

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TAGUCHI DENEY TASARIMI UYGULAMASI

Duduhan TAYLAN

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2009**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği/oyçokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Abdullah EROĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü

Üye : Yrd. Doç Dr. Halil İbrahim KORUCA
Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Bu tez 12/06/2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../..../2009

Prof.Dr. Mustafa KUŞCU
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı	1
1.2. Problemin Belirlenmesi.....	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Deney Kavramı.....	13
3.1.1. Tek Faktörlü Deney	13
3.1.2. Çok Faktörlü Deney	13
3.1.3. Tam Faktöriyel Deney.....	14
3.1.4. Kesirli Faktöriyel Deney	14
3.2. Deney Tasarımı Kavramı	15
3.3. Deney Tasarımının Tarihçesi	16
3.4. Deney Tasarımı İlkeleri.....	19
3.4.1. Rassallaştırma İlkesi	19
3.4.1.1. Tamamen Rassallaştırma.....	19
3.4.1.2. Basit Tekrarlama	19
3.4.1.3. Blok İçinde Rassallaştırma	20
3.4.2. Tekrarlama.....	20
3.4.3. Bloklama	20
3.5. Deney Tasarımının Adımları.....	21
3.5.1. Problemin Tanımlanması	21
3.5.2. Amacın Belirlenmesi.....	21
3.5.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi.....	22

3.5.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi	22
3.5.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi	23
3.5.6. DeneY Tasarımının Seçilmesi.....	23
3.5.7. Verilerin Toplanması	23
3.5.8. Verilerin Analiz Edilmesi.....	24
3.5.8.1. Hesap Tablosu Yöntemiyle Analiz	24
3.5.8.2. Normal Olasılık Grafiği.....	25
3.5.8.3. Varyans Analizi	26
3.5.9. Sonuçların Yorumlanması.....	26
3.5.10. Doğrulama DeneY/Deneylerinin Yapılması	27
3.6. DeneY Tasarımının Kullanım Alanları.....	27
3.7. Faktöriyel Deneyler	28
3.7.1. 2 ^k Faktöriyel Tasarımlar	28
3.7.2. 3 ^k Faktöriyel Tasarımlar.....	31
3.8. Taguchi Metodu.....	33
3.8.1. Taguchi Yönteminin Gelişimi	34
3.8.2. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu	34
3.8.3. Varyasyon Ölçümü	36
3.8.4. Taguchi' nin Sinyal/Gürültü Oranları.....	37
3.8.5. Taguchi' nin Üretim Kalite Sistemi.....	37
3.8.5.1. Çevrim Dışı Kalite Kontrol	38
3.8.5.2. Sistem Tasarımı	39
3.8.5.3 Parametre Tasarımı	39
3.8.5.4. Tolerans Tasarımı	40
3.9. Çevrim İçi Kalite Kontrol	40
3.10. Robust Tasarım.....	40
3.11. Taguchi DeneY Tasarımı Aşamaları	41
3.11.1. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi.....	41
3.11.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi	42
3.11.3. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi.....	43
3.11.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması.....	44
3.11.5. Testlerin Yapılması	45

3.11.6. Sonuçların Analiz Edilmesi.....	45
3.11.6.1. Varyans Analizi	45
3.11.7. Doğrulama Deneylerinin Yapılması	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	49
4.1. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi.....	49
4.2. Faktör Ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması.....	50
4.3. Testlerin Yapılması.....	50
4.4. Sonuçların Analizi	54
4.4.1. ANOVA Tablosunun Analizi	55
4.4.2. Hesap Tablosu Analizi	56
4.5. Doğrulama Deneyinin Yapılması	57
5. SONUÇ	58
6. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	62

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAGUCHİ DENEY TASARIMI UYGULAMASI

Duduhan TAYLAN

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Juri: Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR (Danışman)
Doç. Dr. Abdullah EROĞLU
Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim KORUCA

Taguchi, ortogonal dizinleri kullanarak, hedef değere ulaşmak için yapılan deney sayısını azaltmış ve az deneyle kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini de en küçükleyen bir deney tasarlamayı amaçlamıştır. Uygulamada yapılan deney sayısının azalması zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır. Bu çalışmada, askeri bir fabrikada yakılan üç tip kimyasal maddenin günlük yakılan toplam miktarı maksimize edilmeye çalışılmış ve problemin çözümü için Taguchi yönteminden faydalanılmıştır. Uygulamada amaca uyan faktör ve seviyeler belirlenerek uygun ortogonal dizin seçilmiş ve deneyler 3'er kez tekrar edilmiştir. Deney sonuçları, S/N Oranına göre hesap tablosu uygulanmış varyans analizi ve Taguchi yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Uygulanan yöntemler ve sonuçlar incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taguchi Yöntemi, Deney Tasarımı, Ortogonal Dizinler

2009, 62 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

AN APPLICATION OF TAGUCHI'S DESIGN OF EXPERIMENT

Duduhan TAYLAN

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural
Sciences Department of Industrial Engineering**

Thesis Committee: Asst.Prof. Gültekin ÖZDEMİR(Supervisor)
Assoc.Prof. Abdullah EROĞLU
Asst.Prof. Halil İbrahim KORUCA

Taguchi who reduces the number of experiments by using orthogonal arrays for obtaining the target value, intended to design an experiment method that minimize the effects of factors which cannot be controlled by a few experiments. In application decreasing numbers of experiments supply saving time and cost benefits. In this study, the sum of daily burning quantity for three different types of chemical materials burning in a military factory is tried to be maximized and the Taguchi method is used for this purpose. In application, the factors and levels suiting the purpose were defined and the experiments were repeated three times after proper orthogonal arrays are chosen. The results of experiments are analyzed by using Taguchi method and variance analyses method which calculating table according to S/N ratio were applied. The methods were applied and the results are evaluated after analyzing.

Key Words: Taguchi Method, Experimental Design, Orthogonal Directories

2009, 62 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Gültekin ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım. Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Endüstri Mühendisi A.Okan ÖZKUL, Makine Yüksek Mühendisi Tuğrul ÖZEK, Endüstri Mühendisi Serkan İBA, Makine Teknisyeni Mehmet ŞİMSEK' e ve Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Görevlileri Mehmet Onur OLGUN ve Erdal AYDEMİR'e deney sırasında yardım, desteklerini esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında maddi ve manevi destekleriyle bana güç veren aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Duduhan TAYLAN
ISPARTA, 2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Fırın deney sistemi.....	4
Şekil 1.2 Balık kılçığı diyagramı.....	5
Şekil 3.1 Bir sistem veya sürecin genel gösterimi.....	16
Şekil 3.2 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı..	18
Şekil 3.3 Normal olasılık grafiği.....	26
Şekil 3.4 Yüzey düzgünlüğü için 2^2 faktöriyel tasarım gösterimi.....	29
Şekil 3.5 İki faktörlü tasarımın grafiksel gösterimi.....	32
Şekil 3.6 Taguchi kayıp fonksiyonu.....	35
Şekil 3.7 Ürün/Kalite sistemi çevrimi.....	38
Şekil 3.8 Etkileşim grafik gösterimi.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Deney faktörleri ve seviyeleri.....	6
Çizelge 3.1 L8 hesap tablosu	25
Çizelge 3.2 Yüzey düzgünlüğü deneyi için gözlem değerleri	28
Çizelge 3.3 İki faktörlü iki seviyeli tasarımın varyans analizi tablosu.....	31
Çizelge 3.4 3^k faktöriyel tasarım için $k=2$ olduğu durumda varyans tablosu	32
Çizelge 3.5 L_9 tasarım matrisi.....	44
Çizelge 4.1 Toplam serbestlik derecesi	49
Çizelge 4.2 Taguchi L_9 deney tasarımı.....	50
Çizelge 4.3 Ölçüm değerleri	51
Çizelge 4.4 Gözlem değerlerinin minitab çıktıları	51
Çizelge 4.5 Minitab program çıktısı	52
Çizelge 4.6 Ortalamalar için sonuç tablosu	53
Çizelge 4.7 S/N oranı için sonuç tablosu	53
Çizelge 4.8 Standart sapma için sonuç tablosu	54
Çizelge 4.9 Minitab sonuçlarına göre özetlenmiş veri analizi	54
Çizelge 4.10 Doğrusal model yöntemi çıktısı	55
Çizelge 4.11 ANOVA tablosu.....	56
Çizelge 4.12 Hesap tablosu	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

T.F.D. Tam Faktöriyel Deney

K.F.D. Kesirli Faktöriyel Deney

D.T. Deney Tasarımı

T.M. Taguchi Metodu

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

Yeni bilginin, verilerin özenli derlenmesi, çözümlenmesi ve yorumlanmasıyla elde edileceği kabul edilirse, en fazla bilginin mümkün olan en düşük maliyetle sağlanabilmesi için deneysel verinin derlenmesi ile ilgili tasarımın belirlenmesi gereklidir. Araştırmacının gereksinim duyduğu veriyi elde edebilmesi, yani karşılaştığı sorunu çözebilmesi, araştırma hipotezlerinin gereği gibi oluşturulması ile mümkündür (Çömlekçi, 2003).

En iyi sonuçların elde edilebileceği şartları ortaya koyabilmek için öncelikle performans özelliği belirlenir ve bu özelliği etkileyen faktörler incelenir. Ardından bu faktörlerin performansı belirleyen özellik üzerindeki etkilerinin tespit edilmesi ve en uygun kombinasyonunun bulunması için kontrol edilemeyen faktörler dikkate alınarak deneyler yapılır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans göstergesi değerlendirilerek en uygun şartlar tespit edilir. Bu yaklaşım çerçevesinde yapılan deneyler, sisteme sorulan soru, deney sonuçları da sistemin verdiği cevap olarak algılanabilir. Kritik olan nokta ise doğru cevabı alabilmek için doğru sorunun sorulmasıdır (Scheffler, 1997).

Genelde soru sorma tekniği, her faktörü tek tek ele almak ve her faktörün sistem üzerindeki etkilerini ayrı ayrı tespit etmektir. Ancak böyle bir yaklaşımda faktörler arasındaki etkileşimler göz ardı edilmiş olacak ve bir faktörün etkisinin değerlendirilmesi sırasında diğer faktörlerin buldukları seviyelerin sonuçlar üzerindeki etkisi yanıltıcı olacaktır. Tüm kombinasyonların denenmesi ise yüksek maliyet ve zaman kaybına yol açacak, çoğu zaman uygulanması olanaksız bir durum ortaya çıkaracaktır. Tüm bunların yanında sadece gerekli deneyleri gerçekleştirmek ve sonuçları değerlendirmek değil, sonuçların analizinde de uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması gereklidir. Çünkü doğal olarak gerçekleştirilecek her deney bir belirsizlik ve hata payı içerecektir (Scheffler, 1997).

Endüstriyel şartlar göz önüne alındığında kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler ile sonuçlar arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek ve optimizasyonu

gerçekleştirebilmek için deney tasarımı yöntemlerinin uygulanması son derece verimli bir yaklaşımdır. Deney tasarımı teknikleri ile üretim sırasında, kontrol edilemeyen faktörlerin en küçüklendiği üretim prosesini tasarlamak mümkün olabilmektedir.

Deney tasarımı metodunun çeşitli uygulama teknikleri vardır. Çalışmada bilinen bir teknik olan ve deney tasarımına yöntem olarak yenilik getiren Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Taguchi yönteminin özelliği, geliştirilmiş olan ortogonal dizinler sayesinde deney tasarımı çalışmalarında faktör ve seviyelerinin eş zamanlı olarak değiştirilmesini sağlaması ve bu sayede birden fazla faktör ve seviyeyi ölçebilmesidir.

Çalışma; günlük olarak ortaya çıkan, farklı kimyasal özelliklere sahip A, B ve C maddelerinin doğaya zarar vermeden bertaraf edilmesi üzerinedir. Bu işlem statik fırında yakılmak suretiyle gerçekleşmektedir. Bu maddelerin farklı oranlarda ve farklı besleme hızlarında yakılması fırın sıcaklığını etkilemektedir. Taguchi yöntemi ile iş güvenliğini sağlayan fırın sıcaklığı değerlerine bağlı kalınarak, farklı besleme hızı ve yakılan maddenin farklı oranlarına göre fırında yakılan günlük miktarın maksimize edilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Problemin Belirlenmesi

Uygulama yapılan tesiste, bünyesindeki diğer atölyelerden günlük olarak ortaya çıkan A, B ve C maddelerinin doğaya zarar vermeden fırında yakılarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu maddelerin yakımı için tasarlanmış olan özel fırında orta ve taban sıcaklığı, atılan maddelerin kimyasalından etkilenmektedir. Çok yüksek kalorili bir karışım sürekli olarak atıldığı takdirde taban sıcaklığı 950°'ye ulaştığında fırın otomatik olarak durmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşıldığında, fırının soğuması beklenmekte veya A maddesi ile fırın soğutulmaktadır. Fırının soğuması için geçen süre bir kayıp oluşturmaktadır. Ayrıca her iki durumda da fırının tabanındaki taş betonun sürekli genişip soğuması sistemin ömrünü azaltmaktadır. Dolayısıyla fırının en iyi çalışma şartları altında bu maddelerin belirlenen düzeylerde toplam yakılan miktarlarının en büyük olması hedeflenmektedir.

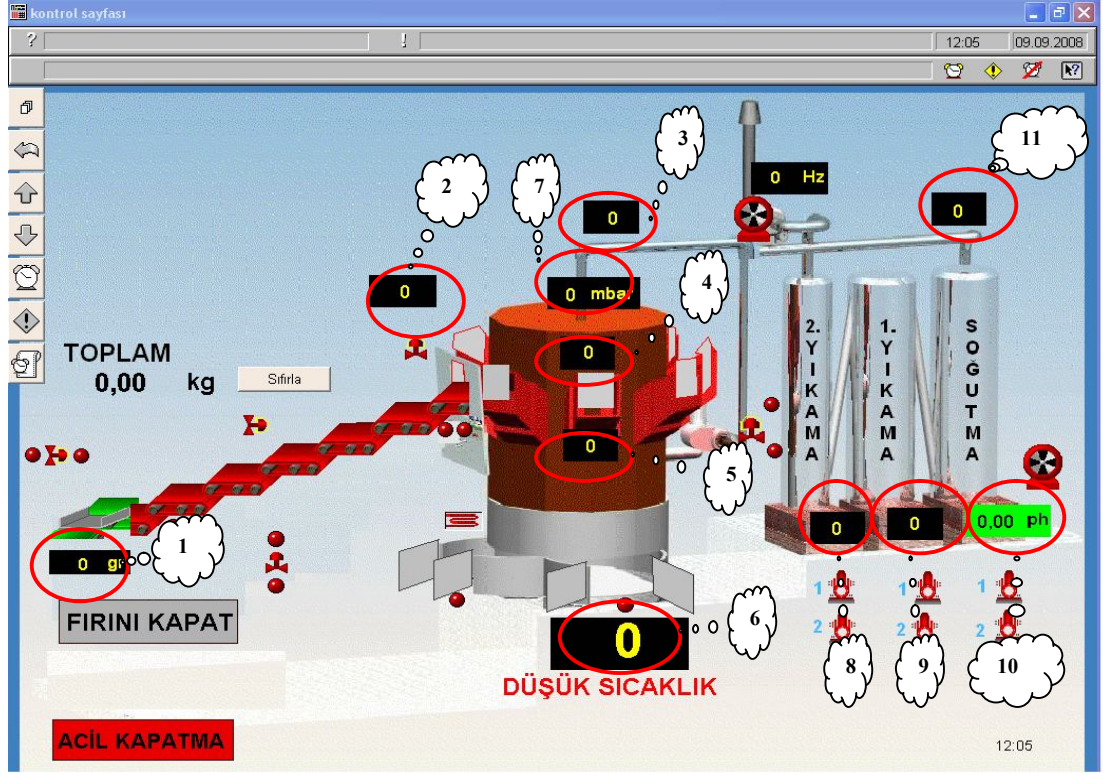
Çeşitli atölyelerden çıkan A, B ve C maddelerinin kimyasal özelliklerinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar fırını etkilemektedir. Çalışmada, kullanılan kimyasal maddelerin birbirlerini etkilemediği varsayılmıştır.

A maddesi; fırın içerisinde alevi gördüğü anda kütle olarak aniden parlamakta, yüksek basınç oluşturmakta ve bu parlamasıyla içerideki sıcak havayı dışarı atmaktadır. Oluşan boşluğa hızla dışarıdan dolan hava B ve C maddelerinin oluşturduğu yüksek sıcaklığı azaltmaktadır. Ayrıca fırın sıcaklığını düşürmek için de kullanılmaktadır.

B maddesi; içinde fiberglas olduğu için kendi kendine yanmamaktadır. Ancak C maddesinin yüksek sıcaklıkta yanmasıyla tutuşmakta, tutuştuğunda yüksek kalori vermektedir. Yavaş yandığı için orta sıcaklığın yükselmesine neden olmaktadır.

C maddesi; alev yapıcı özelliği olan bir maddedir. Uzun süreli ve yüksek sıcaklıkta yandığı için fırına kalori sağlamaktadır. C maddesi, ayrıca B maddesinin yanmasında tek ve etkin rolü oynamaktadır. Hatta en fazla kaloriyi bünyesinde tutan bir madde olma özelliğindedir.

