
87,09	83,64	83,64	85,36	83,64	83,64	83,64	98,93	98,93	83,64
85,25	98,93	98,93	92,36	98,93	98,93	98,93	70,77	70,77	98,93
80,54	87,09	73,35	82,66	85,36	85,36	82,66	92,36	85,36	73,35
103,26	85,25	70,77	91,11	92,36	92,36	91,11	91,11	82,66	70,77
		87,09	87,09	87,09	80,54	80,54	85,25	85,25	85,36
		85,25	85,25	85,25	103,26	103,26	103,26	103,26	92,36
		80,54	80,54	81,25	78,86	81,25	81,16	81,25	82,66
		103,26	103,26	81,16	78,91	81,16	78,91	78,86	91,11
									87,09
									85,25
									80,54
									103,26
									81,25
									81,16
									78,86
									78,91
$\bar{A}_1 \bar{B}_2$	$\bar{A}_1 \bar{C}_1$	\bar{A}_1	\bar{B}_2	\bar{C}_1	\bar{D}_1	\bar{E}_1	\bar{F}_2	\bar{G}_2	\bar{T}
89,04	88,73	85,35	88,45	86,88	87,73	87,82	87,72	85,79	84,66

$$\mu_{A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2} = \bar{A}_1 \bar{B}_2 + \bar{A}_1 \bar{C}_1 - \bar{A}_1 + \bar{D}_1 + \bar{E}_1 + \bar{F}_2 + \bar{G}_2 - 4\bar{T}$$

$$\mu_{A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2} = 102,8$$

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

$$CI = \sqrt{F_{\alpha; 1; v_e} \cdot V_e \left\{ \left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} \right] + \left[\frac{1}{r} \right] \right\}}$$

$n_{\text{off}} = N / [1 + \mu \text{ kestiriminde kullanılan faktörlerin toplam serbestlik derecesi}]$

r = Doğrulama deneyi için örnek hacmi

$F_{\alpha; 1; v_2}$ = Gerekli F oranı

α = Risk 1-risk = Güven

v_1 = payın serbestlik derecesi

$v_2 =$ paydanın serbestlik derecesi

$F_{(0.1); 1; 6} = 3,7795$ (% 90 güven düzeyinde F-tablo değeri)

$F_{(0.05); 1; 6} = 5,9874$ (% 95 güven düzeyinde F-tablo değeri)

$N = 16$

$r = 4$ (doğrulama deneyinde 4 veri elde edilmiştir)

$n_{\text{off}} = N / [1 + \text{faktörlerin toplam serbestlik derecesi}]$

$n_{\text{off}} = 16 / [7 + 1]$

V_e değeri, minitab programında hesaplayarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

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

$$CI = \sqrt{3,7795 * 44,35 * \left[\left(\frac{8}{16} \right) + \left(\frac{1}{4} \right) \right]}$$

$CI = 11,17$

$$\mu_{A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2} - 11,17 \leq \mu_{\text{doğrulama deneyi}} \leq \mu_{A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2} + 11,17$$

Buna göre doğrulama deneyi ortalamasının içine düşmesi beklenen güven aralığı:

$91,62 \leq \mu_{\text{doğrulama deneyi}} \leq 113,97$ olarak bulunmuştur.

5.3.1. Doğrulama deneyi

Doğrulama deneylerimizi S/N Oranına göre değil Ortalamayı dikkate alarak yaptık. Bizim için önemli olan ürünü en yüksek mukavemet değerlerine ulaştıracak olan üretim faktörlerinin kombinasyonlarını belirlemektir. S/N oranı büyük varyansı küçük olan kombinasyonu da seçebiliriz. Bu çalışmada varyasyonu göz ardı ettik. Elde $A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ kombinasyonuna göre elde edilen değer 102,80 ancak biz yaptığımız deneylerde $A_1B_2C_2D_1E_1F_2G_2$ kombinasyonu ile 103,26 değerine ulaştık. Gürültü faktörleri sonucu etkilemiş olabilir.

$A_1B_2C_1D_1E_1F_2G_2$ koşullarında yapılan doğrulama deneyleri sonucunda 4 veri elde edilmiştir. Bu veriler 95, 104, 103 ve 99 değerleridir ve bunların ortalaması 100,25'tir. Bu değer belirlenen güven aralığı içinde olduğuna göre, ürünün sağlamlığına etki edeceği belirlenen faktör ve seviyelerinin doğru seçildiğine inanılır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Taguchi, geliştirmiş olduğu deney tasarımında ilk deneyde seviye sayısı az 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. Taguchi tekniği geniş kullanım alanı kabul görmesine rağmen bir çok eleştirilerle karşı karşıya kalmıştır. Geleneksel Taguchi yaklaşımının tek yanıtli problemlerin eniyilemesine çalışması eleştirilerin bir tanesidir. Normal hayattaki uygulamalara bakıldığında iki yada daha fazla yanıtın ele alındığı görünmektedir. Son dönemlerde geliştirilen çok yanıtli eniyileme algoritmaları ile bu problemler ortadan kalkmaktadır. Taguchi metodunun dezavantajlarından birisi de, deneyler yapılmadan önce etkileşimlerle ilgili olarak bilgi verememesi ve seçilen seviyelerden farklı bir seviyede daha optimum bir sonuca varılacak dahi olsa bu seviyeleri önerememesidir. Ayrıca faktörler arasında bazı mümkün etkileşimlerin olabileceğinin tahmin edilmek istenmesi, serbestlik derecesini büyütür buda bazı önemli etkilerin tahminini etkiler. Parametre tasarımında, faktör ve seviye sayısının artması ortogonal dizilerin kullanımını sınırlandırır.

Geleneksel istatistik araçlarını yeni bir anlayışla kullanarak değişkenliğe karşı duyarsız, bir başka deyişle robüst ürün ve süreçler yaratarak kalitenin gerçekleştirilebileceğini belirten Taguchi önemli ve yeni bir kalite mühendisliği düşüncesini geliştirmiştir. Teknik yönden bazı eleştirilere maruz kalmakla birlikte, bilim çevrelerinde olduğu kadar, endüstriyel uygulayıcılar için de kalite geliştirme ve maliyetleri düşürme konusunda yeni bir bakış açısı oluşturmuştur.

Üretimde zaman ve maliyet açısından bilimsel metotların kullanılması bir zorunluluktur. Deneysel tasarım metotları da, işletmelerin artan rekabet şartlarında

pazar paylarını arttırabilmeleri ve etkin çalışabilmeleri için önemli bir rol oynamaktadır.

Taguchi metodunun parametre tasarımı aşamasında uygulanması, yani ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce uygulanması işletmeler açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Çünkü, daha işe başlamadan, sonuç hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Böylece, işletmeler sistemlerini, zaman ve maliyet kaybı oluşturmaktan etkin ve verimli bir şekilde kurabilirler.

Artan uluslar arası rekabet sonucu müşteriye daha çok çeşidi daha kaliteli ve daha ucuza mal ederek sunuma 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.

Bu çalışmada kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırıldığı Taguchi deneysel tasarım metodu tanıtılmış ve Laspar San. ve Tic. A.Ş.' de bir uygulama yapılmıştır.

Bu amaçla ürünlerde 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 7 kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, bunlar kullanılarak seçilen ortogonal diziyeye atama yapılmış ve denemeler buna göre sürdürülmüştür. Deneyde 7 adet iki seviye ve 2 adet etkileşim olduğundan serbestlik derecesi 9 faktöriyel tasarımına göre $2^9 \times 37 = 512$ deney yapmak gerekirken L_{16} ortogonal dizisi seçilmiş, her deneme 5'er kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Doğrulama deneyleri sonunda buluna yanıt da belirlenen güven aralıkları içerisinde yer almıştır.

Uygun üretim koşullarını sağladıktan sonra finisaj ve kalite kontrol işininde manuel olarak değil otomatik olarak yapılması amaçlanmıştır. Bunun için çapak alma işi

soğuk çapak alma makinasında azot gazı ile yapılmaktadır. Temizlenen parçaların ölçüsel ve çapak yönünden kontrolü de optik kontrol makinasında yaptırılmaktadır.

Ayrıca optik kontrol makinasında hatalı çıkan ürün sayısı optimum üretim şartları sağlandığından beri %60 azalmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] AYDIN M. E., Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Segman Sanayide Bir Uygulama, Standard, s.102 – 109, Ekim 1994
- [2] BARAÇLI H., Kalite Kontrolünde Taguchi Yaklaşımı, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1992
- [3] BAYNAL K., Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Fakültesi, 2003
- [4] BAYRAK Z., Taguchi Yönteminin Kalite Kontrolüne Uygulanması, Yüksek Lisans, Kocaeli Üniversitesi, s.1 – 112, Ekim 1996.
- [5] BOZKURT R., Kalite İyileştirme Araç ve Yöntemleri, MPM Yayınları, s.13, Ankara, 1998
- [6] BULLINGTON R. G., LOVIN S., MILLER D. M., WOODAL W. H., Improvement of an Industrial Thermostat Using Designed Experiments, Journal of Quality Technology, Vol. 25, No. 4, Ekim 1993
- [7] BURNAK H., ÇELİK C., Kalite Geliştirmede Taguchi Yöntemlerinin Rolü ve Bir Uygulama, Endüstri Mühendisliği, Cilt 5, Sayı 5, S.9 – 20, 1994
- [8] CHEN C. H., Specification Limit Under a Quality Loss Function, Journal of Applied Statistics, Vol. 26, No. 8, p.903 – 908, 1999
- [9] CHEN R.S., LEE H. H., YU C. Y., Application of Taguchi' s Method on The Optimal Process Design of An Injection Molded PC/PBT Automobile Bumper, Elsevier, Vol. 39, No. 3-4, p.209 – 214, 1997
- [10] CESARONE J., The Power of Taguchi, IIE Solutions, p.36 – 40, Kasım 2001
- [11] CONNOR A. M., “Parameter Sizing for Fluid Power Using Taguchi Methods”, Journal of Engineering Design, Vol.10, No. 4, p.377-390, 1999
- [12] ENGİN A.B., ÖZDEMİR Ö., TURAN M., TURAN A.Z., Color removal from textile dyebath effluents in a zeolite fixed bed reactor: Determination of optimum process conditions using Taguchi method

- [13] ERGEZER Ş., Toplam Kalite Yönetimi ve Yöneticilik, www.sitetky.com, 2002
- [14] ERTİRYAKI İ., Kalite Kontrol, İ.T.Ü. Rektörlüğü, Sayı 1483, Haziran 1992
- [15] ERZURUMLU T., ÖZÇELİK B., Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method
- [16] FIKIRKOCA M., Savunma Sanayide İstatistik Yöntemler, Aselsan, 2002
- [17] GUNTER, Berton, “A Perspective on the Taguchi Method”, Quality Progress, June 1987, pp. 44-52.
- [18] GÜRSÖZLÜ S., Toplam Kalite Yönetimi, www.sitetky.com, 2002
- [19] JAGULUM R., SEFİK M., Building a Manufacturing Strategy, Computers ind. Engng, Vol. 35, No. 1 – 2, p.225 – 228, 1998
- [20] JAYARAM J. S.R., İBRAHİM Y., Multiple Response Robust Design and Yield Maximization, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 12, No. 9, p.826 – 837, 1999
- [21] JIJU A., Teaching Advanced Statistical Techniques to Industrial Engineers and Business Managers, Journal of Engineering Design, Vol. 9, No. 1, p.89, Mart 1998
- [22] JIJU A., KAYE M., FRANGO A., A Strategic Methodology to The Use of Advanced Statistical Quality Improvement Techniques, The TQM Magazine, Vol. 10, No. 3, p.169 – 176, 1998
- [23] KACKAR R. N., 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, California 1989
- [24] KATZ L. E., PHADKE M. N., Macro Quality with Micro Money, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method. Edited by K. DEHNAD, Wadsworth & Brooks / Cole, p.23 – 29, California, 1989
- [25] KESKİN Y., Taguchi Tasarımı Teorik İnceleme ve Bir Uygulama, Lisans, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 1996
- [26] KOBU, B., Üretim Yönetimi, Avcıol Basım, Onuncu Baskı, İstanbul 1999
- [27] LOCHNER R. H., MATAR J.E., Designing for Quality, An Introduction to The Best of Taguchi and Western Methods of Statistical Experimental Design, Chapman and Hall, p. 1 – 240, Newyork

- [28] MONTGOMERY D. C., The Use of Statistical Process Control and Design of Experiments in Product and Process Improvement, IIE Transactions, Vol. 24, No. 5, p.4, 1992
- [29] MONTGOMERY D. C., RUNGER G. C., HUBELE N. F., Engineering Statistics, John Wiley & Sons, Inc. Newyork 1997
- [30] MULUK Z., TOKTAMIŞ Ö., KURT S., KARAAĞAOĞLU E., Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler, Akademi Matbaası, Ankara 1973
- [31] NEWBOLD P., İşletme ve İktisat İçin İstatistik, 4. Basımdan Çeviren ŞENESEN Ü., Editör Saadet ÖZKAL, Literatür Yayıncılık, p.393 – 402, İstanbul, 2000
- [32] PARK, S.H., Robust Design and Analysis for Quality Engineering, Chapman & Hall, 1996.
- [33] PARKINSON D. B., Quality – Based Design by Probability Optimization, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 9, p.29 – 37, 1993
- [34] PEACE, G.S., Taguchi Methods, Addison-Wesley Publishing Company, London, 1993.
- [35] PHADKE M. S., Quality Engineering Using Design of Experiments, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method. Edited by K. DEHNAD, Wadsworth & Brooks / Cole, p.31 – 32, California 1989
- [36] PIGNATIELLO J. J. Jr., RAMBERG J. S., The Top 10 Triumph and Tragedies of Genichi Tagucgi, Quality Engineering, Vol. 4, No. 2, p.211 – 225, 1991 – 1992
- [37] PIGNATIELLO J. J. Jr., An Overview of the Strategy and Tactics of Taguchi, IIE Transactions, Vol. 20, No. 3, p. 247 – 251, 1998
- [38] ROSS P. J., Taguchi Tachniques for Quality Engineering, McGraw – Hill, p.1 –278, Newyork 1988
- [39] SARITAĞ M., Taguchi Kalite Yönetimi ve Cevap Yüzeyi Yaklaşımının Karşılaştırılması, Sakarya Üniversitesi, 2000
- [40] SHANG S., TADIKAMALLA P. R., Multicriteria Design and Control of a Cellular Manufacturing System Through Simulation and Optimization, Int. J. Prod. Res., Vol. 36, No. 6, p.1515 – 1528, 1998
- [41] SUDHAKER P. R., An Introduction to Quality Improvement Through Taguchi Methods, Industrial Engineering, Vol. 27, No. 1, p.53 – 54, 1995
- [42] SULLIVAN L. P., The Power of Taguchi Methods, Quality Progress, Haziran 1987