Uygulamada kalite performans karakteristiği, fırının çalışma şartlarını riske atmadan en fazla yakılacak karışım miktarı olarak ele alınmıştır. Deneyin yapıldığı fırında kritik nokta, fırın taban sıcaklığı ve fırın orta sıcaklığı değerleridir. Atılan karışımın fırın ısını nasıl etkilediği bilgisayar ortamından takip edilebilmektedir. Farklı oranlardaki karışımların fırın sıcaklığına olan etkileri bilgisayar ortamından takip edilerek, süreç çıktısı belirli sıcaklık aralığında hazırlanan karışım düzeylerinin kaç defa atıldığı gözlemlenerek hesaplanmıştır. Deney düzeneği Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Fırın deney sistemi (Tesisteki Fırın Scada Ekranı)

Şekil 1.1’de işaretlenmiş ve numaralandırılmış yerler fırın sistemindeki göstergelerdir. Buna göre;

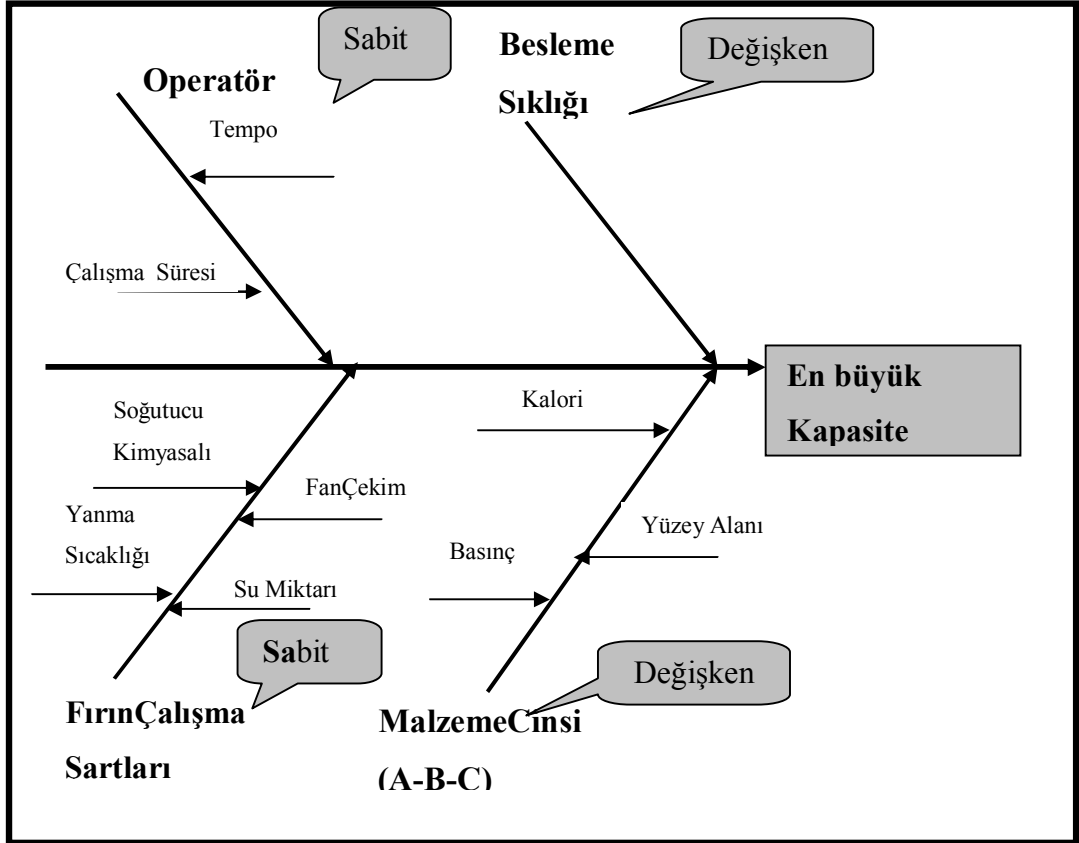
- 1- Ağırlık,
- 2- Dolum ağız sıcaklığı,
- 3- Giriş sıcaklığı,
- 4- Fırın üst sıcaklık,
- 5- Fırın orta sıcaklık,
- 6- Fırın taban sıcaklığı,
- 7- İç Basınç,
- 8- Yıkama 2,
- 9- Yıkama 1,
- 10- PH,
- 11- Çıkış Sıcaklığı

değerlerini ifade etmektedir.

Problem ve bu problemin çözümüne ilişkin amaç ortaya konulduktan sonra, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler

kullanılarak, ilgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan ya da değerlemeye alınacak faktör ve/veya etkileşimler seçilir.

Balık kılıçığı diyagramı ürün veya prosesin kalitesini temsil eden, çıktı olarak ölçülecek değeri ve değerlendirilecek olan bu değere etki edecek tüm faktörleri ortaya koyar. Balık kılıçığı diyagramına dayanarak deneyler sırasında değişken olarak alınacak faktörlere ve sabitlenmesi gereken faktörlere karar verilmiştir.



Şekil 1.2. Balık kılıçığı diyagramı

Dört değişik faktörden her biri en düşük en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak belirlenmiştir. Yapılacak deneylerde incelenmesi düşünülen faktörler ve seviyeleri Çizelge 1.1' deki gibi öngörülmüştür. En fazla kapasiteyi oluşturan bileşimi bulmak için $3^4 = 81$ adet deney yapılması gerekmektedir. Bu deneylerin yapılması için harcanan zaman göz önüne alındığında Taguchi'nin geliştirdiği, deney sayısında azalma sağlayan yöntem sonuca daha kolay ve hızlı ulaşmayı sağlamaktadır.

Gürültü faktörlerinin performans karakteristiği üzerindeki etkisini minimize eden tasarım parametrelerinin değerleri belirlenmelidir. Bu parametrelerin birden fazla sayıda seviyesinin kullanıldığı deneyler yapılmalıdır. Bu işlem, deneyde tasarım parametrelerinin değerlerini sistematik olarak değiştirme yoluyla ve her bir deney için gürültü faktörlerinin etkisini karşılaştırarak gerçekleştirilir. Parametre tasarımı deneyi iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar tasarım parametre matrisi ve gürültü faktörleri matrisinin oluşturulmasıdır. Parametre matrisi ürünün ya da sürecin tasarım özelliklerini belirlemektedir. Tasarım parametre matrisinin sütunları tasarım parametrelerini, satırları ise test değerlerinin farklı bileşimlerini ifade etmektedir. Gürültü faktörleri matrisi, gürültü faktörlerinin test değerlerini belirlemektedir. Bu matrisin sütunu ise gürültü faktörlerini, satırları ise gürültü düzeylerinin değişik bileşimlerini ifade eder.

Çizelge 1.1. Deney faktörleri ve seviyeleri

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1 A Maddesi (gr)	60	45	30
2 B Maddesi (gr)	360	240	120
3 C Maddesi (gr)	600	400	200
4 Besleme Sıklığı (sn)	5	10	15

Üç değişik faktörden her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak belirlenmiştir. Genellikle Taguchi deney tasarımında seviyelerin değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır fakat bu çalışmada günlük kapasite incelendiği için seviye değerleri karışık belirlenmiştir. Faktör arasındaki etkileşimler göz ardı edilmiştir. Yapılacak deneylerde incelenmesi düşünülen faktörler ve seviyeleri Çizelge 1.1'deki gibi öngörülmüştür. Bunların dışında deneylerin gerçekleştirildiği fırın atölyesindeki nemin, sıcaklığın, fan çekim güçlerinin, soğutma, yıkama ve PH gibi kapasiteyi etkileyecek diğer faktörler sabit tutulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ross ve Sykes (1989), “Sıcak Damgalama Sürecinin En İyilenmesi” isimli çalışmalarında tasarım aşamasının yaklaşık iki ayda bitmesi düşünülen bir sıcak damgalama sürecinin tasarım aşamasında taguchi yöntemini kullanmışlardır. Dört tanesi iki seviyeli, bir tanesi ise dört seviyeli olan beş faktörün performans karakteristiğine olan etkilerini araştırmak için yapılan uygulamada $L_8(2^7)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda imalat aşaması dahil tüm çalışmalar bir aya düşürülmüş ve şirket büyük bir oranda kar sağlamıştır.

Yang ve Tarng (1997), “Tornalama İşlemleri İçin Kesici Parametrelerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilenmesi” konulu çalışmalarında S45C çelik barların tornalanmasında kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için taguchi metodunu kullanmışlardır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için $L_9(3^4)$ ortogonal dizinini kullanmışlardır. Deneylelerden elde edilen veriler ise varyans analizi yardımıyla analiz edilmiştir.

Kağnıcıoğlu (1998), “Üretim Öncesi Kalite Kontrolünde Taguchi Yöntemi ve Kükürtdioksit Giderici Sitrat Yönteminin Uygulanması” adlı çalışmasında öncelikli olarak Taguchi yöntemi ele alınmış ve sonra termik santrallerden çıkan kükürtdioksit gazının giderilmesi için sitrat yönteminin kullanılması araştırılmıştır. Yöntemin en iyi sonuçları Taguchi yöntemi yardımıyla bulunmuştur. Uygulama çalışması sırasında deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Amaç sitrat yönteminin en iyi sonuçlarının alınabilmesi için üç ayrı performans istatistiğinin en iyilenmesidir. Çalışmada $L_{18}(2^13^7)$ ortogonal dizini kullanılmış en iyi faktör seviye kombinasyonu otuzsekiz adet deney ile bulunmuştur. Uygulama sonucunda çevre kirliliği ve maliyetlerde düşme olacağı öngörülmüştür.

Dovey ve Matthews (1998), “Yüzey Mühendisliği Uygulamalarında Kalite Dağılımı ve Taguchi Uygulaması” adlı çalışmalarında matkap uçlarının PVD tekniği kullanılarak TİN kaplaması uygulamasında, performans istatistiği olarak kayıp fonksiyon ele alınmıştır. Yapılan Taguchi yöntemi uygulaması sonucunda, kaplama

maliyetlerinde %25 oranında bir artış olmasına rağmen matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40'lık bir kalite sağlanmıştır.

Baynal (2003), “Çok Yanıtlı Kalite Karakteristiklerinin Eş Zamanlı Eniyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve Otomotiv Endüstrisinde Bir Uygulama” konulu çalışmasında otomotiv endüstrisinin tedarikçi firması tarafından üretilen far kumanda kolu şapkasının baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklığının giderilmesi, ağırlık ve boyutunun hedef değerlerde olması amaçlanmıştır. Uygulamada ürünün ağırlığı, görünümü (bombelik ve parlaklık) ve boyutu olmak üzere üç kalite karakteristikli bir problem üzerinde çalışılmıştır. $L_{27}(3^{13})$ ortogonal dizini kullanılmış, on üç faktörün performans karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiş ve en iyi faktör-seviye kombinasyonu tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda gereksiz ekipman kullanımı ve enerji tüketimi ortadan kalkmış, kalıbın temizlenmesi işlemi azaltılmış, deney analizinden elde edilen kombinasyona göre yapılan üretim sonucunda da, üretilen parçaların ağırlığında 4,35dB (varyansta %11 iyileşme), görünümde 69,77 dB (varyansta %714 iyileşme) ve boyutunda 34,95 dB'lik (varyansta %133 iyileşme) iyileşme sağlanmıştır.

Canıyılmaz ve Kutay (2003), “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım” isimli çalışmalarında şalter üretimi yapan bir firmanın, şalter gövdelerinin, kullanıldıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak en uygun proses şartlarının bulunması amaçlanmaktadır. Şalter gövdelerinin üretildiği prosese ve mukavemetlerine etki eden faktörler analizler sonucunda Bayrak (1996) çalışmasında belirlenmiştir. Yedi faktörlü iki seviyeli problem L_{16} ortogonal dizinine göre atanmıştır. Tasarım deneyleri sonucunda elde edilen veriler Minitab paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin analiz edilmesinde “Faktör Etkilerinin Grafiksiz Gösterimi (FEGG)” metodu kullanılmıştır. Gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak Varyans Analizi Yöntemiyle çözülmüş olan problem, Faktör Etkilerinin Grafiksiz Gösterimi Yöntemiyle tekrar çözümlenerek iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmış ve çalışma sonunda FEGG yönteminin bu çalışma için, varyans analizi yönteminden daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

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

Savaşkan vd. (2004), “Deney Tasarımı Yöntemi ile Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu” isimli çalışmalarında metal işleme sanayinde delme işleminin öneminden yola çıkılarak, proses parametrelerinin optimizasyonunun ve matkap uçlarının ömrünün arttırılmasının maliyetlere ve kaliteye olan değer katkılarının bulunması amaçlanmıştır. Bu hedefe ulaşmak için başlıca çıkış noktası, aşınma ve korozyon etkilerini azaltmak, malzemenin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve performansı arttırmak olmuştur. Talaşlı imalatta istenilen bu etkiyi yakalamak için etkili yöntemin yüzey kaplamaları olduğu gözlenmiştir. Sebep-sonuç diyagramından hareketle kesme kuvvetine etki eden faktörler; kaplama malzemesi, kesme hızı ve ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Her biri en düşük, en yüksek ve orta değer olmak üzere eşit aralıklı üç seviyeli olarak ele alınmıştır. Deney sonuçları dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvveti değerleridir. Çalışma Taguchi L_9 deney tasarımına göre tasarlanmış ve S/N oranlarından yola çıkılarak varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Analize göre Taguchi Deney Tasarımı metoduyla yapılan optimizasyon ve onama deneyleri sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

Akyalçın ve Kaytakoğlu (2005), “Sitrata Prosesiyle SO_2 Gideriminde Optimum Şartlarının Belirlenmesi” isimli çalışmalarında, kalorifik değeri düşük ve kükürt içeriği yüksek kömürlerin ülke ekonomisine kazandırılması amacıyla, termik santrallerde yakılması sonucunda oluşan ve havayı önemli derecede kirleten SO_2 gazının giderilmesinde kullanılan, geri dönüşüm yöntemlerinden biri olan sitrat

prosesini ele almışlardır. Çalışmada Taguchi metodu kullanılarak Tribazik Sodyum Sitrat (TSS) çözeltisiyle SO₂ giderimine ait en uygun koşullar incelenmiştir. Deneyleerde gaz kabarcığının büyüklüğü, reaksiyon sıcaklığı, gaz akış hızı, karıştırma hızı ve çözelti derişimi kontrol faktörleri olarak ele alınmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, mevcut proses için en iyi şartların reaksiyon sıcaklığına, gaz akış hızına ve çözelti derişimine bağılı olduğu görülmüştür.

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

Dervişoğlu ve Muluk (2006), “Taguchi Tasarımının Uygulanması ve Klasik Kesirli Çok Etkenli Tasarımla Karşılaştırılması” isimli çalışmalarında, 3^k tasarımlarında, 2^k sisteminden farklı olarak görülen eşdeş bozulumu, etki değerlerindeki sapmalar incelenmiştir. Taguchi tasarımı, klasik kesirli çok etkenli tasarımlardan farklı olarak eşdeş bozulumu Dikey Dizin üzerinde gözlemlene olanağı vereceği düşünülerek çalışmanın ilk aşamasında Taguchi yönteminde kullanılan ortogonal dizinlerin oluşturulması, L₂₇(3¹³) Dikey dizininin oluşturulması, Doğrusal Grafikler ve Üçgensel tabloların kullanımı anlatılmaktadır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, Hicks (1973) yapmış olduğu Tam faktoriyel bir deney tasarımı uygulamasını Taguchi Yöntemini kullanarak çözmüşler ve Taguchi yöntemi ile bulunan sonuçlarla tam faktöriyel ile bulunan sonuçları kıyaslamışlardır.

Şanyılmaz (2006), “Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi ile Bir Uygulama” adlı çalışmasında, Kaleporselen Elektroteknik Sanayi A.Ş.’nde üretilen NH00 bıçaklı sigorta sistemlerinde ortaya çıkan buşon gövdesinin çatlaması sorununun Taguchi yöntemi ile çözülmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya konu olan NH Bıçaklı sigorta sistemleri, elektrik akımı yeterli bir süre için verilen bir

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

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

olmuştur. Göz önüne alınacak olan kalite karakteristiği ürün mukavemetidir. Bu amaçla ürünlerde ve proseste varyasyon yaratan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin optimal değerleri belirlenmeye, ürün ve prosesteki varyasyon en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ürünü ve prosesi etkilediği düşünülen yedi kontrol edilebilen faktör belirlenmiş, L16 ortogonal dizisi seçilmiş, denemeler beşer kez tekrar edilmiş ve hata faktörlerinin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Doğrulama deneyleri sonucunda bulunan yanıt da belirlenen güven aralıkları içinde yer almıştır. Optik kontrol makinesinde hatalı çıkan ürün sayısı, en iyi üretim şartları sağlandığında %60 azalmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Kavramı

Bir şey öğrenmek veya bir düşüncenin doğruluğunu kanıtlamak amacıyla yapılan gözlemlere “deney” denmektedir. Ürün veya sürecin geliştirilmesinde iki durumla karşılaşılmaktadır (Anagün, 2000):

1. Ürünün veya sürecin ilgilenilen performans karakteristiğini en iyi değere getirecek parametrelerin belirlenmesi,
2. Ürün veya süreç için eşdeğer performans düzeyini verecek şekilde daha ucuz alternatif tasarım, malzeme ya da yöntemin bulunması.