- [43] ŞİRVANCI M, Kalite İçin Deney Tasarımı, Literatür Yayıncılık, Eylül 1997
- [44] TAGUCHI G., PHADKE M. S., Quality Engineering Through Design Optimization, Quality Control, Robust Design and The Taguchi Method, Edited by K. Dehnad, Wadsworth & Brooks/Cole, p.78 – 79, California 1989
- [45] TAGUCHI, Genichi and Don Clausing, “Robust Quality”, Harvard Business Review, Jan.-Feb. 1990, pp 65-75.
- [46] TANG J., TANG K., Design Product Specifications for Multi – Characteristic Inspection, Management Science, Vol. 35, No. 6, p.743 – 756, 1989
- [47] TONG L. I., SU C. T., WANG C. H., “The Optimization Of Multi-Response Problems In The Taguchi Method”, Int.J. of Quality &Reliability Management, Vol. 14, No. 4, p.367-380, 1997
- [48] TSUI K. L., An Overview of Taguchi Method and Newly Developed Statistical Methods for Robust Design, IIE Transactions, Vol. 24, No. 5, p.44 – 56, Kasım 1992
- [49] UNAL R., DEAN E. B., Taguchi Approach to Design Optimization for Quality and Cost: An Overview, Annual Conference of the International Society of Parametric Analysis, p.1 – 9, 1991
- [50] VIJAYAN N., The Role of Interactions, SN Ratios, and Selection of Quality Characteristics, Technometrics, Vol. 34, No. 2, p.137, Mayıs 1992
GÜNTHER, A., KHAN, SA., THALMANN, M., TRACHSEL, F., JENSEN, KF., Transport and reaction in microscale segmented gas-liquid flow. *Lab Chip* 2004; 4:278–286.

Ek A. Kauçuk Hammadde Bilgileri - Kauçuk Çeşitleri**Nitril Kauçuk (NBR)**

Keçe uygulamalarının büyük bir kısmı için önerilen, yağ ve greslere dayanıklı, genel amaçlı malzemedir. Yakıtlar ve sanayi sıvıları için değişik karışımlar bulunur. Gilikol esaslı fren yağlarına ve EP katkılı yağlara direnci zayıftır. Nitril kauçuk tipik olarak -40 °C ile 105 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır, aralıklı çalışmalarda 120 °C'ye kadar dayanıklıdır. Fiyat/fonksiyon dengesi yönünden tercih edilir. Conta üretimlerinde, mantar dolgulu nitril karışımları kullanılır. Bu malzemelerin dayanım özellikleri standart nitril gibidir. Mantarın varlığı ayrıca sıkışabilirlik (hacimsel küçülebilme) özelliği kazandırır. Mantarlı nitril, ancak statik uygulamalarda kullanım alanı bulur.

Poliakrilik Kauçuk (ACM)

Yüksek sıcaklıklarda ve EP katkılı yağlarda nitril kauçuğa göre daha dayanıklıdır. Genellikle 150° C'ye kadar kullanılır. Ozon direnci iyidir. Yakıt direnci ve düşük sıcaklık dayanımı zayıftır (-30 °C min.) Özellikle dişli kutusu keçelerinde kullanılmaktadır.

Silikon Kauçuk (MQ, VMQ, PVMQ)

-60 °C ile 200 °C sıcaklıklar arasında kullanılır. Aralıklı olarak 250 °C'ye kadar dayanıklıdır. Başlıca kullanım alanı krank keçeleridir. Esneklik özelliği, hava direnci ve ozon dayanımı yüksektir. Yakıtlarda, EP katkılı yağlarda ve yüksek mekanik özellikler gerektiren uygulamalarda önerilmez.

Politetrafloroetilen (PTFE)

Sanayide kullanılan hemen hemen tüm kimyasal maddelere dayanıklı bir plastik malzemedir. -260 °C ile 260 °C arasında kullanım alanları vardır. Sürtünme katsayısı en düşük katı maddedir. Yapışma özelliği göstermez, yağlamasız yatak malzemesidir. Bazı tipleri çok iyi elektrik yalıtkanındır. Uygulama alanına göre saf, cam elyaflı, karbonlu, grafitli, bronzlu, molibden sülfürlü PTFE kullanılır.

Florokarbon Kauçuk (FKM)

-40 °C ile 150 °C arasında kullanılabilir. Fosfat ester akışkanlara, glikol esaslı fren yağlarına, su buharına, ozona ve hava koşullarına direnci iyidir. Yakıtlar ve petrol esaslı yağlar için uygun değildir.

Stiren Butadien Kauçuk (SBR)

Glikol esaslı fren yağlarına, asit ve bazlara, alkole karşı dirençlidir. Bu malzeme -50 °C ile 100 °C arasında kullanılır. Yakıtlar ve petrol esaslı yağlara dayanıklı değildir.

Tabii Kauçuk (NR)

Kullanma sıcaklığı aralığı -60 °C ile 90 °C'dir. Ortam dayanımı yönünden SBR ile benzer özellikler gösterir. Yüksek esneklik ve mekanik özellikler gerektiren yerlerde kullanılır.

Poliamid (PA)

Yaygın olarak "nylon" diye bilinir. -20 °C ile 90 °C arasında kullanılabilir. Özel tiplerinde kullanım sınırı 140 °C'ye kadar çıkabilir. Sürtünme ve aşınma özellikleri çok iyidir. Yağlara, yakıtlara, esterlere, ketonlara karşı dayanıklıdır.

Hidrojene Nitril Kauçuk (HNBR)

Hidrojene nitril kauçuk NBR polimerlerinden türetilir. Bu şekilde hazırlanan malzemelerin özellikleri yüksek mekanik güçleri ve aşınmaya karşı daha dayanıklı olmalarıdır. Ortam dayanıklılığı NBR'ninki gibidir. Kullanım sınırı 150 °C'dir.

Termoplastik Poliüretan (TPU)

TPU'nun enjeksiyon kalıplaması ile etkin bir biçimde işlenebilmesine olanak sağlayan iyi mekanik özellikleri vardır. TPU'nun esas avantajları aşınmaya karşı yüksek direnç; geniş bir sıcaklık aralığı esnekliği; yağlara, gres yağlarına ve birçok çözücüye karşı dirençtir.

Ek B. Kauçuk Sanayinde Kullanılan Terimler ve Anlamları

Astm: 1- amerikan malzeme ve test derneği (american society for testing and materials). 2- 1 akrilat ve az sayıda çapraz bağlı monomerden oluşmuş bir kopolimer.

Abrasion resistance: aşınma dayanımı. bir malzemenin sürtünme neticesinde, yüzeyden parçacık kaybına karşı dayanımı.

Abrasion resistance index: aşınma dayanımı indeksi. vulkanize bir kauçuk parçanın aynı koşullar için belirlenmiş standartlara göre aşınma dayanımının ölçüsü.

Accelerated aging: hızlandırılmış yaşlanma. doğal zaman akışının ve kullanım sürecinin etkilerini oluşturabilmek ve ölçebilmek için geliştirilmiş bir metot.

Accelerator: hızlandırıcı. elastomer karışımlarının vulkanizasyonunu hızlandırmak için küçük miktarlarda kullanılan bir kimyasal.

Acrylate rubber: akrilat kauçuk. akrilat esterlerden oluşan elastomerlerin genel adı.

Acrylic rubber: akrilik kauçuk.

Activator: aktivatör. elastomer karışımlarda kullanılan akselatörlerin etkinliğini arttırmak için küçük miktarlarda kullanılan bir kimyasal.

Adhesion: yapışma. Yüzeysel kuvvetlerin etkisiyle iki yüzeyin birbirine tutunma durumu. bu durum moleküler kuvvetlerle, kilitlenme hareketiyle (interlocking action) ya da her ikisiyle sağlanır.

Adhesion failure: yapışma hatası. Yapışmış iki malzemenin birbirinden ayrılması.

Adhesive: yapıştırıcı. İki ayrı malzemeyi yüzeylerinden tutturma yeteneğine sahip madde.

Age resistance: yaşlanma dayanımı. Stoklama ve kullanım sırasında oksijen, ısı, ışık ve ozonun etkilerine karşı dayanım.

Aging: yaşlanma/ yaşlandırma. bir malzemenin, bir çevrede belli bir süre kalmasının sonucunda oluşan, özelliklerindeki geri döndürülemez değişiklikler/ bir malzemeyi spesifik bir ortamda belirli bir süre tutma.

Aging, air oven: malzemeyi, fırında sirküle olan sıcak havanın etkilerine maruz bırakarak yaşlandırma.

Aging, air test tube: malzemeyi, fırının içine konan kapalı bir test tüpünde statik havanın etkilerine maruz bırakarak yaşlandırma.

Air checks: pres veya kalıpla, pişen malzemenin arasına giren havanın malzeme yüzeyinde çıkarttığı izler.

Air-curing: hava sıcaklığında veya arttırılmış sıcaklıklarda ve genellikle atmosfer basıncında vulkanizasyon.

Ambient temperature: ortam sıcaklığı. Malzemeyi çevreleyen maddenin veya atmosferin sıcaklığıdır.

Antioxidant: antioksidan. Oksijenin, malzeme üzerindeki etkilerini geciktiren bir kimyasaldır.

Antiozonant: ozonun, malzeme üzerindeki etkilerini geciktiren bir kimyasal.

Antistatic agents: karışıma katıldıklarında elektron yüklerinin dağıtılmasına yardımcı olan kimyasal maddeler. Bu sayede kıvılcım oluşumu gibi riskler ortadan kaldırılmış olur.

Ash: kül.

Autoclave: otoklav. Kauçuk parçaların vulkanizasyonu için kullanılan basınçlı kaplar sınıfından bir fırındır.

Br (butadiene rubber): butadien kauçuk.

Back rinding: kauçuk parçanın kalıp birleşim yerinde uğradığı distorsiyon (çarpıklık). bu olay genelde tüm malzeme kalıbın içine akmadan önce gerçekleşir.

Banbury (internal mixer): yüksek güçlü, kapalı karıştırma makinası. Kauçuk veya diğer uygun malzemelerin karıştırılmasında kullanılır.

Batch: fasıllı bir proses içerisindeki bir karıştırma operasyonunun ürünü.

Bead: çelik tel, kord bezi ve kauçuk karışımından oluşan çember şeklinde yapı.

Lastiğin janta tutunan parçası.

Black: bkz. carbon black. karbon siyahı için kısaltma.

Blank: bir kalıba koymak için şekli ve ölçüleri uygun karışım parçası.

Blister: malzemenin yüzeyinde oluşan kese şeklinde boşluk, içeri giren gazların genişmesi sonucunda oluşur.

Bloom: yüzey görünümündeki değişiklik. sebebi katı veya sıvı bir bileşenin iyi bağdaşmama sonucunda yüzeye çıkması.

Blow: sünger kauçuk imalatındaki hacim genişlemesi. yüzde veya oran olarak ifade edilir.

Blowing agent: kimyasal veya termal yollardan gaz oluşumunu sağlayan bir

kimyasal. sünger yapımında kullanılır.

Bond: bağ. yapıştırıcı kullanılarak elde edilmiş malzemelerin birleşim yeri.

Bonding agent: bkz. adhesive.

Boot: esnek ek yerlerini toz, nem ve kire karşı koruyan kaplama.

Brittle point: gevreklik noktası. pişmiş bir kauçuk parçanın belirlenmiş test koşullarında ve ani bir darbeye kırıldığı en yüksek sıcaklık derecesi.

Bulk density: toz, parçacıklar, küpler gibi yığın malzemelerin yoğunluğu. Kütlenin hacme oranı.

Buna-N: akrilonitril ve butadienin kopolimerleri için orijinal alman tabiri.

Buna-S: stiren ve butadienin kopolimerleri için orijinal alman tabiri.

Butadiene: butadien. CH_2CHCH_2 yapısında, oda sıcaklığında gaz halde bulunan bir hidrokarbondur. stiren ve akrilonitrille kopolimer oluşturduğu gibi, kendisiyle de polibutadien olarak polimerize olur.

Butt splice: alın eki (kaynağı). vulkanizasyondan önce veya sonra parçaların alın altına birleştirilerek eklenmesi.

Butyl rubber: astm ifadesi; ıır (isobutylene-isoprene rubber) olan kauçuğun genel adıdır.

Cm: chlorinated polyethylene

Co: epichlorohydrin homopolymer

Cr: chloroprene (neoprene)

Csm: chloro sulfonyl polyethylene (hypalon)

Calender: kalender. içten ısıtmalı veya soğutmalı 3 veya daha fazla silindirin ters yönlerde dönmesiyle çalışan bir makinadır. levha şeklinde mal çekme ve beze hamur çekmede kullanılır.

Carbon black: karbon siyahı (karası). elastomer karışımlarını kuvvetlendirmek için katılan ince formda karbon elemanıdır.

Carbon black masterbatch: yoğun karbon karası içerikli karışım.

Cast: döküm.

Cement (rubber cement): solüsyon. bir elastomerin ya da karışımının uçucu bir solvent içinde çözülmesiyle elde edilir.

Chalking: malzeme yüzeyinde tozlu bir kalıntı oluşumu.

Checking: kauçuk malzemenin yüzeyinde oluşan kısa, sathî çatlaklar. genellikle

çevre koşullarından kaynaklanır.

Chloroprene: $CH_2=CC(=CH)CH_2$ monomerinden oluşan kauçuk türü.

Chlorosulfonated polyethylene: ticari adı hypalon olan elastomerik malzeme.

Coefficient of expansion: genişleme katsayısı

Coefficient of friction: sürtünme katsayısı

Composite: kompozit. spesifik bazı özellikleri elde etmek için, iki veya daha fazla malzemenin sentetik yolla karıştırılmasından oluşan homojen malzeme.

Compound: son ürün için gerekli tüm bileşenleri içeren polimer karışımı.

Continuous vulcanization: sürekli vulkanizasyon. hortum veya kablo gibi malzemelerin tüplerden çekilerek üretilmesinde kullanılan, vulkanizasyonun sürekli olduğu uzun hatlara sahip bir prosesdir. ayrıca tuz banyosu da sürekli vulkanizasyonda kullanılabilir.

Copolymer: iki veya daha fazla çeşit monomerden oluşan polimer.

Copolymerization: iki veya daha fazla monomer molekülünün birleştiği kimyasal reaksiyon.

Cracking: 1- çatlak. ışık, ısı, ozon ve tekrarlanan bükülme ve gerilmelerin neticesinde oluşan keskin kırılmalar. 2- ham kauçuğun hamur makinasından geçirilmesi işlemi.