Bu iki durumda performansın geliştirilmesi için deneyler yapılır. Bir deney, iki işlem ortalamasının karşılaştırılması gibi basit bir uygulama gerektirebileceği gibi, çok karmaşık bir deney tasarımının uygulanmasını da gerektirebilmektedir. Deney gerçekleştirilmeden önce çözülmesi istenen sorun için etkilerin arasında gerçek fark araştırıldığında en fazla bilgiyi sağlayacak şekilde deneyin tasarlanması zorunludur. Verilecek kararın güvenilirliği uygun deney stratejisinin belirlenmesine bağlıdır. Aşağıda değişik deney stratejileri anlatılmaktadır.

3.1.1. Tek Faktörlü Deney

Her seferinde sadece bir faktör ele alınır ve seçilen faktörün ürün veya süreç performansına olan etkisi incelenir. Seçilen faktörün performansa etkisi yoksa diğer faktör seçilerek aynı işlem tekrarlanmaktadır. Şayet uygulamada yapılan deneylerde ürün veya süreç performansını etkileyen faktör sayısı birden fazla ise, seçilen faktör dışında kalan faktörlerin etkisinin olmadığı kabul edilmektedir. Bu şekilde yapılan deneylerde iki faktör arası etkileşimler gözlenememektedir. Her bir faktörün performans üzerine olan etkisi ayrı ayrı araştırıldığından deney sayısı artmakta ve dolayısıyla deney maliyetleri yükselmektedir.

3.1.2. Çok Faktörlü Deney

Bu şekilde yapılan deneylerde iki farklı yaklaşım söz konusudur.

1.Yaklaşım: Her seferinde incelediğimiz faktör dışındaki faktörler sabit tutularak, sadece bir faktörün seviyelerinde değiştirme yapılmaktadır. Bu yaklaşımda da iki faktör arası etkileşimleri görmek mümkün değildir.

2. Yaklaşım: Bütün faktörlerin seviyeleri aynı anda değiştirilmektedir. Bu yaklaşımda her bir faktörün ürün/süreç performansına ayrı ayrı etkisinin olup olmadığını görmek mümkün değildir. Sadece bütün faktörlerin düşük ve yüksek düzeyleri karşılaştırıldığından dolayı faktörlerin birleştirilmiş etkisinden söz edilmektedir.

3.1.3. Tam Faktöriyel Deney

Tam Faktöriyel Deney (T.F.D.) 'de her bir faktörün her seviyesi için eşit sayıda gözlem yapılarak, faktörlerin diğer faktörlerden bağımsızca ürün performansı üzerindeki etkileri belirlenmektedir. Bu özelliğe ortogonallik denir. Bu deney stratejisi diğer açıklanan deney stratejilerini de kapsamakta ayrıca bu deney ile bir faktörün seviyesi sabit tutulup, diğer faktör seviyeleri değişken olduğunda değişkenliğin performansa olan etkisi gözlenebilmektedir.

T.F.D., performansa etki eden faktörlerin sayısının en az bir en çok beş olduğu durumlarda kullanılmaktadır. T.F.D.' de faktörlerin ürün/süreç performansına ayrı ayrı ve birlikte olan etkilerini görmek için gerekli deney sayısı;

$$n = a^k \quad (2.1)$$

formülüyle hesaplanır. Burada,

$$a=2,3,5\dots$$

$$a= \text{Faktörün düzey sayısı},$$

$$k= \text{İlgilenilen faktör sayısıdır.}$$

Ürün/ Süreç performansına etki eden faktörlerin seviyelerinin çok olması deneyi maliyetli ve karmaşık hale getirmektedir (Anagün, 2000).

3.1.4. Kesirli Faktöriyel Deney

T.F.D. yapmak ekonomik, kolay ve uygulanabilir olmadığı durumlarda daha az deneyin yapıldığı bir deney stratejisi olan Kesirli (Kısmi) Faktöriyel Deney (K.F.D.) kullanılmaktadır. K.F.D.'de gerekli deney sayısı,

$$a^{k-p}, a=2,3,5,\dots\dots\dots (2.2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

a: Faktör düzey sayısı,

k: İlgilenilen faktör sayısını,

p: Bağımsız jeneratör,

simgelemektedir.

p=1 için 1/2 KFD,

p=2 için 1/4 KFD,

p=3 için 1/8 KFD,

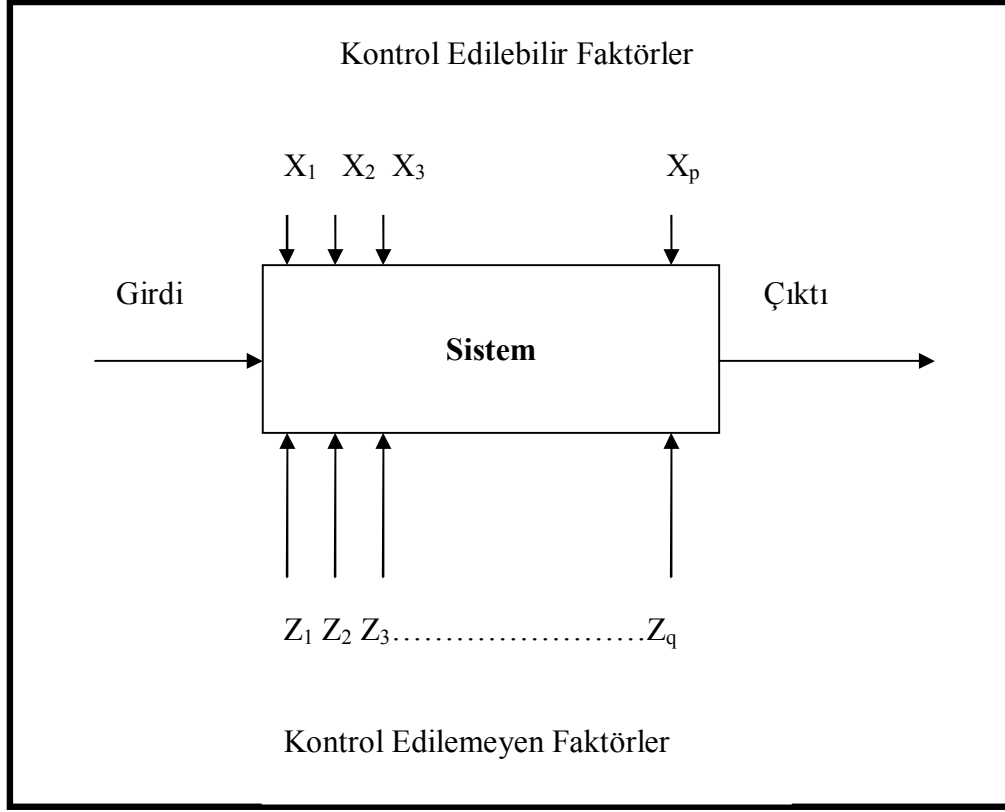
olarak isimlendirilirler (Anagün, 2000).

Çalışmada uygulanan Taguchi yöntemi de kesirli faktöriyel deney tasarımının bir türüdür.

3.2. Deney Tasarımı Kavramı

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

D.T., proses optimizasyonunda, proses değişkenlerinin tanımlanmasında ve prosesteki değişkenliğin azaltılmasında önemli bir yöntemdir. Bir sistemin veya sürecin genel modeli Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Proses değişkenlerinden X_1, X_2, \dots, X_p kontrol edilebilir değişkenler ve Z_1, Z_2, \dots, Z_q kontrol edilemeyen değişkenler olarak adlandırılır (Lunani vd., 1997).



Şekil 3.1. Bir sistem veya sürecin genel gösterimi (Lunani vd., 1997)

D.T. teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut procesi düzeltmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Burada amaç, sağlam (robust) bir proses geliştirmektir. Asıl istenen değişkenliğin kaynağı olan, kontrol edilemeyen değişkenlerin (Z_1, Z_2, \dots, Z_q) etkisinin en az olduğu procesi geliştirmektir (Montgomery, 1991).

Genel olarak D.T. adımları dört adımda verilmektedir.

1. Etkileri arasındaki gerçek farkların araştırılması düşünülen faktörler ve seviyelerinin belirlenmesi gerekir.
2. Deneyde her faktör için kaç tekrar yapılacağına karar verilir.
3. Veri analizinde kullanılacak teknik belirlenir.
4. Belirlenen deney tasarımıyla elde edilen deneysel veri sonuçları yorumlanır.

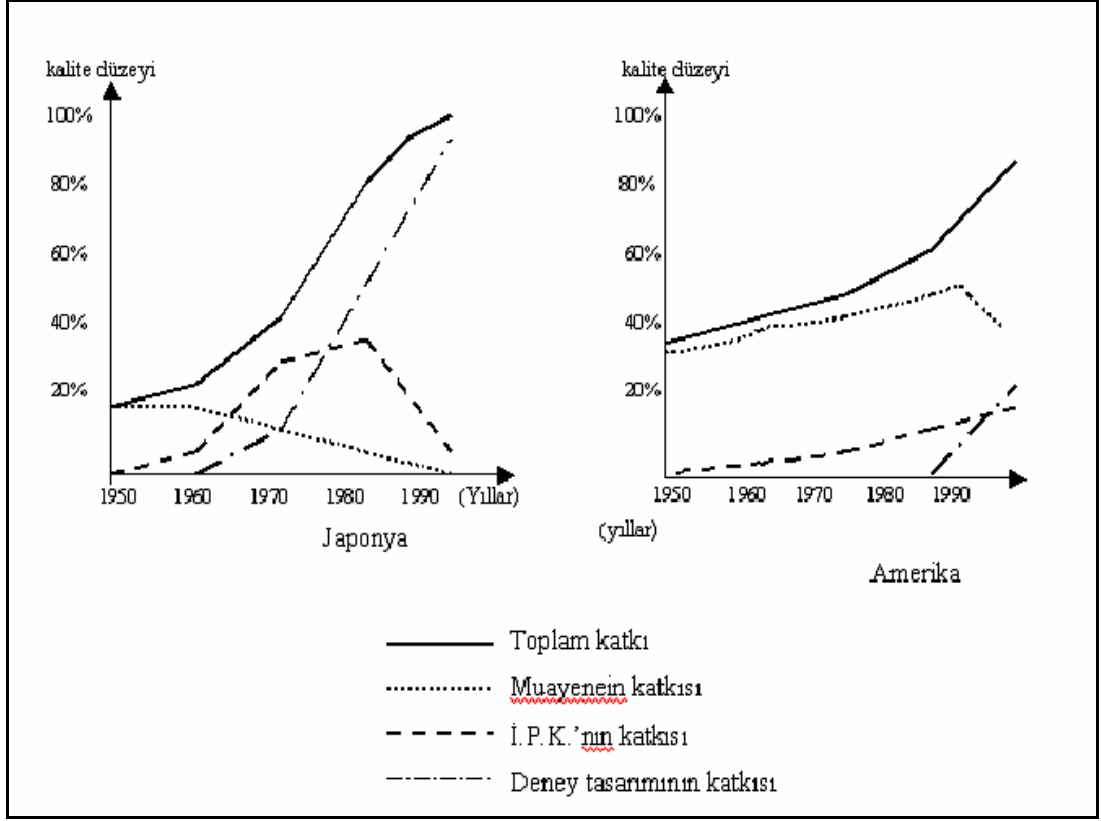
3.3. Deney Tasarımının Tarihçesi

“Deney tasarımı”, 1920’lerde istatistik biliminin babası sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında üretim verimini arttırmak amacıyla

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 üretim geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerikanın bu alanda lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır” (şirvancı, 1997).

“DT, 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 tasarımını Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfetmiştir. Deneyin tasarımı, o tarihlerde Japonya’da profesör Genii Taguchi’nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmaktaydı. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, retimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır” (şirvancı, 1997).

Motorola firmasının kalite grubundan K.Bhote ‘Word Class Quality isimli kitabında’ amaçları kalite sağlamak olan  yöntemin kalite geliştirmeye olan katkısını 1950-1990 yılları arasında Amerika ve Japonya için karşılaştırmıştır. Bu  yöntem geleneksel muayene (kalite kontrol), istatistiksel proses kontrol ve deney tasarımı yöntemleridir. şekil 3.2’de grldği gibi Japonya’da kalite ilerlemesine en büyük katkıyı 1970’den sonra deney tasarımı yapmıştır. Amerika’da ise 1980’den sonra çok büyük bir ivme kazanmıştır.



Şekil 3.2. 1950-1990 yılları arasında üç temel yöntemin kalite düzeyine katkısı (Şirvancı, 1997)

Aşağıda deney tasarımında kullanılan temel kavramlar verilmektedir:

Kalite: Kullanım için uygunluk olarak tanımlanmaktadır.

Kalite İyileştirme: Ürün ve üretim sürecindeki değişkenliğin azaltılmasıdır.

Kalite (Respons) Değişkeni: Deney tasarımı yapılarak incelenmek istenen, süreçte iyileştirmeye tabi tutulan değişkendir.

Faktör: Deneyde kalite değişkeni üzerinde etkisi bulunan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerdir.

Seviye (Düzye): Kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin eşit aralıklı olarak denenecekleri değerler bütünüdür.

3.4. Deney Tasarımı İlkeleri

3.4.1. Rassallaştırma İlkesi

Modern deney tasarımının çok önemli özelliklerinden biri olan rassallaştırma R.A. Fisher tarafından geliştirilmiş bir kavramdır. Rassallaştırmayı gerçekleştirmenin bir yolu deney birimlerinin rassal olarak atanmasıdır (Çömlekçi, 1997).

Rassallaştırma, deneysel verideki yanlış(sistemik) yanlışların ortaya çıkmasını önler. Deney kombinasyonlarının ortalamalarının karşılaştırılmasında ortaya çıkabilecek yanlışlığın engellenmesi için her deney kombinasyonunun herhangi bir deney birimine atanması olasılığı aynı olmalıdır. Rassallaştırma, deney materyelinin atanmasının ve uygulanmasının rassal olarak belirlenmesidir (Çömlekçi, 1997).

“Rassal sayılar tablosu ya da başka yaklaşımlar kullanılarak yapılan rassallaştırmanın amacı, birbirini takip eden deneylerin, hem deneydeki faktör düzeylerinden hem de bilinmeyen ya da kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmesini önlemektir. Temel olarak, üç farklı rassallaştırma yöntemi söz konusudur” (Anagün, 2000).

3.4.1.1. Tamamen Rassallaştırma

Faktörlerin etkilerinin araştırılacağı deneylerin yapılış sırası, her bir gözlem değeri grubu için ayrı ayrı rassallaştırılarak belirlenir.

3.4.1.2. Basit Tekrarlama

İlgilenilen performans karakteristiği için yapılacak deneyler bir kez rassallaştırılır ve her bir deney bazında gerekli veriler toplanır. Daha sonra, ikinci ve diğer sıralardaki deneyler için benzer yaklaşım uygulanır. Bu tür rassallaştırma uygulamada çoğunlukla tercih edilmektedir.

3.4.1.3. Blok İçinde Rassallaştırma

Performans karakteristiğine etkisi olan faktörlerden birisinin düzeyinde değişiklik yapılmasının ‘tezgâh ayarlanması ya da hazırlanması gibi’ zor olduğu durumda kullanılan bu yöntemde, deneyler önce hassasiyet gerektiren faktör bazında iki bloğa ayrılır ve daha sonra bloklar, kendi içinde rassallaştırılarak veriler toplanır.

3.4.2. Tekrarlama

Tekrarlama, deneylerin aynı faktör düzeyleri ile birden çok yapılması anlamına gelmektedir. Tekrarlama sayesinde değişkenliğin belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Hata değişkeninin bulunabilmesi için deneyin iki veya daha fazla sayıda tekrarlanması gerekmektedir. Hata ise, tesadüfler ve deneye dahil edilmeyen kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi sonucu oluşmaktadır.

Tekrarlama sayısının artmasıyla güven aralığı daraltılmakta ve buna bağlı olarak da aralık kestiriminin kesinliği artmaktadır. Tekrar sayısının artması, anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen istatistiksel anlamlılık sınavasının gücünü de arttırmaktadır.

3.4.3. Bloklama

Bloklama, incelenen faktörlerin özel durumları nedeniyle oluşan değişkenlik nedenlerini parçalara ayırmaktır yani kendi içinde homojen olan birimlerin parçalara ayrılarak, deneylere atanmasıdır. Bloklama ile değişkenlik izole edilmektedir.

Bloklamada temel amaç, benzer deneysel birimleri gruplara bölerek, kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini minimize ederek bloklar içindeki gözlemlerin homojenliğini sağlamaktır.

Bloklama, Kempthorne (1952) tarafından geliştirilen ve Hicks (1973) ve Anderson-Mc Lean (1974) tarafından da kullanılan,

$$L = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad (2.3)$$

Doğrusal kombinasyon ile de yapılabilir. Buna göre;

α_i : Bloklamada kullanılan faktörler

x_i : Faktör düzeyi
olarak simgelenmektedir (Anagün, 2000).