Crazing: kauçuk veya plastik yüzeylerde oluşan küçük çatlaklar.

Creep: sürünme. gerilim altındaki bir malzemede kalıcı deformasyonun oluşması.

Cross linking: çapraz bağlanma.

Cure: çapraz bağlama ve vulkanizasyonla benzer anlama gelir. vulkanizasyon kükürtle oluşan çapraz bağlanmayı ifade ederken, 'cure' diğer çapraz bağlanmaları da kapsar (peroksit, radyasyon vb...)

Curing agent: çapraz bağlanmayı sağlayan kimyasal.

Damping: sönümleme, absorbe etme.

Deflashing: çapak alma.

Delaminasyon: katlara ayırma.

Density: yoğunluk. birim hacmin kütlesi.

Drum cure: malzemenin bir tamburun etrafına sıcak hava veya buharla pişirildiği yöntem.

Dumbbell: fiziksel testlerde kullanılan ince deney parçası.

- Durometer: kauçuk ve plastik parçaların sertliğini ölçmeye yarayan bir alet.
- Epdm: etilen, propilen ve bir dienden oluşan terpolimer.
- Epm: etilen ve propilenden oluşan kopolimerler.
- Ebonite: sert bir kauçuk türü. yüksek seviyelerde vulkanizasyonla oluşur.
- Elongation: uzama
- Elongation, ultimate: kopma uzaması.
- Embrittlement: gevrekleşme.
- Fkm: floro elastomer.
- Filler: dolgu.
- Filler, inert: fiziksel özelliklere etkisi olmayan dolgu maddesi.
- Flash: çapak.
- Foam rubber: köpüksü kauçuk.
- Frictioning: bir bezi friksiyonlu bir kalenderde kauçukla emprime etme.
- Gran: tane
- Green stock: ham, vulkanize olmamış kauçuk hamuru.
- Halogen: klor, brom, iyot ve flordan oluşan element sınıfı
- Hevea brasiliensis: doğal kauçuk, aynı adlı ağaçtan elde edilir. bir cis-poliisopren.
- Hot melt adhesive: oda sıcaklığında genelde katı olup, sıcaklığın etkisiyle sıvılaşan, termoplastik yapıştırıcı karışım.
- Hysteresis: vulkanize olmuş kauçuk bir parçanın hızlı deformasyonu neticesinde oluşan ısı. deforme edici gerilmeyle, eski halin alınması sürecinin enerjisinin arasındaki farktır.
- Id: (inside diameter) iç çap
- Iir: (isobutene-isoprene rubber) butil kauçuğun astm kısaltması.
- Impact strength: malzemenin tek darbede enerji absorbe etme mukavemeti.
- Malzemenin kırılması için gerekli enerji.
- Impregnate: emprime etme. Bir malzemeyi bir kumaşa emdirme.
- Incompatibility: bağdaşmama. Bir malzemenin homojen bir sistem oluşturma özelliğinin olmaması.
- Inert: etkisiz.
- Inhibitor: geciktirici.
- Injection molding: kauçuk karışımının bir ekstrüderin haznesinde ısıtıldıktan sonra

kalıp boşluğuna (akışkan haldeyken) enjekte edildiği kalıplama işlemi.

Insert: belli bir amaç doğrultusunda, kauçuk malzemenin içine yerleştirilen yabancı malzemeler (genellikle metal olur)

Internal mixer: banbury. Kapalı kauçuk karıştırma makinasıdır. İçinde, aralarında küçük açıklık bulunan, zıt yönlere dönen iki rotor bulunur.

Isoprene – (ch₂c₁ch₃)-ch=ch₂: sıvı bir hidrokarbondur. Doğal kauçuğun tekrarlayan temel yapı birimidir.

Izod impact test: darbe dayanımını ölçmeye yarayan bir deney prosedürüdür.

Knit lines (or marks): vulkanizasyon sırasında, kalıpta malzemenin bir bütün olarak akmaması sebebiyle oluşan birleşim yerlerindeki yüzey bozuklukları.

Knots: gergin lastikte beliren topaklar, yumrular.

Laminate: 1- yaprak halindeki malzemeleri bir pres ya da kalenderde ısı ve basınçla tek bir parça haline getirme. 2- bu yöntemle üretilmiş malzeme.

Latex: sıvı, koloit kauçuk emülsiyonu. doğal veya sentetik kauçuğun ve de baz plastiklerin lateksi olabilir.

Light aging: ışık etkisiyle yaşlanma.

Low temperature flexibility: kauçuk bir ürünün düşük sıcaklıklarda servis verme yeteneğini yitirmeden, esnekliğini devam ettirebilme özelliği.

Lubricants: yağlayıcılar

Mandrel: maa.

Masticate: mastikasyon. Kauçuğu kırma işlemi. Hamur makinasında ya da kapalı karıştırıcılarda yapılabilir.

Mechanical properties: mekanik özellikler.

Mechanical rubber goods: mühendislik ürünlerinde ve endüstride kullanılmak üzere üretilmiş kauçuk malzemelere verilen genel ad.

Migration: kuma. Kauçuğun içindeki maddelerin, yüzeye hareket etmeleri (yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona)

Mill: hamur makinası.

Mold: kalıp

Mold lubrication: kalıp ayırıcılar. Yağlayıcılar kauçuk içinde çözünmez. Sabunlar ve silikonlar kalıp ayırıcı olarak kalıbın iç yüzeyine spreylenebilir veya sürülür.

Mold shrinkage: malzemenin kalıptan çıktıktan sonra kalıp boşluğu ve malzeme

arasındaki ölçü farkı (oda sıcaklığında).

Monomer: kendileri veya benzer moleküllerle birleşerek polimerleri oluşturabilen küçük moleküllerdir.

Mooney scorch: yüksek sıcaklıklarla money viskozimetresi kullanılarak bir karışımın pişme karakteristiğini belirlemek için uygulanan prosedür.

Nbr: nitril kauçuğun astm kısaltması.

Nr: doğal kauçuğun astm kısaltması.

Natural rubber: doğal kauçuk. Bitki veya ağaçtan üretilir.

Necking: boyun verme. Çekme sırasında bölgesel olarak kesit alanında daralma.

Neoprene: kloroprenin bir ticari adı.

Nitrile rubber: nitril kauçuk. akrilonitril ve bütadienin kopolimerleri.

Non-staining: renk vermeyen.

Od: (outside diameter). dış çap.

Odorant: vulkanize olmuş kauçuğun kokusunu maskeleyen için karışıma katılan aromatik maddeler.

Oil resistance: yağ mukavemeti.

Olefin: genel formülü C_nH_{2n} olan doymamış alifatik hidrokarbon ailesi.

Open cell: hücresel veya sünger kauçuğun hücrelerinin birbirleriyle bağlantılı olması durumu. Ürünün sıvıları emmesini sağlar.

Overcure: optimum vulkanizasyon süresinin aşımı.

Phr: parts per hundred of rubber. Kauçuk karışımındaki maddelerin oranını ifade etmek için kullanılan oranlama metodu.

Paraffins: doymuş karbon zincirlerine sahip alifatik bir hidrokarbon sınıfı.

Permanent set: elastik bir malzemenin, maruz kaldığı deformasyondan sonra, orijinal haline dönememesi durumunda, arada kalan fark.

Peroxide: molekülünde bivalent $-O-O-$ grubu içeren karışım. son derece reaktiftirler ve güçlü oksidasyon ajanlarıdır. polimerizasyon reaksiyonlarında kullanılırlar.