3.5. Deney Tasarımının Adımları

Bir D.T., ürün ya da süreç performansında olması gereken durumdan sapmaya neden olan söz konusu problemin tanımlanması ile başlayıp, problemin çözümlenip çözümlenmediğinin ortaya çıkarılması ile sona eren aşağıda verilen bir dizi adımda gerçekleştirilir. D.T. adımları on başlık altında toplanmaktadır (Anagün, 2000).

1. Problemin Tanımlanması,
2. Amacın Belirlenmesi,
3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi,
4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi,
5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi,
6. Deney Tasarımının Seçilmesi,
7. Verilerin Toplanması,
8. Verilerin Analiz Edilmesi,
9. Sonuçların Yorumlanması,
10. Doğrulama Deneylerinin Yapılması.

3.5.1. Problemin Tanımlanması

Deney yapmanın amacı bir sistemle ilgili bilginin doğrulanması veya yeni şartların sistem üzerindeki etkisini araştırmak olabilmektedir. Problemin tanımlanması, iyi anlaşılması deney tasarımının en önemli adımlarından biridir. Deney tasarımında, elde edilen verilerin analizinde, deneye başlamadan önce neyin araştırılacağı, verilerin hangi deney tasarımıyla derlenerek hangi teknikle çözümleneceği konusunun çok iyi belirlenmesi gerekmektedir.

3.5.2. Amacın Belirlenmesi

Kontrol edilebilir ve kritik malzeme, süreç değişkenleri belirlenerek, yapılan işlemin, kullanılan yöntemin ürün veya sürece etkisi mevcut durum dikkate alınarak öngörülmektedir. Amaç net ve anlaşılır olmalıdır.

3.5.3. Performans Karakteristiğinin Seçilmesi

Araştırmacı, incelenen değişkeni etkilediği düşündüğü bir veya daha fazla performans karakteristiğini belirler. Analiz edilen probleme bağlı olarak belirlemek durumunda olduğu performans karakteristiği ölçüm değişkeni olabileceği gibi, özellik belirten bir değişken de olabilmektedir.

Performans karakteristiği, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır.

3.5.4. Performans Karakteristiğini Etkileyen Faktörlerin Seçilmesi

Bağımsız değişkenlerin diğer bir adı olan performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesi deney tasarımının en kritik aşamalarından biridir. Beklenen durumdaki sapmayı oluşturan her bir kaynağa faktör denmektedir.

Bir ürün, belli bir düzeyde ve sürekli bir şekilde fonksiyonunu yerine getiremiyorsa ürün veya sürecin iyileştirilmesi gerekmektedir. Ürün veya süreç performans karakteristiğini etkileyen faktörlerin seçilmesinde, beyin fırtınası, süreç akış şeması, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır.

Beyin Fırtınası, saptanan problemle ilgili bir grup personelin bir araya gelerek, ürün veya süreç performansındaki değişkenliğin azaltılması amacıyla fikir yürüttükleri bir faaliyettir.

Süreç Akış Şeması, ürünün ilgili performans karakteristiği için yapılan tüm işlemleri içermekte ve bunun sonucu önemli faktörler üzerine yoğunlaşmayı kolaylaştırmaktadır. İşlem adımları şematik olarak gösterilir ve her işlem adımının etkisi tartışılır.

Sebep-Sonuç Diyagramı ise, makine, malzeme, metot, ölçüm ve insan temelinde ilgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörlerin belirlenmesinde kullanılır (Anagün, 2000).

“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. 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” (Durmaz, 2008).

3.5.5. Faktörlerin Düzeylerinin Seçilmesi

“İncelenen performans karakteristiğine etki eden faktörler belirlendikten sonra faktör düzeyleri seçilir. Bazı faktörler için sadece iki alternatif durum (Var-Yok, Düşük-Yüksek, gibi) olmakla birlikte, bazıları için ikiden fazla alternatif (100,1250 ve 1500 rpm, gibi) durum söz konusu olabilmektedir. Faktörler için seçilen düzey sayısı da yapılacak deney tasarımını ve dolayısıyla tasarımdaki her bir deney için gerekli gözlem sayısını etkilemekte ve tasarımda sabit, rassal ve/veya karışık etkilerin oluşmasına neden olmaktadır”(Anagün, 2000).

3.5.6. Deney Tasarımının Seçilmesi

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken konu örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir.

3.5.7. Verilerin Toplanması

İlgilenilen performans karakteristiğine etkisi olan faktörler ve uygun tasarım belirlendikten sonra analiz için verilerin toplanması gerekmektedir. Her bir deney için gerekli veriler rassallaştırma ilkesi temelinde toplanmaktadır.

3.5.8. Verilerin Analiz Edilmesi

Verilerin analizinde, ilgilenilen performans karakteristiğine beklenen yönde etkisi olan faktör ve/veya etkileşimler belirlenir. Daha sonra kritik olan faktör ve/veya etkileşimlerin belirlenmesi amacıyla hesap tablosu analizi, normal olasılık grafiği ve varyans analizi kullanılmaktadır.

3.5.8.1. Hesap Tablosu Yöntemiyle Analiz

Şirvancı (1997) hesap tablolarını şu şekilde açıklamıştır:

“Hesap tabloları, deney tasarımı eğitiminin yaygınlaşması sonucu, fabrika ortamında hesaplamayı kolaylaştırmak amacıyla oluşturulmuştur. Örnek olarak L8 tablosu incelenmiştir. Bu tablo, deney sonuçlarının analizi için şu şekilde kullanılır. İlk olarak deney sonucu elde edilen veriler, “gözlem değeri” kolonuna işlenir. Gözlem kolonunun her satırındaki değer, o satırdaki boş hanelere kopya edilir. Daha sonra, her kolonun toplamı alınarak “toplam” satırı doldurulur. Her kolonun toplamı sayı satırındaki rakamlara bölünerek sonuç “ortalama” satırına işlenir. Son basamakta faktörlerin ve etkileşimlerin etki değerlerini bulmak için, her ana kolondaki (toplam 7 tane ana kolon var) ikinci kolonun ortalamasından birinci kolonun ortalaması çıkarılır ve sonuç “etki” satırına işlenir” (Şirvancı, 1997).

Hesap tablosu örneği Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

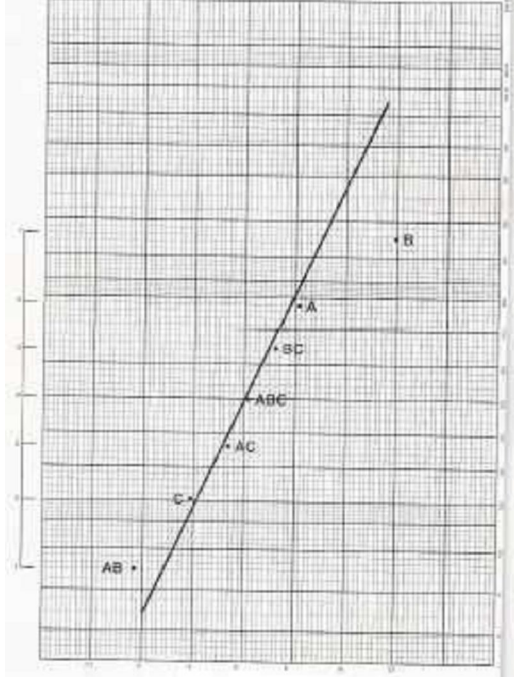
Çizelge 3.1. L8 Hesap Tablosu

Standart	Gözlem	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	25	25		25		25		25		25		25		25	
2	21	21		21			21		21	21		21			21
3	44	44			44	44		44			44	44			44
4	43	43			43		43	43		43			43	43	
5	38		38	38		38		38		38			38		38
6	31		31	31			31	31			31	31		31	
7	40		40		40	40			40	40		40		40	
8	36		36		36		36		36		36		36		36
TOPLAM	278	133	145	115	163	147	131	156	122	142	136	136	142	139	139
SAYI	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	34,75	33,3	36,3	28,8	40,8	36,8	32,8	39	30,5	35,5	34	34	35,5	34,8	34,8
ETKİ			3		12		-4		-8,5		-1,5		1,5		0
SIRA			6		7		2		1		3		5		4

3.5.8.2. Normal Olasılık Grafiği

“Normal olasılık grafiği, performans karakteristiğine etkisi olan ve olmayan faktör ve/veya etkileşimlerin ortalama etkilerinin karşı gelen olasılıkları temelinde ölçekli bir grafik kağıdı üzerinde gösterilmesidir. Ortalaması sıfır olan bir dağılıma ilişkin gözlem değerleri bir doğru üzerinde yer alır varsayımı kullanılır. Normal olasılık grafiğinin hazırlanmasında, öncelikle her bir faktör ve ilgilenilen etkileşimlerin ortalama etkileri belirlenir” (Anagün, 2000).

Etkilerin hangisinin cevap değişkeni üzerinde etkisinin büyük ve önemli olduğuna karar vermek için normal olasılık grafiği çizilir. Çizelge 3.1’ün normal olasılık grafiği Şekil 3.3.de verilmektedir.



Şekil 3.3. Normal olasılık grafiği (Şirvancı, 1997).

Örnek verilen hesap tablosunun, normal olasılık grafiğinden B ve AB'nin istatistiksel olarak etkisinin büyük olduğu görülmektedir.

3.5.8.3. Varyans Analizi

Varyans analizi (ANOVA), test edilen parça gruplarının ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistik temelli bir metottür. Deneysel tasarım temelde varyans analizine dayanmaktadır. Bu metot 1930'lu yıllarda Fisher tarafından geliştirildiği için isminin baş harfinden dolayı F testide denmektedir. Varyans analizi, Taguchi metodunun adımları konusunda daha detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.5.9. Sonuçların Yorumlanması

“İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Böylesi bir analiz yapılan çalışmanın duyarlılığı için gereklidir. Analizde, kurulan model temelinde deney için elde edilmiş verilere ilişkin bazı grafikler oluşturulur. Sapmaların tahmin değerlerinin de karşılaştırıldığı analizde, verilerin bir tür kontrol grafiği formatında dağılımına,

sapmalar için normal dağılımı temsil edip etmediğini belirtmek için histograma ve sapmalar için normal olasılık grafiğine yer verilmektedir” (Anagün, 2000).

3.5.10. Doğrulama Deney/Deneylerinin Yapılması

Bu aşamada D.T. sonucunda belirlenen kritik faktör ve/veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılır. Faktörlerin uygun düzeyleri belirlenir, gerekli deney/deneyler yapılır.

3.6. Deney Tasarımının Kullanım Alanları

Deney tasarımı üretim yapılan veya belirli bir sürece tabi olarak işlem gören her türlü alanda kullanılmaktadır.

Deney Tasarımı özellikle aşağıda belirtilen durumlarda etkin olarak kullanılır (Okutan, 1995) :

- Ürün veya proses tasarımındaki kritik kalite problemlerinin çözülmesi.
- Üretimdeki kritik kalite problemlerinin çözülmesi.

Deney tasarımı metodunun mühendislik tasarımında, yeni ürünler geliştirmede ve mevcut ürünlerdeki kalite problemlerinin çözümü uygulamalarına örnek olarak,

- Temel tasarım organizasyonlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.
- Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi.
- Değişik çalışma koşulları altında ürünün iyi çalışabilmesi için tasarım parametrelerinin seçimi.
- Ürün performansını etkileyen önemli parametrelerin belirlenmesi verilebilir.

D.T., incelenen sistemde; değişimlerin nedenlerini araştırmayı, bu değişimleri en aza indirmeyi ve değişimlerden etkilenmeyen bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır.

3.7. Faktöriyel Deneyler

Bir faktöriyel deney, olası tüm faktör kombinasyonlarının her birinin tekrarlı olarak denendiği deneydir. Faktöriyel deneyler, bir proses ya da ürün kalite karakteristikleri için hangi faktörlerin önemli olduğunu belirlemeleri açısından oldukça önemlidir (Anagün, 2000).

3.7.1. 2^k Faktöriyel Tasarımlar

Deneyde kullanılan faktörlerin sayısı 'k', yapılan gözlem sayısı 'n', tekrar sayısı 'r' harfleri ile simgelenmektedir. Faktörler ve kalite değişkenleri alfabenin büyük harfleriyle gösterilmektedir. ' 2^k ' yapılacak deney sayısını ifade etmektedir.

Örneğin; metal parçanın yüzey düzgünlüğüne kesme hızı ve kesme derinliğinin etkileri araştırılmak istensin. İlgili faktörlerin düzeyleri,

A : Kesme Hızı $A_{\text{düşük}} = 80 \text{ mm/dk}$ $A_{\text{yüksek}} = 100 \text{ mm/dk}$

B : Kesme Derinliği $B_{\text{düşük}} = 1 \text{ mm}$ $B_{\text{yüksek}} = 8 \text{ mm}$

olarak verilsin ve toplam $2^k = 2^2 = 4$ farklı deney yapılacaktır (Anagün, 2000).

Deney için gözlem değerleri Çizelge 3.2' de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yüzey düzgünlüğü deneyi için gözlem değerleri (Anagün, 2000)

Gözlem Değerleri				
Deney	I	II	III	Toplam
$A_{\text{düşük}}B_{\text{düşük}}$	28	25	27	80
$A_{\text{yüksek}}B_{\text{düşük}}$	36	32	32	100
$A_{\text{düşük}}B_{\text{yüksek}}$	18	19	23	60
$A_{\text{yüksek}}B_{\text{yüksek}}$	31	30	29	90

Böyle bir tasarımda, faktörlerin düşük değerleri 0, yüksek değerleri 1 ile gösterilir (Şekil 3.4).

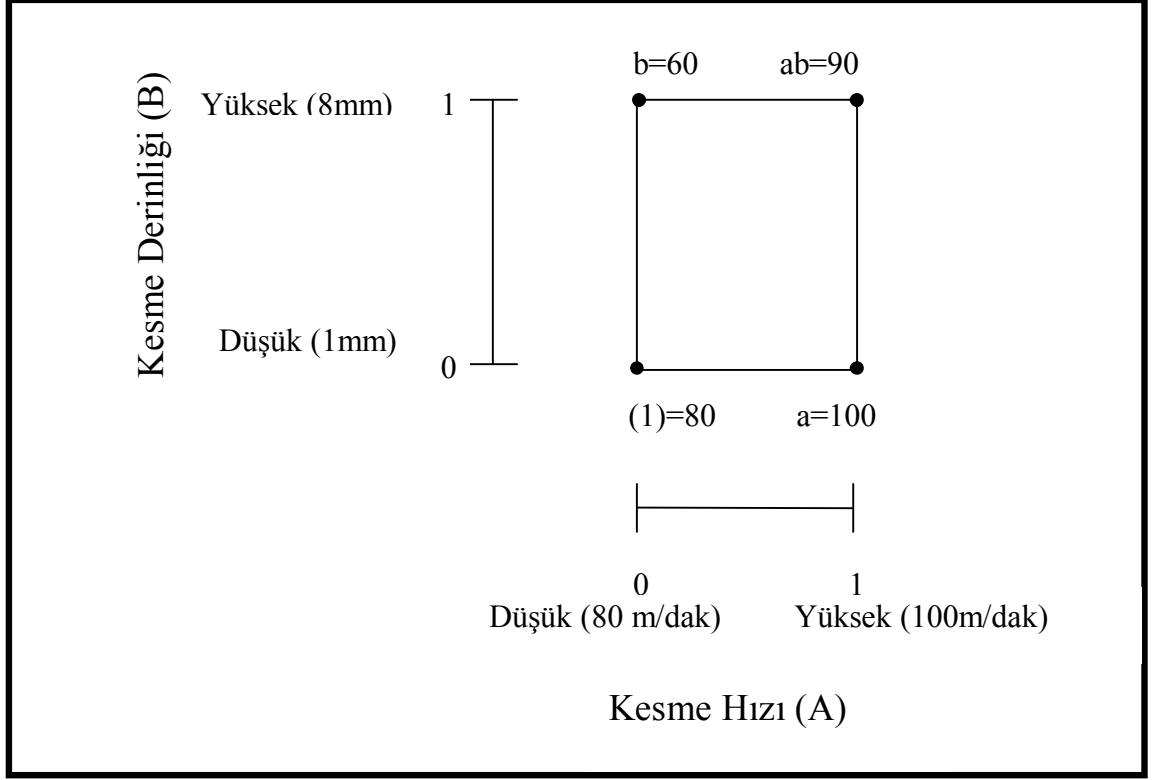
Oluşan karenin her bir köşesine ilişkin koordinatlar faktörlerin düzeylerine ilişkin deneyleri temsil etmekte olup, küçük harflerle simgelenirler.