Phenolic: aromatik bir fenolün bir aldehidle kondenzasyonu ile üretilen sentetik bir reçinedir.

Plantation rubber: insan eliyle ekilmiş ağaç veya bitkilerden üretilen doğal kauçuktur.

Plasticity: bir malzemenin, deformasyon gerilimi kalktıktan sonra deforme olarak kalma eğilimidir.

Plasticizer: bir malzemenin içine konan, onun çalışılabilirliğini, elastikiyetini veya esnekliğini arttıran katkı maddesi.

Plastometer: bir malzemenin plastisitesini ölçmeye yarayan alet.

Platen: plaka. Presin ısı ve basıncın malzemeye aktaran parçalarıdır.

Ply: kat.

Ply adhesion: kat yapışması. katları ayırmak için gerekli kuvvet.

Polybutadiene: aynı ya da farklı kimyasal kompozisyonlara sahip monomerlerin kimyasal kombinasyonlarından oluşan çeşitli polimerler.

Polymer: aynı ya da farklı kimyasal kompozisyonlara sahip monomerlerin kimyasal kombinasyonlarından oluşan makro moleküler malzemeler.

Polymer chain: polimer zinciri. polimerlerin yapısını oluşturan formdur.

Polymerization: monomer moleküllerinin birbirlerine bağlanarak büyük moleküller oluşturduğu kimyasal reaksiyon.

Post cure: pişmiş veya yarı pişmiş bir termosetting plastiğin ya da kauçuğun bir ya da birkaç özelliğini değiştirmek için yapılan ısı ya da ışın işlemi.

Precure: asıl vulkanizasyon işleminden önce gerçekleşen prematüre vulkanizasyon.

Press cure: preste kalıpla yapılan vulkanizasyon işlemi.

Primer: malzemenin yüzeyine sürülür, yapıştırıcıdan önce uygulanır ve bağın performansını artırır.

Processability: işlenebilirlik.

Raw rubber: ham kauçuk.

Reclaim: rejenere kauçuk.

Recovery: eski haline dönme.

Reinforcement: güçlendirici, takviye edici. Karbon karası gibi maddeler vulkanize olan kauçuğun fiziksel özelliklerini iyileştirirler.

Resilience: deforme olmuş bir numunenin hızlı bir şekilde eski halini alma durumunda, çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranıdır.

Retarder: geciktirici. prematüre vulkanizasyonu önleyen maddeler.

Rubber: kauçuk

- Rubber latex: kauçuk lateksi. Kauçuğun ağaçtan elde edilen hali.
- Sbr: strene butadiene rubber. Sentetik kauçuk lateksi.
- Scorch: genellikle fazla ısı uygulamasından kaynaklanan prematüre vulkanizasyon.
- Shelf aging: kauçuk malzemenin normal atmosfer koşullarında, stok esnasında yaşlanması.
- Shore hardness: shore sertliği.
- Skim coat: bez üzerine kaplanan kauçuk katmanı.
- Soapstone: sabun taşı.
- Specific gravity: özgül ağırlık. Birim hacmin ağırlığı.
- Strain: gerilim neticesinde oluşan uzama.
- Stress: gerilim. Birim kesit alanına uygulanan kuvvet.
- Sun cheking: yüzeyde çatlaklar ve kırılmalar şeklinde oluşan, direk güneş ışığına maruz kalan malzemelerdeki yüzey hataları.
- Tack: bir polimerin ya da karışımın iki katmanının düşük basınç uygulamalarında birbirlerine yapışabilme özelliğidir.
- Tensile strength: çekme mukavemeti. Çekme sırasında numuneye, sürünme başlamadan önce uygulanabilen en büyük çekme gerilimini ifade eder.
- Terpolymer: üç farklı tip monomerden oluşan kopolimer.
- Thermoplastic: tekrarlanır biçimde, yüksek sıcaklıklarda yumuşayan, düşük sıcaklıklarda sertleşen malzeme.
- Trapped air: vulkanizasyon sırasında malzemenin içinde kalan yada kalıp yüzeyiyle malzeme yüzeyi arasında kalan hava.
- Tumbling: bir bitirme işlemi. Kalıplı malzemenin çapaklarını dönen bir tamburun içine koyup temizleme işlemi.
- Ultra accelerator: çok aktif bir hızlandırıcı sınıfı. Genellikle çok düşük miktarlarda kullanılırlar.
- Ultraviolet light: morötesi ışık.
- Unsaturation: doymamışlık
- Viscosity: viskozite. Bir malzemenin akmaya gösterdiği direnç.
- Volume cost: hacim fiyatı. Birim hacme göre hesaplanan fiyat.
- Vulcanizate: vulkanizasyonla üretilmiş ürünlerin, şekil ve işlevden bağımsız genel

adı.

Vulcanization: vulkanizasyon. Kauçuk karışımının kimyasal yapısındaki geri dönüşü olmayan, daha az plastik daha çok elastik olduğu, değişimdir (çapraz bağlanma). Daha çok kükürtle yapılan çapraz bağlanmayı ifade eder.

Weathering: dışarıda bekleme neticesinde malzeme yüzeyinde oluşan bozukluklar.

Yield point: akma noktası. Plastik deformasyona geçiş noktası.

Ek C. F Tabloları

alfa = ,10 için F tablosu

d2/d1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
1	39,86	49,30	53,39	55,83	57,24	58,20	58,91	59,44	59,86	60,19	60,71	61,22	61,74	62,00	62,26	62,53	62,79	63,06	63,33
2	8,53	9,00	9,16	9,24	9,29	9,33	9,35	9,37	9,38	9,39	9,41	9,42	9,44	9,45	9,46	9,47	9,47	9,48	9,49
3	5,54	5,46	5,39	5,34	5,31	5,28	5,27	5,25	5,24	5,23	5,22	5,20	5,18	5,18	5,17	5,16	5,15	5,14	5,13
4	4,54	4,32	4,19	4,11	4,05	4,01	3,98	3,95	3,94	3,92	3,90	3,87	3,84	3,83	3,82	3,80	3,79	3,78	3,76
5	4,06	3,78	3,62	3,52	3,45	3,40	3,37	3,34	3,32	3,30	3,27	3,24	3,21	3,19	3,17	3,16	3,14	3,12	3,11
6	3,78	3,46	3,29	3,18	3,11	3,05	3,01	2,98	2,96	2,94	2,90	2,87	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,74	2,72
7	3,59	3,26	3,07	2,96	2,88	2,83	2,78	2,75	2,72	2,70	2,67	2,63	2,59	2,58	2,56	2,54	2,51	2,49	2,47
8	3,46	3,11	2,92	2,81	2,73	2,67	2,62	2,59	2,56	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32	2,29
9	3,36	3,01	2,81	2,69	2,61	2,55	2,51	2,47	2,44	2,42	2,38	2,34	2,30	2,28	2,25	2,23	2,21	2,18	2,16
10	3,29	2,92	2,73	2,61	2,52	2,46	2,41	2,38	2,35	2,32	2,28	2,24	2,20	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06
11	3,23	2,86	2,66	2,54	2,45	2,39	2,34	2,30	2,27	2,25	2,21	2,17	2,12	2,10	2,08	2,05	2,03	2,00	1,97
12	3,18	2,81	2,61	2,48	2,39	2,33	2,28	2,24	2,21	2,19	2,15	2,10	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,90
13	3,14	2,76	2,56	2,43	2,35	2,28	2,23	2,20	2,16	2,14	2,10	2,05	2,01	1,98	1,96	1,93	1,90	1,88	1,85
14	3,10	2,73	2,52	2,39	2,31	2,24	2,19	2,15	2,12	2,10	2,05	2,01	1,96	1,94	1,91	1,89	1,86	1,83	1,80
15	3,07	2,70	2,49	2,36	2,27	2,21	2,16	2,12	2,09	2,06	2,02	1,97	1,92	1,90	1,87	1,85	1,82	1,79	1,76
16	3,05	2,67	2,46	2,33	2,24	2,18	2,13	2,09	2,06	2,03	1,99	1,94	1,89	1,87	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72
17	3,03	2,64	2,44	2,31	2,22	2,15	2,10	2,06	2,03	2,00	1,96	1,91	1,86	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69
18	3,01	2,62	2,42	2,29	2,20	2,13	2,08	2,04	2,00	1,98	1,93	1,89	1,84	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66
19	2,99	2,61	2,40	2,27	2,18	2,11	2,06	2,02	1,98	1,96	1,91	1,86	1,81	1,79	1,76	1,73	1,70	1,67	1,63
20	2,97	2,59	2,38	2,25	2,16	2,09	2,04	2,00	1,96	1,94	1,89	1,84	1,79	1,77	1,74	1,71	1,68	1,64	1,61
21	2,96	2,57	2,36	2,23	2,14	2,08	2,02	1,98	1,95	1,92	1,87	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59
22	2,95	2,56	2,35	2,22	2,13	2,06	2,01	1,97	1,93	1,90	1,86	1,81	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57
23	2,94	2,55	2,34	2,21	2,11	2,05	1,99	1,95	1,92	1,89	1,84	1,80	1,74	1,72	1,69	1,66	1,62	1,59	1,55
24	2,93	2,54	2,33	2,19	2,10	2,04	1,98	1,94	1,91	1,88	1,83	1,78	1,73	1,70	1,67	1,64	1,61	1,57	1,53
25	2,92	2,53	2,32	2,18	2,09	2,02	1,97	1,93	1,89	1,87	1,82	1,77	1,72	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52
26	2,91	2,52	2,31	2,17	2,08	2,01	1,96	1,92	1,88	1,86	1,81	1,76	1,71	1,68	1,65	1,61	1,58	1,54	1,50
27	2,90	2,51	2,30	2,17	2,07	2,00	1,95	1,91	1,87	1,85	1,80	1,75	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57	1,53	1,49
28	2,89	2,50	2,29	2,16	2,06	2,00	1,94	1,90	1,87	1,84	1,79	1,74	1,69	1,66	1,63	1,59	1,56	1,52	1,48
29	2,89	2,50	2,28	2,15	2,06	1,99	1,93	1,89	1,86	1,83	1,78	1,73	1,68	1,65	1,62	1,58	1,55	1,51	1,47
30	2,88	2,49	2,28	2,14	2,05	1,98	1,93	1,88	1,85	1,82	1,77	1,72	1,67	1,64	1,61	1,57	1,54	1,50	1,46
40	2,84	2,44	2,23	2,09	2,00	1,93	1,87	1,83	1,79	1,76	1,71	1,66	1,61	1,57	1,54	1,51	1,47	1,42	1,38
60	2,79	2,39	2,18	2,04	1,95	1,87	1,82	1,77	1,74	1,71	1,66	1,60	1,54	1,51	1,48	1,44	1,40	1,35	1,29
120	2,75	2,35	2,13	1,99	1,90	1,82	1,77	1,72	1,68	1,65	1,60	1,55	1,48	1,45	1,41	1,37	1,32	1,26	1,19
inf	2,71	2,30	2,08	1,94	1,85	1,77	1,72	1,67	1,63	1,60	1,55	1,49	1,42	1,38	1,34	1,30	1,24	1,17	1,00

alfa = ,05 için F tablosu,

dE/dE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
1	161,45	199,50	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88	243,91	245,95	248,01	249,05	250,10	251,14	252,20	253,25	254,31
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
inf	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

alfa = ,025 için F tablosu

df1/df2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
1	647,79	799,50	864,16	899,58	921,85	937,11	948,22	956,66	963,28	968,63	976,71	984,87	993,10	997,25	1001,41	1005,60	1009,80	1014,02	1018,26
2	38,51	39,00	39,17	39,25	39,30	39,33	39,36	39,37	39,39	39,40	39,41	39,43	39,45	39,46	39,47	39,47	39,48	39,49	39,50
3	17,44	16,04	15,44	15,10	14,88	14,73	14,62	14,54	14,47	14,42	14,34	14,25	14,17	14,12	14,08	14,04	13,99	13,95	13,90
4	12,22	10,65	9,98	9,60	9,36	9,20	9,07	8,98	8,90	8,84	8,75	8,66	8,56	8,51	8,46	8,41	8,36	8,31	8,26
5	10,01	8,43	7,76	7,39	7,15	6,98	6,85	6,76	6,68	6,62	6,52	6,43	6,33	6,28	6,23	6,18	6,12	6,07	6,02
6	8,81	7,26	6,60	6,23	5,99	5,82	5,70	5,60	5,52	5,46	5,37	5,27	5,17	5,12	5,07	5,01	4,96	4,90	4,85
7	8,07	6,54	5,89	5,52	5,29	5,12	4,99	4,90	4,82	4,76	4,67	4,57	4,47	4,42	4,36	4,31	4,25	4,20	4,14
8	7,57	6,06	5,42	5,05	4,82	4,65	4,53	4,43	4,36	4,30	4,20	4,10	4,00	3,95	3,89	3,84	3,78	3,73	3,67
9	7,21	5,71	5,08	4,72	4,48	4,32	4,20	4,10	4,03	3,96	3,87	3,77	3,67	3,61	3,56	3,51	3,45	3,39	3,33
10	6,94	5,46	4,83	4,47	4,24	4,07	3,95	3,85	3,78	3,72	3,62	3,52	3,42	3,37	3,31	3,26	3,20	3,14	3,08
11	6,72	5,26	4,63	4,28	4,04	3,88	3,76	3,66	3,59	3,53	3,43	3,33	3,23	3,17	3,12	3,06	3,00	2,94	2,88
12	6,55	5,10	4,47	4,12	3,89	3,73	3,61	3,51	3,44	3,37	3,28	3,18	3,07	3,02	2,96	2,91	2,85	2,79	2,73
13	6,41	4,97	4,35	4,00	3,77	3,60	3,48	3,39	3,31	3,25	3,15	3,05	2,95	2,89	2,84	2,78	2,72	2,66	2,60
14	6,30	4,86	4,24	3,89	3,66	3,50	3,38	3,29	3,21	3,15	3,05	2,95	2,84	2,79	2,73	2,67	2,61	2,55	2,49
15	6,20	4,77	4,15	3,80	3,58	3,41	3,29	3,20	3,12	3,06	2,96	2,86	2,76	2,70	2,64	2,59	2,52	2,46	2,40
16	6,12	4,69	4,08	3,73	3,50	3,34	3,22	3,12	3,05	2,99	2,89	2,79	2,68	2,63	2,57	2,51	2,45	2,38	2,32
17	6,04	4,62	4,01	3,66	3,44	3,28	3,16	3,06	2,98	2,92	2,82	2,72	2,62	2,56	2,50	2,44	2,38	2,32	2,25
18	5,98	4,56	3,95	3,61	3,38	3,22	3,10	3,01	2,93	2,87	2,77	2,67	2,56	2,50	2,45	2,38	2,32	2,26	2,19
19	5,92	4,51	3,90	3,56	3,33	3,17	3,05	2,96	2,88	2,82	2,72	2,62	2,51	2,45	2,39	2,33	2,27	2,20	2,13
20	5,87	4,46	3,86	3,51	3,29	3,13	3,01	2,91	2,84	2,77	2,68	2,57	2,46	2,41	2,35	2,29	2,22	2,16	2,09
21	5,83	4,42	3,82	3,48	3,25	3,09	2,97	2,87	2,80	2,73	2,64	2,53	2,42	2,37	2,31	2,25	2,18	2,11	2,04
22	5,79	4,38	3,78	3,44	3,22	3,05	2,93	2,84	2,76	2,70	2,60	2,50	2,39	2,33	2,27	2,21	2,15	2,08	2,00
23	5,75	4,35	3,75	3,41	3,18	3,02	2,90	2,81	2,73	2,67	2,57	2,47	2,36	2,30	2,24	2,18	2,11	2,04	1,97
24	5,72	4,32	3,72	3,38	3,15	2,99	2,87	2,78	2,70	2,64	2,54	2,44	2,33	2,27	2,21	2,15	2,08	2,01	1,94
25	5,69	4,29	3,69	3,35	3,13	2,97	2,85	2,75	2,68	2,61	2,51	2,41	2,30	2,24	2,18	2,12	2,05	1,98	1,91
26	5,66	4,27	3,67	3,33	3,10	2,94	2,82	2,73	2,65	2,59	2,49	2,39	2,28	2,22	2,16	2,09	2,03	1,95	1,88
27	5,63	4,24	3,65	3,31	3,08	2,92	2,80	2,71	2,63	2,57	2,47	2,36	2,25	2,19	2,13	2,07	2,00	1,93	1,85
28	5,61	4,22	3,63	3,29	3,06	2,90	2,78	2,69	2,61	2,55	2,45	2,34	2,23	2,17	2,11	2,05	1,98	1,91	1,83
29	5,59	4,20	3,61	3,27	3,04	2,88	2,76	2,67	2,59	2,53	2,43	2,32	2,21	2,15	2,09	2,03	1,96	1,89	1,81
30	5,57	4,18	3,59	3,25	3,03	2,87	2,75	2,65	2,57	2,51	2,41	2,31	2,20	2,14	2,07	2,01	1,94	1,87	1,79
40	5,42	4,05	3,46	3,13	2,90	2,74	2,62	2,53	2,45	2,39	2,29	2,18	2,07	2,01	1,94	1,88	1,80	1,72	1,64
60	5,29	3,93	3,34	3,01	2,79	2,63	2,51	2,41	2,33	2,27	2,17	2,06	1,94	1,88	1,82	1,74	1,67	1,58	1,48
120	5,15	3,80	3,23	2,89	2,67	2,52	2,39	2,30	2,22	2,16	2,05	1,95	1,82	1,76	1,69	1,61	1,53	1,43	1,31
inf	5,02	3,69	3,12	2,41	2,29	2,19	2,11	2,05	1,94	1,83	1,71	1,64	1,57	1,48	1,39	1,27	1,00		