1 0 : $A_{\text{yüksek}}B_{\text{düşük}}$ a

0 1 : $A_{\text{düşük}}B_{\text{yüksek}}$ b

$$\begin{aligned}
 1\ 1 & : A_{\text{yüksek}} B_{\text{yüksek}} & ab \\
 0\ 0 & : A_{\text{düşük}} B_{\text{düşük}} & (1)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Her iki faktörün düşük düzeyini gösteren 0 0 koordinatı ise (1) ile gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Yüzey düzgünlüğü için 2^2 faktöriyel tasarım gösterimi (Anagün, 2000)

A faktörünün, B faktörü düşük düzeyde iken ürün performansına etkisi:

$$[a-(1)]/n \tag{2.4}$$

A faktörünün, B faktörü yüksek düzeyde iken ürün performansına olan etkisi:

$$[ab-b]/n \tag{2.5}$$

B faktörünün, A faktörü düşük düzeyde iken ürün performansına etkisi:

$$[b-(1)]/n \tag{2.6}$$

B faktörünün, A faktörü yüksek düzeyde iken ürün performansına olan etkisi:

$$[ab-a]/n \quad (2.7)$$

olarak hesaplanmaktadır. A faktörünün ortalama etkisi:

$$\begin{aligned} A_{ETKI} &= \frac{1}{2n} \{[ab-b]+[a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab+a-b-(1)] \end{aligned} \quad (2.8)$$

B faktörünün ortalama etkisi:

$$\begin{aligned} B_{ETKI} &= \frac{1}{2n} \{[ab-a]+[b-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab+b-a-(1)] \end{aligned} \quad (2.9)$$

Her iki faktörün etkileşimi:

$$\begin{aligned} AB_{ETKI} &= \frac{1}{2n} \{[ab-b]-[a-(1)]\} \\ &= \frac{1}{2n} [ab-(1)-a-b] \end{aligned} \quad (2.10)$$

ile hesaplanmaktadır. Faktörler temelindeki ortalama etkiler, faktörlerin yüksek düzeyindeki değerlerinden düşük düzeyindeki değerlerin farkının gözlem sayısı ile faktör sayısının çarpımına oranıdır.

Varyans analizine temel olacak değerler;

$$SS_{Faktör} = \frac{[Kontrast_{Faktör}]^2}{2^k n} \quad (2.11)$$

formülüyle hesaplanır.

Kontrast değeri; Faktör düzeylerinden kaynaklanan etki olarak tanımlanmaktadır.

k: İlgilenilen faktör sayısı

$$Kontrast_{Faktör} = (a\pm 1).(b\pm 1).....(k\pm 1) \quad (2.12)$$

Formülüyle hesaplanmaktadır. Kontrastı belirlenecek faktör için üstteki formülde (-) işareti, diğerleri için (+) işareti kullanılır. Örneğin 2² faktöriyel deney için;

$$Kontrast_A = (a-1).(b+1) = ab+a-b-(1) \quad (2.13)$$

$$Kontrast_B = (a+1).(b-1) = ab+b-a-(1) \quad (2.14)$$

$$Kontrast_{AB} = (a-1).(b-1) = ab+(1)-b-a \quad (2.15)$$

kontrast değerleri elde edilir. Kontrast değerleri kullanılarak ortalama etkiler;

$$\text{FAKTÖR}_{\text{ETKi}} = \frac{2}{2^k n} \text{ (Kontrast)} \quad (2.16)$$

formülüyle bulunur. İncelenen her bir etki için kareler toplamı ise,

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{2^k n} \quad (2.17)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{2^k n} \quad (2.18)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{2^k n} \quad (2.19)$$

formülü ile hesaplanır. Buna göre;

a ve b: Faktör düzeyleri

n: Her bir deneyde alınan gözlem sayısı

k: İlgilenilen faktör sayısı

olmaktadır. Varyans analizi tablosu Çizelge 2.3' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. İki faktörlü iki seviyeli tasarımın varyans analizi tablosu

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı (ss)	Serbestlik Derecesi (sd)	Ortalama Kareler (MS)	F ₀
A	SS _A	(a-1)	SS _A /(a-1)	MS _A /MS _{HATA}
B	SS _B	(b-1)	SS _B /(b-1)	MS _B /MS _{HATA}
AB	SS _{AB}	(a-1)(b-1)	SS _{AB} /(a-1)(b-1)	MS _{AB} /MS _{HATA}
HATA	SS _{HATA}	ab(n-1)	SS _{HATA} /ab(n-1)	
TOPLAM	SS _T	abn-1	SS _T /abn-1	

3.7.2. 3^k Faktöriyel Tasarımlar

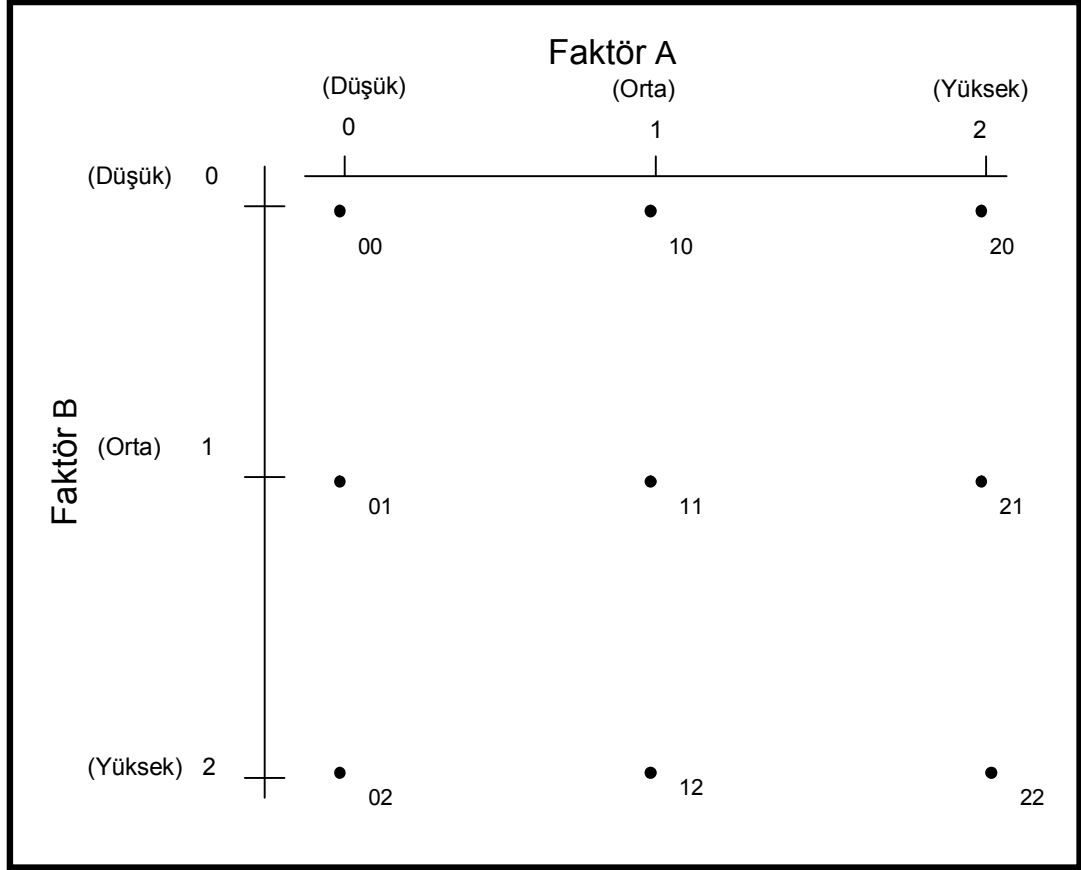
Üç düzeyli k faktörün ürün performansına olan etkilerinin incelendiği tasarımdır.

$$k=1 \rightarrow 3^1=3$$

$$k=2 \rightarrow 3^2=9$$

$$k=3 \rightarrow 3^3=27$$

faktör ve etkileşimlerin etkileri incelenebilmektedir. Buna göre iki faktörlü tasarım için grafiksel gösterim gösterilmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 3.5. İki faktörlü tasarımın grafiksel gösterimi (Anagün, 2000)

Üç düzeyli iki faktör için varyans analizi tablosu ise aşağıda verilmektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. 3^k faktöriyel tasarım için $k=2$ olduğu durumda varyans tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F_0
A	SS_A	$(a-1)$	$SS_A / (a-1)$	MS_A / MS_{HATA}
B	SS_B	$(b-1)$	$SS_B / (b-1)$	MS_B / MS_{HATA}
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	$SS_{AB} / (a-1)(b-1)$	MS_{AB} / MS_{HATA}
HATA	SS_{HATA}	$3^k(n-1)$	$SS_{HATA} / 3^k(n-1)$	
TOPLAM	SS_T	$N3^k-1$	$SS_T / n3^k-1$	

3.8. Taguchi Metodu

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımı endüstriyel şartlar altında verimli olamamaktadır. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da hızlı bir şekilde artmakta, maliyetler yükselmekte, uygulamalar zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda kesirli faktöriyel tasarım olan Taguchi Metodu (T.M.) uygulanması daha verimli ve kolay olacaktır. Karar vermeyi gerektiren birçok durumda da T.M. başarı ile uygulanabilmektedir.

Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği arttıracak bir çözüm getirmiştir (Ross, 1996). Böylece deney öncesi yapılan çalışmalar sonucunda deney sayılarında önemli derecede azalma gözlenmiştir.

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarıma dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, robust tasarım ve ortogonal diziler gibi kavramları eklemektedir.

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/Gürültü oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirebilmesini sağlaması ve bunun içinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur (Ross, 1996).

Taguchi Deney Tasarımı tekniğine göre yapılacak bir çalışmada izlenecek adımlar aşağıdaki şekildedir (Yang vd., 1998):

1. Faktörlerin seçimi ve aralarındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi (beyin fırtınası, akış diyagramı, sebep sonuç diyagramı gibi metotlar kullanarak).
2. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi.
3. Doğru dengeli tasarımın seçimi.

4. Faktörlerin ve/veya aralarındaki etkileşimlerin dengeli deney düzenindeki kolonlarla eşleştirilmesi.

5. Deneylerin daha önceki adımlarda planlanan şekilde gerçekleştirilmesi yani testlerin yapılması.

6. Sonuçların analizi.

7. Doğrulama deneyinin veya deneylerinin yapılması.

Bu adımların izlenmesi sonucunda proses veya ürün için en iyi performansın elde edileceği deney parametreleri belirlenecek, deneyde ele alınan faktörlerin kalite değeri üzerindeki etkisi tahmin edilebilecek ve en iyi deney parametreleri sonucunda elde edilebilecek kalite değeri öngörülebilecektir.

3.8.1. Taguchi Yönteminin Gelişimi

Dr. Taguchi, Ronald Fisher'in geliştirdiği deney tasarımı yöntemine kattığı yeniliklerle, ikinci dünya savaşı sonrasında Japonya'daki en önemli projelerden birisi olan Japon telefon sisteminin geliştirilmesi projesinde yaptığı çalışmalarda başarıyla adını dünyaya duyurmuştur. Projenin amacı ABD'deki AT&T Bell telefon şirketinin laboratuvarlarında kullanılan iletişim sisteminin aynısını Japonya'ya kurmaktır. Ancak Nippon Telefon ve telgraf araştırma merkezinin büyüklüğü AT&T'nin %2' si kadar olduğundan projenin bitirilmesinin yaklaşık 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Dr. Taguchi robust tasarım ve kesirli faktöriyel tasarım yöntemlerinin kullanılmasını önererek projenin sadece 4 yılda bitirilmesini sağlamıştır. Robust tasarımı geliştiren ve birçok ürünün geliştirilmesinde kullanan Taguchi 1962'de kalite alanında en önemli ödüllerden biri olarak kabul edilen Deming ödülüne layık görülmüştür (Peace, 1992).

3.8.2. Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu

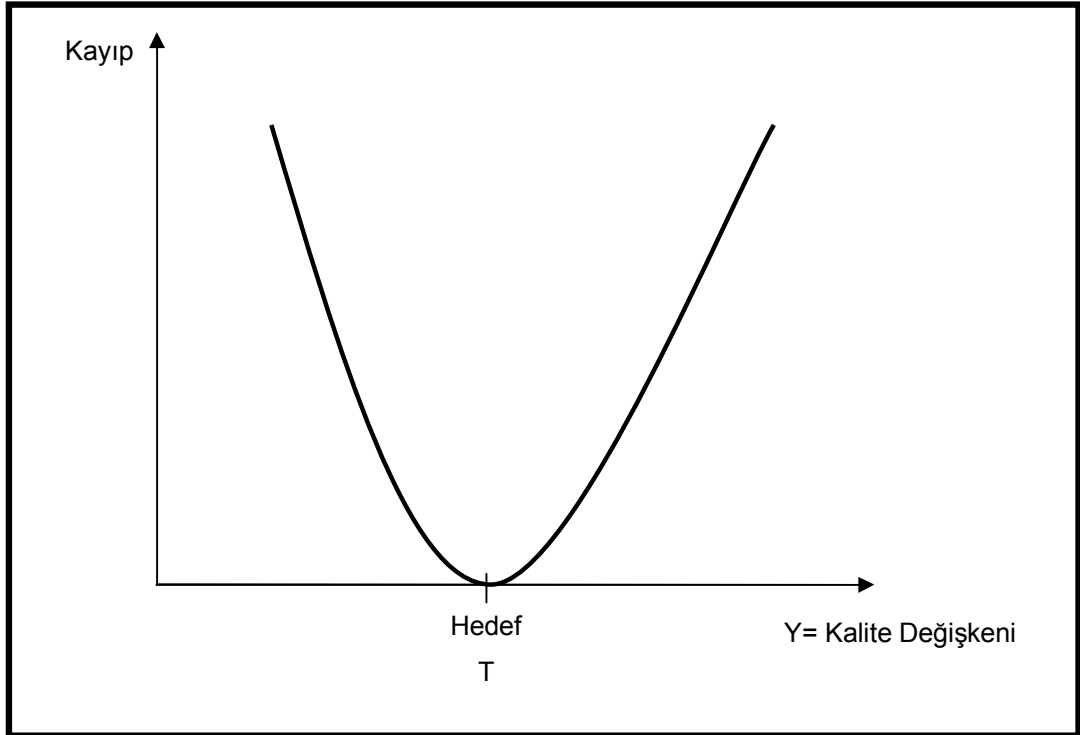
Taguchi'nin kayıp fonksiyonu, hedeflenen değerden sapmanın maliyetini değerlendirme fırsatını sağlamaktadır. Geleneksel kalite kontrolde, parçalar, hedef değerden sağmalarına bakılmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırın dışındaysa, parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir; içindeyse, kabul edilir. Firma açısından, kayıp ya tamdır, ya sıfırdır. Taguchi, bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmediğini

düşünerek karesel kayıp fonksiyonu denilen kayıp fonksiyonunu (Şekil 3.1) geliştirmiştir. Bu şekilde, yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen parasal kaybı temsil eder. Kayıp, ürünün fabrika çıkışından sonra oluşan tüm kaybın toplamıdır. Buna, iadeler, garanti talepleri, müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı, 1997).

Kayıp fonksiyonunun denklemi aşağıda verilmektedir.

$$\text{Kayıp} = k (Y-T)^2 \quad (3.1)$$

Denklemden, T = Hedef değeri, Y = değişkenin ölçülen değeri ve k ise sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır (Şirvancı, 1997).



Şekil 3.6. Taguchi kayıp fonksiyonu (Şirvancı, 1997)

Amaç yalnızca spesifikasyonları karşılamak değil, hedeften sapmaları en küçükleyerek varyansı azaltmaktır.

3.8.3. Varyasyon Ölçümü

Varyasyonu ölçmek için,

- R, örneklem aralığı, ve
- S, örneklem standart sapması

Aralık R, belli bir örneklem için,

$$R = \text{En Büyük Gözlem Değeri} - \text{En Küçük Gözlem değeri} \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. R, aşırı büyük ve aşırı küçük değerlerden çok fazla etkilenir. Varyasyon ölçüsü olarak R'nin yerine hesaplanması biraz daha zor olması rağmen, standart sapma S tavsiye edilir (Şirvancı, 1997).

Standart sapma S, örneklem varyansı S^2 'nin pozitif kareköküdür. Varyansın S^2 'nin formülü

Y= Gözlem Değeri

\bar{Y} = Gözlem Değeri Ortalaması

n= Gözlem Sayısı

$$S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum (Y - \bar{Y})^2 \quad (3.2)$$

olarak hesaplanır.

Kaliteli ürün üretebilme yeteneği süreç varyasyonunun bir fonksiyonu olarak ifade edilen proses yetenek indeksi (Cp) ile hesaplanır.

Proses Yetenek İndeksi,

ASS: Alt spesifikasyon sınırı

ÜSS: Üst spesifikasyon sınırı

σ : Standart sapma

$$Cp = \frac{ÜSS - ASS}{6\sigma} \quad (3.3)$$

olarak hesaplanmaktadır (Şirvancı, 1997).

3.8.4. Taguchi' nin Sinyal/Gürültü Oranları

Deney tasarımı 1930' larda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş olmasına rağmen, deney tasarımı, varyasyonun azaltılması için ilk uygulayan Taguchi' dir. Taguchi, deney tasarımında analiz değişkeni ya da performans kriteri olarak kullanılması amacıyla, bir dizi, adına "sinyal/gürültü oranı" denilen, kriter tanımlamıştır.

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla, deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır (Şirvancı, 1997).