alfa = ,01 için F tablosu

df1/df2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	INF
1	4052,18	4999,50	5403,35	5624,58	5763,65	5838,99	5928,36	5981,07	6022,47	6055,85	6106,32	6157,29	6208,73	6234,63	6280,65	6286,78	6313,03	6339,39	6365,86
2	98,30	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39	99,40	99,42	99,43	99,45	99,46	99,47	99,47	99,48	99,49	99,50
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35	27,25	27,05	26,87	26,69	26,60	26,51	26,41	26,32	26,22	26,13
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66	14,55	14,37	14,20	14,02	13,93	13,84	13,75	13,65	13,56	13,46
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16	10,05	9,89	9,72	9,55	9,47	9,38	9,29	9,20	9,11	9,02
6	13,75	10,93	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,72	7,56	7,40	7,31	7,23	7,14	7,06	6,97	6,88
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,47	6,31	6,16	6,07	5,99	5,91	5,82	5,74	5,65
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,67	5,52	5,36	5,28	5,20	5,12	5,03	4,95	4,86
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,11	4,96	4,81	4,73	4,65	4,57	4,48	4,40	4,31
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,71	4,56	4,41	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00	3,91
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,40	4,25	4,10	4,02	3,94	3,86	3,78	3,69	3,60
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,16	4,01	3,86	3,78	3,70	3,62	3,54	3,45	3,36
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19	4,10	3,96	3,82	3,67	3,59	3,51	3,43	3,34	3,26	3,17
14	8,86	6,52	5,56	5,04	4,70	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,80	3,66	3,51	3,43	3,35	3,27	3,18	3,09	3,00
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,90	3,81	3,67	3,52	3,37	3,29	3,21	3,13	3,05	2,96	2,87
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78	3,69	3,55	3,41	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,85	2,75
17	8,40	6,11	5,19	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68	3,59	3,46	3,31	3,16	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,65
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,02	3,84	3,71	3,60	3,51	3,37	3,23	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,66	2,57
19	8,19	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52	3,43	3,30	3,15	3,00	2,93	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46	3,37	3,23	3,09	2,94	2,86	2,78	2,70	2,61	2,52	2,42
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40	3,31	3,17	3,03	2,88	2,80	2,72	2,64	2,55	2,46	2,36
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35	3,26	3,12	2,98	2,83	2,75	2,67	2,58	2,50	2,40	2,31
23	7,88	5,66	4,77	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30	3,21	3,07	2,93	2,78	2,70	2,62	2,54	2,45	2,35	2,26
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26	3,17	3,03	2,89	2,74	2,66	2,58	2,49	2,40	2,31	2,21
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,46	3,32	3,22	3,13	2,99	2,85	2,70	2,62	2,54	2,45	2,36	2,27	2,17
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18	3,09	2,96	2,82	2,66	2,59	2,50	2,42	2,33	2,23	2,13
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,79	3,56	3,39	3,26	3,15	3,06	2,93	2,78	2,63	2,55	2,47	2,38	2,29	2,20	2,10
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12	3,03	2,90	2,75	2,60	2,52	2,44	2,35	2,26	2,17	2,06
29	7,60	5,42	4,54	4,05	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09	3,01	2,87	2,73	2,57	2,50	2,41	2,33	2,23	2,14	2,03
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07	2,98	2,84	2,70	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89	2,80	2,67	2,52	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92	1,81
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72	2,63	2,50	2,35	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56	2,47	2,34	2,19	2,04	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38
inf	6,64	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41	2,32	2,19	2,04	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,33	1,00

ÖZGEÇMİŞ

Sema DURMAZ, 19.08.1984'de Bursa'da doğdu. İlk (1990-1995 / Namık Kemal İlkokulu), orta (1995-1998 / Namazgah İhsan Dikmen İlköğretim Okulu) ve lise eğitimini (1998-2001 / Çelebi Mehmet Lisesi) Bursa'da tamamladı. 2001 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünde mastıra başladı. 2006-2007 yılları arasında Bursa Çalı Sanayinde Teknomasyon Hidrolik ve Pnömatik Ltd. Şti.'nde Üretim Planlama mühendisi olarak çalıştı. Şu anda Laspar Sızdırmazlık Ltd. Şti.'nde Üretim Planlama Mühendisi ve Sevkiyat Sorumlusu olarak görev yapmaktadır.