En Küçük – En İyi

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni Y' nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log(\Sigma Y^2/n) \quad (3.4)$$

En Büyük – En İyi

Bu durumda Y' nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \cdot \log[\Sigma(1/Y^2)/n] \quad (3.5)$$

Hedef Değer – En İyi

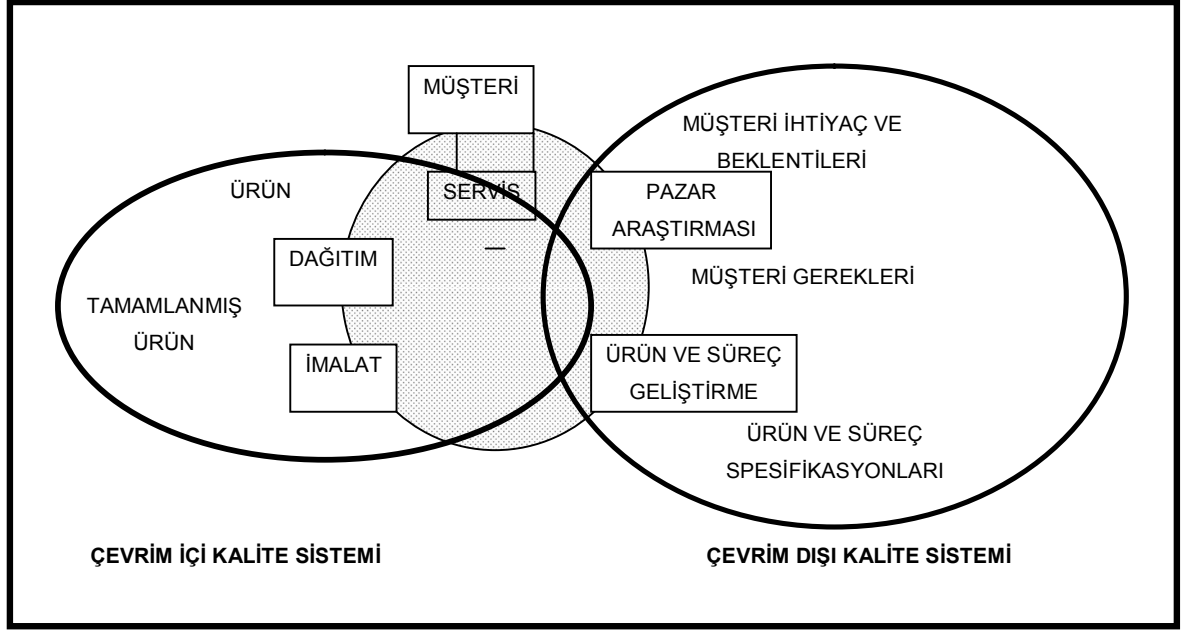
Bu tür problemlerde, Y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \cdot \log(\bar{Y}^2/S^2) \quad (3.6)$$

Her üç problemde de, amaç S/G oranını maksimize etmektir.

3.8.5. Taguchi' nin Üretim Kalite Sistemi

Kalitenin sağlanması amacıyla; üretim öncesi süreç geliştirme, üretim esnasında oluşan ve ürün kalitesine etki eden değişikliklerin giderilmesi olmak üzere, Çevrim Dışı (Off-Line) ve Çevrim içi (On-Line) Kalite Kontrol olmak üzere iki farklı faaliyet alanı söz konusu olmaktadır (Peace, 1992). Bu faaliyet alanları Şekil 3.6' da gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Üretim/Kalite sistemi çevrimi (Anagün, 2000)

3.8.5.1. Çevrim Dışı Kalite Kontrol

Müşteri istek ve beklentilerinin doğru olarak tanımlanması, müşteri beklentileriyle uyum sağlayacak bir ürünün tasarımı, tutarlı ve ekonomik olarak üretilebilecek bir ürünün tasarımı, imalat için açık ve yeterli spesifikasyonların, standartların, yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile ilgilidir (Anagün, 2000).

Çevrim dışı kalite kontrol, ürün tasarımı ve süreç tasarımı olarak ikiye ayrılmaktadır.

- Ürün tasarımı aşamasında; mühendislik bakış açısı ve teknik bilgiyi kullanarak müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde bir prototip ürün geliştirilir veya mevcut üründe değişiklik/değişiklikler yapılır.
- Süreç tasarımı aşamasında; ürün tasarımı aşamasında ürün hakkındaki verilere ve mevcut imalat teknolojisine dayanarak uygun imalat süreci seçilir.

Dr. Taguchi, istenen kalite düzeyine ulaşmak için her iki aşamadaki çevrim dışı kalite kontrolünün; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak üç adımdan oluşması gerektiğini öngörmektedir.

3.8.5.2. Sistem Tasarımı

Bu adımdaki temel amaç, müşteri ihtiyaçları ve işletmenin yeteneklerini kullanarak üretim sürecindeki spesifikasyonlar ve toleranslar temelinde en küçük maliyetle gerçekleştirilecek mamül üretimini tasarlamaktır. Bu adımda iyileştirme yapılacak süreç çok iyi kavranmalı ve ihtiyaçlar net olarak ortaya konmalıdır.

3.8.5.3 Parametre Tasarımı

Parametre tasarımının gerçekleştirilmesindeki asıl amaç, üründe ve proseste değişkenlik (hedef değerden olan farklılık) meydana getiren kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin en iyi seviyelerinin seçilerek ürün ve prosesteki değişkenlikleri en aza indirmektir (Taguchi vd., 2005).

“Ürün performansındaki değişkenliği azaltarak, ürünün hem imalat hem de kullanımı ve bakımı esnasında oluşacak maliyetleri düşürecek şekilde ürün parametrelerinin en iyi değerleri belirlenir. Böylelikle ürün, imalatı ve kullanımındaki performansı yönüyle değişkenlik yaratan faktörlere–gürültü faktörleri (noise factors)–karşı duyarsız olacaktır” (Anagün, 2000).

Gürültü Faktörü, olağan ya da sistem nedenlerinden kaynaklanan değişkenliğin azaltılması için, bu nedenleri veya faktörleri belirleyerek, bunların, değişkenlik açısından optimal değerlerini seçmek gerekir. Değişkenlik yaratan bu faktörlere gürültü faktörü denmektedir. Üç tip gürültü faktörü söz konusudur:

- **Dış Gürültü (External Noise):** Çevre şartlarından kaynaklanan değişkenliktir.
- **İç Gürültü (Internal Noise):** Kullanıma bağlı olarak zamanla üründe veya herhangi bir bileşeninde oluşan yıpranmadır.
- **Birimlerarası Gürültü (Unit-to-Unit Noise):** Aynı spesifikasyonlara göre imal edilmiş ürünlerde, imalat sürecindeki değişkenlik (malzeme, ekipman vs.) nedeniyle görülen farklılıklardır.

3.8.5.4. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı aşamasında, parametre tasarımı sürecinde tanımlanan kontrol edilebilen faktörlere ait tolerans aralıklarını daralma yöntemiyle üründe gerçekleşebilecek değişkenlik en aza indirilmek istenir. Burada dikkat çekici husus ise toleransları azaltmanın maliyeti arttırıcı etkisi olmasıdır.

“İmalat maliyetlerini düşürecek ve ürünün fonksiyonel karakteristiklerini etkilemeyecek genişlikte, parametre tasarımı aşamasında hedef (nominal) değerler etrafında toleranslar belirlenmelidir” (Anagün, 2000).

3.9. Çevrim İçi Kalite Kontrol

Çevrim İçi Kalite Kontrol ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsamaktadır. Süreç tasarımı aşamasında geliştirilen yöntemleri kullanarak ürün tasarımı aşamasında uygun üretimin gerçekleştirilmesi ile ilgilenmektedir.

Çevrim İçi Kalite Kontrol iki aşamaya ayrılır. Bunlar; imalat ve müşteri ilişkileridir. İmalat aşamasında; süreç düzenli aralıklarla gözlenir, gerektiği durumda ayarlama yapılır. Değişken olan bir süreç parametresi düzenli aralıklarla ölçülür. Elde edilen ölçüm değerleri, süreç izlenerek hedeften sapma olduğunda durumu düzeltmek için gerekli ayar yapılır. Kusurlu ürün olduğunda ya yeniden işlenir veya ıskartaya alınır. Müşteri İlişkileri aşamasında; ürün müşteriye sunulduktan sonra ortaya çıkan arızalı ürün tamir edilir ya da yenisi verilir. Müşterinin katlandığı maliyet müşteriye ödenir. Bu aşamada gürültü faktörü etkisi yoktur (Anagün, 2000).

3.10. Robust Tasarım

Robust tasarımın ürün performansını geliştirmeye olan etkisi ile Taguchi'nin amaçladığı birçok istatistiksel metodun çok önemli olduğu kabul edilir. Bu metodlar sinyal/gürültü oranı, ortogonal diziler, doğrusal grafikler ve toplama analizidir. Mühendisler arasında Robust tasarımın kullanılması, daha iyi, etkin ve kullanımı kolay teknik ve araçlara sahip olması bakımından popüler olmuştur (Tang ve Tang, 1989).

Taguchi, üründe ve proseste, değişkenlik (hedef değerden farklılık) yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin (parametrelerin) değerlerini optimal seçerek, ürün veya prosesteki değişkenliği en aza indirmek gerektiğini söylemektedir. Sağlam tasarım ifadesindeki sağlam kelimesi, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin; nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve proses anlamında kullanılmaktadır (Connor, 1999).

Robust; kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerini, kontrol edilemeyen faktörlerin ürün üzerine olan etkilerini en azlayacak şekilde belirleyen tasarımdır. Robust tasarım, Taguchi metodunun Parametre tasarımı ve Tolerans tasarımı adımlarını kapsamaktadır.

3.11. Taguchi Deney Tasarımı Aşamaları

Taguchi'nin deneysel tasarım adımları;

1. Değerlendirilecek faktör ve etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi
3. Uygun ortogonal düzenin seçilmesi
4. Faktör veya etkileşimlerin kolonlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneylerinin yapılması (Anagün, 2000).

3.11.1. Değerlendirilecek Faktör ve Etkileşimlerin Seçilmesi

Var olan problemin çözümüne ilişkin amaç ortaya konduktan sonra, klasik tasarımda olduğu gibi, beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, değerlendirmeye alınacak faktör veya etkileşimler seçilmektedir.

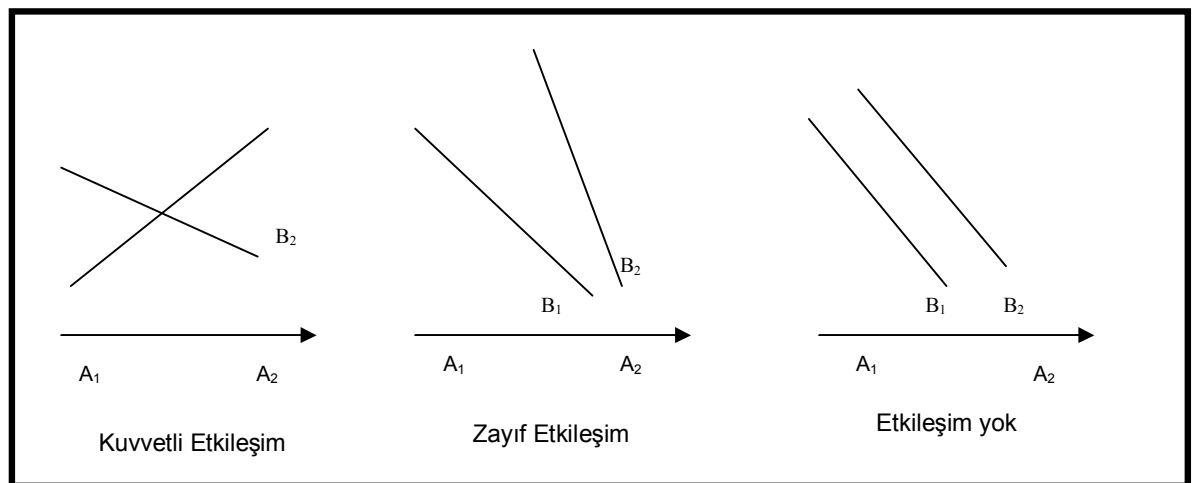
Taguchi; faktörleri kontrol edilebilen ve gürültü faktörü olarak da ifade edilen kontrol edilemeyen faktörler olarak ikiye ayırmaktadır. Faktör düzeyleri belirlenmeden önce faktörler belirlenmekte ve kontrol edilebilen ve edilemeyen

faktörler olarak ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen faktör sayısına göre tasarım belirlenmekte ve denemeler yapılmaktadır.

3.11.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi

Performans karakteristiğini etkileyen faktörler belirlendikten sonra bu faktörlerin düzey sayısı belirlenmektedir. Faktörlerin seviyeleri iki, üç veya daha çok olabilmektedir. Faktör seviyeleri serbestlik dereceleriyle ilişkili bir fonksiyondur. Serbestlik derecesi, faktör seviyelerinden hareketle hesaplanmaktadır. Serbestlik derecesi, deneyin büyüklüğünü tespit etmek açısından önemlidir. Bir faktörün serbestlik seviyesi, o faktörün seviyesinin bir eksiğidir. Ayrıca, faktörlerin bireysel etkilerinin yanı sıra faktörler arası oluşan etkileşimler de belirlenir. Bu etkileşim etkilerine interaction effects denmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda etkileşim için serbestlik derecesi; etkileşen faktörlerin serbestlik derecelerinin çarpımıdır. Ayrı ayrı her faktörün serbestlik derecesi toplamı toplam serbestlik derecesini vermektedir.

İki faktörün etkileşimli olması, bir faktörün (örneğin A), kalite değişkenine olan etkisi, diğer faktörün (örneğin B) hangi değerde bulunduğuna bağlıdır. Bu durum AXB olarak gösterilir. Etkileşimli ve etkileşimli olmayan faktörlerin grafikleri Şekil 3.7.'de gösterilmektedir (Ross, 1996).



Şekil 3.8. Etkileşim grafik gösterimi

Etkileşimli faktörlerin bulunduğu durumlarda, etkileşimlerde faktör gibi kabul edilerek diziye atanmaktadır.

3.11.3. Uygun Ortogonal Düzenin Seçilmesi

Ortogonal dizinin kullanımı sadece Taguchi'ye mahsus değildir. Ancak Taguchi, kullanımları basitleştirmiştir. Ortogonal dizinin ilk kullanılması, 1930'lu yıllarda, İngiltere'de Fisher tarafından olmuştur. Ortogonal dizi, dengelenmiş dizi anlamında kullanılmaktadır (Hamzaçebi ve Kutay, 2003).

Taguchi, çok sayıda deneysel durumu açıklamak için ortogonal dizileri oluşturmuştur. Ortogonal dizinin en önemli özelliği, birçok faktörün en az sayıda test edilmesi ve faktör seviyelerini eş zamanlı olarak değiştirme yapmaya olanak sağlamasıdır. Ortogonal diziler problemin özelliğine göre, 2 kademeli, 3 kademeli, 2 ve 3 kademeli olarak belirlenmektedir. Ortogonal dizilere tasarım matrisi de denilmektedir. Genel gösterimi;

d: Toplam deney sayısı,

a: Faktörlerin düzey sayısı

k: Faktör sayısı

L: Ortogonal diziyi

olmak üzere,

$$L_d(a)^k \text{ yada } L_d \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Genel olarak kullanılan diziler 2 seviyeliler için L_4 , L_8 , L_{16} ve L_{32} ve 3 seviyeliler için L_9 , L_{18} ve L_{27} dizileri olmaktadır. Dizilerin seçimi düzey sayısı ve toplam serbestlik derecesine göre yapılmaktadır.

Ortogonal dizi, ürün ortalaması ve varyansında etkili olan birçok faktörle aynı anda ve daha kısa sürede çalışmayı sağlamaktadır. L_9 tasarım matrisi örnek olarak Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.5. L_9 tasarım matrisi (Peace, 1992).

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Ortogonal Dizinler tam faktöriyel tasarım gereği (2^k veya 3^k) çok sayıda yapılması gereken denemeleri büyük oranda azaltmaktadır. Çizelge 3.4 için, tam faktöriyel tasarıma göre $3^4=81$ adet deneme yapılması gerekirken, ortogonal dizinler sayesinde deneme sayısı 9'a düşmektedir.

Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsa o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine 1 eklendiğinde deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur.

3.11.4. Faktör ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması

Faktör ve/veya etkileşimlerin seçilen ortogonal düzene göre kolonlara atanmasında, Dr. Taguchi tarafından geliştirilen doğrusal grafikler ve üçgensel tablolar kullanılmaktadır.

Doğrusal grafikler, faktörlerin atanacağı sütunları ve hangi sütunların bu faktörlerin etkileşimini kullanılacağını göstermektedir. Üçgensel tablolar ise faktörler arasında gerçekleşen tüm etkileşimleri içermektedir.

3.11.5. Testlerin Yapılması

İlgilenilen problemin çözümü için birden fazla performans karakteristiğinin özelliklerine uygun olarak performans istatistiği seçilmektedir. Verilerin analizi seçilen performans istatistiğine göre yapılmaktadır. Bu nedenle performans istatistiğinin doğru belirlenmesi çok önemli bir husustur. Taguchi tasarımlarında en çok kullanılan performans istatistiği S/N oranıdır ve bu oran sağlam tasarımın performansını ölçmek için kullanılır.

Testler, problemin belirlediği ortogonal dizinin satırlarının öngördüğü denemelerden oluşur. Deney boyunca hatayı minimize edebilmek, gürültü faktörlerinin etkisini görebilmek, gözlem değerleri sayısının çokluğuna bağlıdır. Seçilen her bir deney tasarımı ne kadar çok sayıda test edilirse deneyin güvenilirliği o ölçüde artış göstermektedir.

3.11.6. Sonuçların Analiz Edilmesi

Ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyleri belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Elde edilen gözlem değerlerinin analizinde, varyans analizi, faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu, hesap tablosu metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır.

3.11.6.1. Varyans Analizi

Test yapmanın amacı ürün veya proses değişimini kontrol etmek ve performansı etkileyen faktörleri bulup problemin çözümüne ilişkin karar vermektir. Varyans analizi (Analysis of Variance: ANOVA) test edilen parça gruplarının performansları arasındaki farklılığı göstermektedir. Varyans analizine F testi de denmektedir. Varyans analizine ait formüller;

$$GKT= K T_A + K T_B + K T_{AB} + K T_e \quad : \text{ Genel Kareler Toplamı} \quad (3.8)$$

$$GKT= \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{ Tüm verilerin kareleri toplamını} \quad (3.9)$$

$$KT_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{ A faktörünün kareleri toplamını} \quad (3.10)$$

$$KT_{AXB} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(AXB)_i^2}{n_{AXB_i}} \right] - \frac{T^2}{N} - KT_A - KT_B \quad : \text{ A ve B etkileşiminin kareler toplamı} \quad (3.11)$$

$$KT_e = KT_T - KT_A - KT_B - KT_{AXB} \quad (3.12)$$

Burada;

GKT = Genel Kareler Toplamı

KT_A = A faktörüne ait kareler toplamı

KT_{AXB} = A ve B faktörlerinin etkileşim faktörüne ait kareler toplamı

KT_e = Hata kareler toplamı

N = Toplam gözlem sayısı

Y_i = i. Gözlem değeri

T = Tüm gözlemlerin toplamı

k_A = A faktörünün kademe sayısı

A_i = A_i seviyesindeki gözlemlerin toplamı

n_{A_i} = A_i seviyesi altındaki gözlem sayısı

c = Etkileşim faktörlerinin kombinasyon sayısı

$(AXB)_i$ = A ve B faktörlerinin i. Koşulu altındaki verilerin toplamı.

Varyans analizini yapabilmek için serbestlik derecesine ihtiyaç duyulmaktadır.

$$Sd_T = Sd_A + Sd_B + Sd_{AXB} + Sd_e \quad (3.13)$$

Burada;

Sd_T = Toplam serbestlik derecesi

Sd_A = A faktörünün serbestlik derecesi

Sd_{AXB} = AxB faktörünün serbestlik derecesi

Sd_e = Hata serbestlik derecesi

Toplam serbestlik derecesi deneme sayısının bir eksiğidir.

$$Sd_T = N - 1 \quad (3.14)$$

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

$$Sd_A = k_A - 1 \quad (3.15)$$

Etkileşimin serbestlik derecesi ise etkileşim faktörlerinin serbestlik dereceleri çarpımıdır.

$$Sd_{AxB} = (Sd_A).(Sd_B) \quad (3.16)$$

Hata serbestlik derecesi, toplam serbestlik derecesinden tüm faktör ve etkileşimlerinin serbestlik derecelerinden çıkarılması ilke bulunmaktadır.

$$Sd_e = Sd_T - Sd_A - Sd_B - Sd_{AxB} \quad (3.17)$$

Denemeler tekrar edildiğinde serbestlik derecesi;

$$Sd_T = (\text{Deneme sayısı}).(\text{Tekrar sayısı})-1 \quad (3.18)$$

Varyans değerinin hesaplanması, varyans analizi tablolarıyla yapılmaktadır. Faktörlerin varyanslar; faktörlerin kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür.

$$V_A = \frac{KT_A}{Sd_A} \quad : \text{A faktörü için örnek varyans formülüzasyonu} \quad (3.19)$$

Hata varyansı da hata kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür. Hatayı kontrol edilemeyen faktörler ve ölçüm yanlışlıkları oluşturmaktadır.

$$V_e = \frac{KT_e}{Sd_e} \quad (3.20)$$

Varyans analizi tablosu oluşturulduktan sonra, F testi hangi faktörlerin önemli olduğunu gösterir. F testi uygulanırken hesaplanan F değerleriyle, istenen güven düzeyindeki F_{tablo} değerleri karşılaştırılır. F değeri tablodaki değerden büyükse $1-\alpha$ güvenle kabul edilir.

Varyans analizi (ANOVA) tablosundan elde edilen F değeri, faktör ya da etkileşim varyansının hata varyansına oranıdır.

$$F_A = \frac{V_A}{V_e} \quad \text{A faktörüne ait F değeri} \quad (3.21)$$

$$F_{\text{tablo}} = f_{\alpha, v_1, v_2}$$

α = anlamlılık düzeyi

v_1 = Faktörün serbestlik derecesi

v_e = Hata serbestlik derecesi

ANOVA tamamlandıktan sonra önemli faktörler ve etkileşimler belirlenir, sonuçlar yorumlanır. Ortalamanın tahmin edilmesi, tahmin edilen ortalamanın etrafında güven aralığının belirlenmesi kullanılan metotlardır.

Ortalamanın Tahmin edilmesi, kombinasyondaki faktör- seviyelerinin ortalama değerleri,

$$\mu_{A_1B_2} = A_1 + B_1 - (n-1)\bar{T} \quad (3.22)$$

n = Belirlenen faktör-seviye kombinasyondaki faktör sayısı

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

Tahmin edilen ortalama etrafında güven aralığı,

$$\text{G.A.} = \sqrt{F_{\alpha, sd_T, sd_e} \cdot V_e} \left[\left(\frac{1}{n_{eff}} \right) + \left(\frac{1}{r} \right) \right] \quad (3.22)$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + c} \quad (3.23)$$

burada;

$c = \mu$ bulunurken kullanılan tüm faktörlerin toplam serbestlik derecesi

r = Yapılan doğrulama deneyi sayısı

sd_T = Ortalama ait serbestlik derecesi olup daima 1 dir.

Sd_e = Hata serbestlik derecesi

V_e = Hata varyansı

N = Deney sayısı

G.A. = Güven aralığı

$$\mu - \text{G.A.} \leq \text{performans karakteristiği değeri} \leq \mu + \text{G.A.} \quad (3.24)$$

3.11.7. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Deney analiz sonucunda seçilen en iyi şartlar altında tekrarlanmaktadır. En iyi şartları belirleyerek yapılan deney doğrulama deneyidir. Deney sonucunda bulunan faktör-seviye kombinasyonu en iyi performans karakteristiği değerine ulaştırırsa istenen durum gerçekleşmiş ve deney amacına ulaşmış olur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Probleme uygun ortogonal dizinler serbestlik derecelerine göre belirlenir. Her faktörün serbestlik derecesi faktör seviye sayısının bir eksigidir. Bu durumda toplam serbestlik derecesi çizelge 4.1’ deki gibi bulunmaktadır.

Çizelge 4.1 Toplam serbestlik derecesi

Simge	Faktör	Serbestlik derecesi
A	A Maddesi	$3-1 = 2$
B	B Maddesi	$3-1 = 2$
C	C Maddesi	$3-1 = 2$
D	Besleme Hızı	$3-1 = 2$
	Toplam Serbestlik Derecesi	$2+2+2+2 = 8$

Toplam serbestlik derecesi, maksimum seçilecek ortogonal dizinin deneme sayısından bir eksik olacaktır. Bu durumda en küçük ortogonal dizin $L_9(3^4)$ seçilecektir.

Deneyler sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneylerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. TM’na göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısaca, hangi seviyenin en iyi sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısıdır.

Üç seviyeli bir faktör için serbestlik derecesinin iki olması dolayısı ile seçilecek tasarımın sağladığı serbestlik derecesi, dört faktör için ihtiyaç duyulan sekiz serbestlik derecesidir.

4.2. Faktör Ve/veya Etkileşimlerin Kolonlara Atanması

Dokuz deneyli Taguchi L₉ deneyi, çalışma için uygun olan tasarımlardan biridir. Dokuz deneyin imkan verdiği en büyük serbestlik derecesi sekizdir. Çalışma çerçevesinde gerek duyulan sekiz serbestlik derecesi dışında kalan serbestlik dereceleri ise hata değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Çizelge 5.3’ de Taguchi L₉ deney tasarımı gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Taguchi L₉ deney tasarımı

Faktörler ve Seviyeleri				
	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı
Deney				
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Fırının çalışması sırasında kapasite miktarlarının ortalaması alınarak her karışım için kapasite belirlenmiştir. Yakma işlemi her deney için üç kere tekrarlanarak bunların ortalaması alınarak istatistiksel olarak sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.

Deneysel sonuçlarda ölçülen kapasitelerinin ortalamaları Çizelge 4.2’ de verildiği gibidir. Bu sonuçlar analiz işlemlerinde sinyal/gürültü oranının hesaplanmasında ve varyans analizinde kullanılacaktır.

4.3. Testlerin Yapılması

T.M. da kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır. Sinyal değeri

sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil eder.

Sinyal/gürültü oranının hesaplanmasında deneyler sonucunda ulaşılmaması hedeflenen kalite değerinin özelliği de önemlidir.

Çizelge 4.3. Ölçüm değerleri

Deney	Faktörler ve Seviyeleri				Gözlemler (kg)			Ortalama	Sinyal/ Gürültü
	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı	1	2	3		
					\bar{Y}	S/N			
1	60	360	600	5	673,20	722,16	642,60	679,32	56,6116
2	60	240	400	10	856,80	840,00	837,20	844,67	58,5324
3	60	120	200	15	243,96	291,84	264,48	266,76	48,4528
4	45	360	400	15	700,35	710,01	701,96	704,11	56,9523
5	45	240	200	5	584,91	608,19	597,52	596,87	55,5143
6	45	120	600	10	757,35	688,50	719,10	721,65	57,1468
7	30	360	200	10	601,80	643,69	619,50	621,66	55,8612
8	30	240	600	15	809,10	814,32	811,71	811,71	58,1879
9	30	120	400	5	775,50	759,00	765,00	766,50	57,6892

Belirlenen koşullara göre testler yapılmış ve her denemeden üç gözlem alınmıştır. Gözlem değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Toplanan veriler, Minitab programının Taguchi analiz kısmında çözümlenmiş aşağıdaki veriler ve grafikler elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Gözlem değerlerinin minitab çıktıları

Worksheet 2 ***														
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı	Y1	Y2	Y3	SNRA1	STDE1	MEAN1	PSNRA1	PMEAN1	PSTDE1	PLSTD1
1	1	1	1	1	673,20	722,16	642,60	56,6116	40,1315	679,320	61,2462	981,042	-3,65376	1,32614
2	1	2	2	2	856,80	840,00	837,20	58,5324	10,6006	844,667				
3	1	3	3	3	243,96	291,84	264,48	48,4528	24,0213	266,760				
4	2	1	2	3	700,35	710,01	701,96	56,9523	5,1754	704,107				
5	2	2	3	1	584,91	608,19	597,52	55,5143	11,6535	596,873				
6	2	3	1	2	757,35	688,50	719,10	57,1468	34,4958	721,650				
7	3	1	3	2	601,80	643,69	619,50	55,8612	21,0286	621,663				
8	3	2	1	3	809,10	814,32	811,71	58,1879	2,6100	811,710				
9	3	3	2	1	775,50	759,00	765,00	57,6892	8,3516	766,500				
10														

Çizelge 4.5. Minitab program çıktısı

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design
 L9(3**4)
 Factors: 4
 Runs: 9
 Columns of L9(3**4) Array
 1 2 3 4

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3 versus Madde A; Madde B; Madde C; Besleme Sıklığı

Response Table for Signal to Noise Ratios
 Larger is better

Level	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı
1	54,53	56,48	57,32	56,61
2	56,54	57,41	57,72	57,18
3	57,25	54,43	53,28	54,53
Delta	2,71	2,98	4,45	2,65
Rank	3	2	1	4

Response Table for Means

Level	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı
1	596,9	668,4	737,6	680,9
2	674,2	751,1	771,8	729,3
3	733,3	585,0	495,1	594,2
Delta	136,4	166,1	276,7	135,1
Rank	3	2	1	4

Response Table for Standard Deviations

Level	Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı
1	24,918	22,112	25,746	20,046
2	17,108	8,288	8,043	22,042
3	10,663	22,290	18,901	10,602
Delta	14,254	14,002	17,703	11,439
Rank	2	3	1	4

Taguchi Analysis: Y1; Y2; Y3 versus Madde A; Madde B; Madde C; Besleme Sıklığı

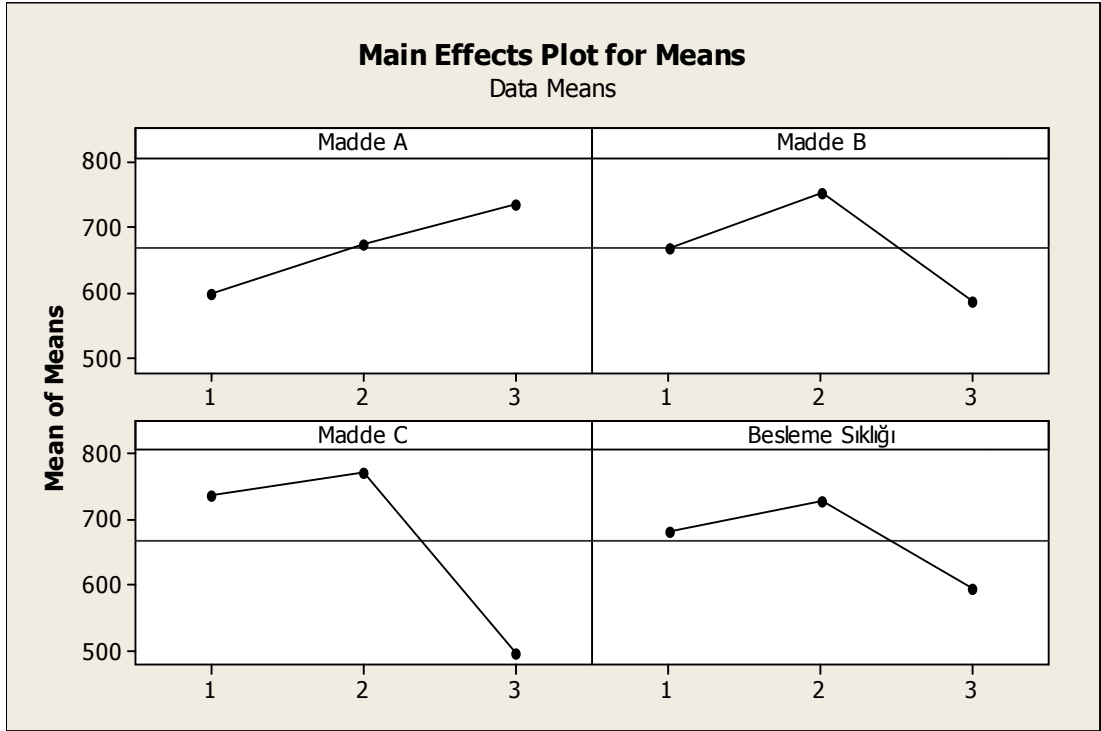
Predicted values

S/N Ratio Mean StDev Ln(StDev)
 61,2462 981,042 -3,65376 1,32614

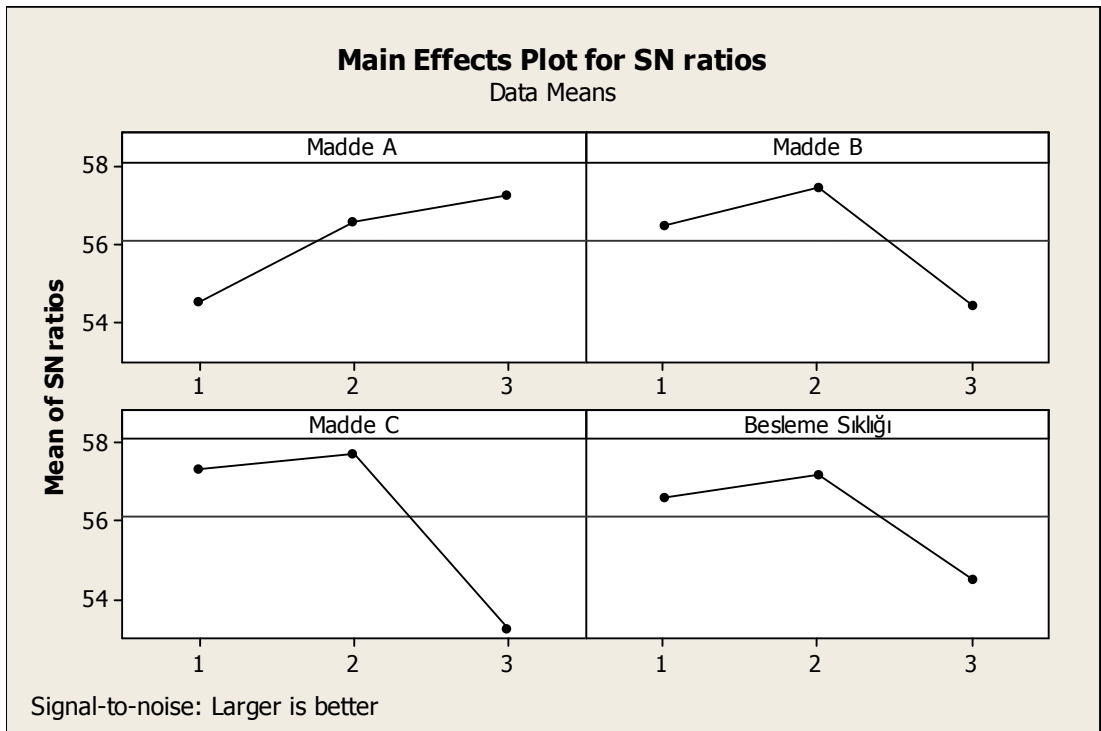
Factor levels for predictions

Madde A	Madde B	Madde C	Besleme Sıklığı
3	2	2	2

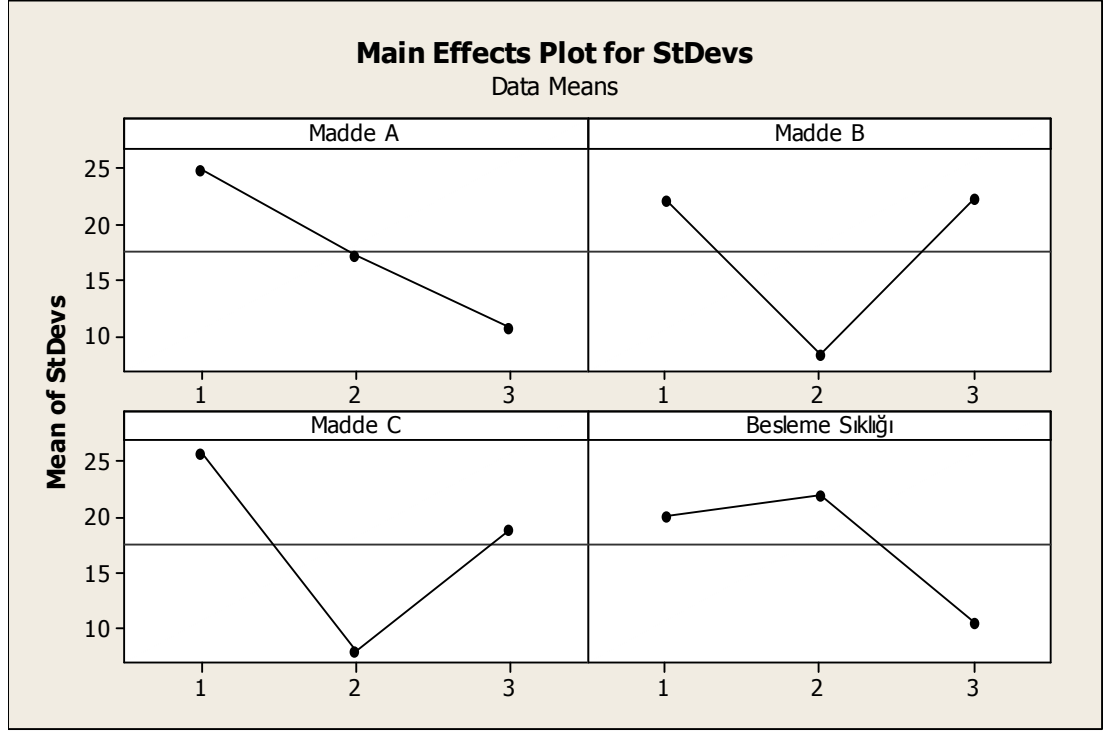
Çizelge 4.6. Ortalamalar için sonuç tablosu



Çizelge 4.7. S/N oranı için sonuç tablosu



Çizelge 4.8. Standart sapma için sonuç tablosu



Çizelge 4.9. Minitab sonuçlarına göre özetlenmiş veri analizi

Faktörler	S/N Oranı İçin Sonuç (En Büyük En İyi)		Ortalamalar 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	3	3	3	3	2	1
B	2	2	2	2	3	3
C	1	2	1	2	1	1
Besleme Hızı	4	2	4	2	4	2

Çizelge 4.9'a göre $A_3B_2C_2D_2$ kombinasyonu ortalama kapasitenin en yüksek değerini vermektedir.

4.4. Sonuçların Analizi

Elde edilen veriler, Taguchi analizi ile çözümlenmiş, doğrusal model yöntemiyle analiz edilmiş ve hesap tablosu yöntemi ile incelenerek her üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Doğrusal model yöntemiyle serbestlik dereceleri, varyasyon ve F değerleri bulunmuştur. Varyans analizi tablosu program çıktısı olarak alınmış ve düzenlenmiştir.

Çalışmada 9 deney yapılmış ve her deney 3 kez tekrar edildiği için toplam 27 deney gözlem alınmıştır. Toplam serbestlik derecesi: N-1 olduğuna göre, problemin toplam serbestlik derecesi 26 bulunur. Buna göre varyans analizi tablosu Çizelge 5.10 da gösterilmektedir.

4.4.1. ANOVA Tablosunun Analizi

MINITAB, ANOVA tablosu düzenirken, test işlemini kolaylaştıracak bir p değeri üretmektedir. Bu p değeri H_0 hipotezini reddedilmesine yönelik en küçük anlamlılık düzeyini temsil etmektedir. Program çıktısında $p=0,000$ olarak çok küçük bir değerde hesaplanmıştır. Çizelge 5.10'da ANOVA tablosu program çıktısı baz alınarak düzenlenmiştir.

Çizelge 4.10. Doğrusal model yöntemi çıktısı

General Linear Model: Y versus A; B; C; D						
Factor	Type	Levels	Values			
A	fixed	3	1; 2; 3			
B	fixed	3	1; 2; 3			
C	fixed	3	1; 2; 3			
D	fixed	3	1; 2; 3			
Analysis of Variance for Y, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	84190	84190	42095	90,83	0,000
B	2	124172	124172	62086	133,96	0,000
C	2	409491	409491	204746	441,76	0,000
D	2	84374	84374	42187	91,02	0,000
Error	18	8342	8342	463		
Total	26	710569				
S = 21,5284 R-Sq = 98,83% R-Sq(adj) = 98,30%						
Unusual Observations for Y						
Obs	Y	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
6	757,350	721,650	12,429	35,700	2,03	R
10	722,160	679,320	12,429	42,840	2,44	R
19	642,600	679,320	12,429	-36,720	-2,09	R
R denotes an observation with a large standardized residual.						

Çizelge 4.11. ANOVA tablosu

	Serbestlik Derecesi (v)	Kareler Toplamı (SS)	Varyans (V)	F Değeri	P Değeri
A	2	84190	42095	90,83	0,000
B	2	124172	62086	133,97	0,000
C	2	409491	204746	441,79	0,000
D	2	84374	42187	91,03	0,000
Hata	18	8342	463		
TOPLAM	26	710569			

Bu çalışmada;

H_0 : Faktörlerin günlük kapasite üzerinde etkisi yoktur $\rightarrow \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_1 : Faktörlerin günlük kapasite üzerinde etkisi vardır \rightarrow En az iki $\mu_i \neq \mu_j, i \neq j$

Olarak hipotezler tanımlanmıştır. ANOVA tablosundaki p değerleri 0,000..... olarak görülmektedir. H_0 hipotezi $\alpha=0,05$ ve $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde $p < \alpha$ olduğu için reddedilir. Bu sonuçlara göre tüm faktörlerin günlük kapasite oluşumunda etkisi olduğu görülmektedir.

4.4.2. Hesap Tablosu Analizi

Hesap tablosu, Çizelge 5.4' deki ölçüm sonuçlarından hareketle hesaplanan S/N oranı değerlerinden hesaplanır. Buna göre bu çalışma için, Madde A'nın 1. seviyesi karşısındaki S/N oranı değerleri toplanarak hesap tablosundaki Madde A'nın 1. seviyesi, Madde A'nın 2. seviyesi karşısındaki S/N oranı değerleri toplanarak hesap tablosundaki Madde A'nın ikinci seviyesi, Madde A'nın 3. seviyesi karşısındaki S/N oranı değerleri toplanarak da hesap tablosundaki Madde A'nın 3. seviyesi bulunur. Bu şekilde, diğer faktörlerinde seviyeleri tek tek dikkate alınarak hesap tablosu doldurulur. Tüm değerler hesaplandıktan sonra Madde A, Madde B, Madde C'nin en büyük ve en küçük değerleri çıkarılarak etki değerleri bulunur. Büyükten küçüğe etki değerlerinin sıralaması yapılır. Tablodan en iyi seviyeler bulunur. Bu çalışmanın hesap tablosu Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Hesap tablosu

Seviye	Madde A (gr)	Madde B (gr)	Madde C (gr)	Besleme Sıklığı (sn)
1	163,5968	169,4252	171,9464	169,8152
2	169,6134	172,2346	173,1739	171,5404
3	171,7384	163,2888	159,8284	163,5930
Enb-Enk	8,1416	8,9458	13,3455	7,9473
Sıra	3	2	1	4
En iyi Seviye	3	2	2	2
İlgili Faktörlerin Gerçek Değerleri	60	240	400	10

Hesap tablosu eniyi faktör seviyelerini Madde A için 3, Madde B için 2, Madde C için 2, Besleme Sıklığı için 2 olarak göstermektedir. Bu sonuç da MINITAB çıktısı ile uyumludur.

4.5. Doğrulama Deneyinin Yapılması

Hesap tablosu ve MINITAB çıktısına göre faktör seviyeleri $A_3B_2C_2D_2$ olarak öngörülmüştü. Bu kombinasyona göre yeniden bir gözlem yapılarak bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre;

1. Gözlem değeri : 998,3 kg
2. Gözlem değeri : 995,62 kg
3. Gözlem değeri : 998,97 kg olarak ölçülmüştür.

Ortalama değer : 997,63 kg'dır. Program çıktısında tahmin edilen ortalama değer : 981,042 kg'dır. L_9 ortogonal dizinine göre yapılan gözlemlerde en yüksek ortalama kapasite 811,71 kg olarak ölçülmüştür. Önerilen kombinasyonla bu değere göre daha yüksek bir kapasiteye ulaşılmıştır. Doğrulama deneyi sonucu ile analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ

Taguchi, geliştirdiği ortogonal dizinler sayesinde yapılacak olan deneyleri önemli ölçüde azaltmış, bu da zaman ve maliyet kaybının artmasını engellemiştir. Tasarladığımız deney sonucunda istediğimiz amaca ulaşmak T.M. ile daha hızlı olmaktadır. T.M.'nun en büyük avantajı sonucu önceden tahmin edebilmesidir.

Bu tez çalışmasında, deney tasarımına farklı bir bakış açısı getiren Taguchi Metodu uygulanmıştır. Askeri bir tesiste yapılan çalışmada deney, statik fırında yakılan çeşitli kimyasalların fırın sıcaklığını en az etkileyecek ve günlük olarak yakılan kimyasal maddelerin karışımının en yüksek oranda olacak şekilde tasarlanmıştır.

Uygulamada problem belirlendikten sonra balık kılçığı diyagramı yardımıyla problemin temeline inilmiş ve süreçte değişkenlik yaratan kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörler belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda günlük olarak yakılan kimyasalların en fazla olmasını etkileyen faktörler (MaddeA, Madde B, Madde C ve Besleme Hızı) ve bu faktörlere ait seviyeler belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen faktörler 4 adet ve 3 seviyeli olduğu için $L_9(3^4)$ ortogonal dizini kullanılmış ve dizindeki deney kombinasyonlarına göre 3 defa gözlem alınmıştır. Normal şartlarda bu deneyi yapmak için 3^4 kere yani 81 kez gözlem almak gerekir. Taguchi ortogonal dizinleri sayesinde tek bir gözlem için bu sayı 9'a düşmektedir. Bu da bize zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır.

$L_9(3^4)$ ortogonal dizinindeki gözlem değerlerinden hareketle performans istatistikleri hesaplanmıştır. Performans karakteristiği üzerinde önemli etkisi olan faktörleri belirlemek amacıyla MINITAB paket programı kullanılmış, ANOVA analizi ve hesap tablosu analizi yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda tüm faktörlerin performans üzerinde önemli etkisi olduğu gözlenmiştir.

Faktör ve seviyelerinin en iyi değerlerini bulmak için MINITAB paket programı ve hesap tablosu analizi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmış ve iki yöntem sonucunda $A_3B_2C_2D_2$ seviyelerinin en iyi değeri vereceği tahmin edilmiştir. Yapılan doğrulama deneyi sonucunda ortalama olarak 997,63 kg gibi tahmin edilen değerden

daha yüksek bir sonuca ulaşılmıştır. L₉ ortogonal dizinine göre yapılan gözlemlerde en yüksek ortalama kapasite 811,71 kg olarak ölçülmüştür. Önerilen kombinasyonla bu değere göre %18'lik bir artış sağlanmıştır. Bu durum, doğrulama deneyinin yapılan analiz ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akyalçın, L., Kaytakoğlu, S., 2005. Sitrat prosesiyle SO₂ gideriminde optimum şartların belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 8.
- Anagün, A.S., 2000. Kalite kontrolde ileri teknikler ders notları.
- Baynal, K., 2003. Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eş zamanlı en iyilenmesinde Taguchi Yöntemi ve otomatik endüstrisinde bir uygulama, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt:16, Sayı:2.
- Besterfield, D.H., Besterfield, C., Besterfield, G.H., Besterfield, M., 1995. Total quality management, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Bilişik, M.T., Gençyılmaz, G., 2006. Hizmet kalitesinin iyileştirilmesinde deneysel tasarım metodu, İstanbul Kültür Üniversitesi, VI. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu.
- Canıyılmaz, E., Kutay, F., 2003. Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt:18, No:3, 51-63.
- Connor, A.M., 1999. Parameter sizing for fluid power circuits using Taguchi Methods, Journal of Engineering Design, Vol.10, No.4.
- Çömlekçi, N., 2003. Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa Yayınları Ders Kitapları. 468s.
- Dervişoğlu, N., Muluk, Z., 2006. Taguchi tasarımının uygulanması ve klasik kesirli çok etkili tasarımla karşılaştırılması, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Eskişehir.
- Dovey, S.J., Matthews, A., 1998. Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications, Research Centre in Surface Engineering, University of Hull, Surface and Coatings Technology, Hull.
- Durmaz, S., 2008. Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 150s.
- Hamzaçebi, C., Kutay, F., 2003. Taguchi metodu bir uygulama, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Dergisi, Sayı:3-4, 7-17.

- Kağncıoğlu, C.H., 1998. Üretim öncesi kalite kontrolünde Taguchi yöntemi ve kükürdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 216s.
- Lunani, M., Nair, V.N., Wasserman, G.S., 1997. Graphical methods for robust design with dynamic characteristics, *Journal of Quality Technology*, Vol.29, 327-338.
- Montgomery, D.C., 1991. *Design and analysis of experiment*, John Wiley & Sons, Newyork.
- Peace, G.S., 1992. *Taguchi Methods, A Hands-On Approach*, Addison-Wesley Publishing Company, inc.ISBN 0-201-56311-8.
- Ross, P.J., 1996. *Taguchi techniques for quality engineering*, McGraw – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.
- Ross, W., Sykes, S., 1989. *Optimization of a hot-stamping process*, American supplier institute inc., Michigan.
- Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen. M., 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uclarında performans optimizasyonu, *İTÜ Dergisi*, Cilt: 3, Sayı:6, 117-128.
- Scheffler, E., 1997. *Statische versychplaning und austwertung, Eine Einführung in die Praxis der statistichen Versuchplanunug*, Deutscher Verlog für Grund staffindustrie Stuttgart, ISBN 3-342-00366-9, 1-50.
- Şanyılmaz, M., 2006. Deney tasarımı ve kalite geliştirmeleri faaliyetlerinde Taguchi yöntemiyle bir uygulama, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 87s.
- Şirvancı, M., 1997. *Kalite için deney tasarımı*, Literatür yayınları.İstanbul, 110s.
- Taguchi, G., Chowdury, S., Wu, Y., 2005. *Taguchi's quality engineering hanbook*. ASI consulting group, LLC, Livonia, Michigan, ISBN 0-471-41334-8.
- Tang, J., Tang K., 1989. Design product specifications for multi- characteristic inspection, *Management Science*, Vol.35, No.6, p.743-755.
- Yang, W.H., Tarnng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, *Journal of Materials Processing Technology*, Taiwan.
- Yang, W.H., Tarnng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi Metod, *Journal of Materials Processing Technology*, 84, 123-130.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Duduhan TAYLAN

Doğum Yeri ve Yılı: AYDIN – 1979

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Kurumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çine Lisesi – 1996

Lisans : Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2002

Çalıştığı Kurumlar/Kurum ve Yıl:

Uğur Soğutma A.Ş. Nazilli/AYDIN 2002-2004

Mikroplast A.Ş. DENİZLİ 2004-2005

TSK MAAT KIRIKKALE 2007-...