

**T.C.
MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SANAYİDE DENEY TASARIMI UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adnan KARADAŞ

İstatistik Anabilim Dalı

İstatistik Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nalan CİNEMRE

NİSAN 2010

Adnan KARADAŞ tarafından hazırlanan SANAYİDE DENEY TASARIM UYGULAMASI adlı bu tezin YÜKSEK LİSANS tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nalan CİNEMRE
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İstatistik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Nalan CİNEMRE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Semra ERPOLAT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özlem YILMAZ

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

ÖNSÖZ

İş hayatından ilgimi çeken, bir çok kuruluşta uygulanmasının elzem olduğunu düşündüğüm deneysel tasarım çalışması konusunda çalışma yapmanın mutluluğu içindeyim.

Peter Drucker'ın "Geleceğin fabrikasında 2 kişi çalışacak. Bir bekçi ve bir köpek. Bekçi fabrikayı yabancılardan koruyacak, köpek de fabrikayı bekçiden." sözüyle işaret ettiği gibi işletmelerin başarı üreten işletmeler olabilmesinin ön koşulu; belli faktörleri yöneterek içinde yer aldığı sistemi sistemi standartlaştırmasıdır. Deneysel tasarım bu standartlaştırmanın vazgeçilmez bileşenlerinden birisidir. Bu çalışmada da deneysel tasarım ana tema olarak ele alınmıştır.

Çalışmama, her aşamasında verdiği sıcak ilgi, yönlendirme ve destek ile tamamlamamı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Nalan CİNEMRE'ye,

İstatistik bilgimin oluşması ve gelişmesi konusunda, yetişmemi sağlayan İstatistik Bölümü Öğretim üyelerinden başta Prof. Dr. Aydın ERAR olmak üzere Prof. Dr. Gülay KIROĞLU, Yrd. Doç. Dr. Meral YAY, Yrd. Doç. Dr. Füsün DERİŞ ve Arş. Gör. Bahar KINAY'a,

Çalışmalarımın her aşamasında bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen sevgili hocalarım Arş. Gör. Dr. Barış AŞIKGİL ve Arş. Gör. Ozan KOCADAĞLI'ya,

Yüksek lisans konusunda beni manen destekleyen sevgili öğretim görevlisi Piraye YÜKSEL DEMİRCAN'a

Bir takım ruhuyla çalışan, birlikte güzel bir çok günün paydaşı olduğumuz sevgili sınıf arkadaşlarıma,

Çalışmalarım esnasında beni sevgi ve ilgileriyle yalnız bırakmayan sevgili aileme,

Üzerimde emeği olan, adını sığdıramadığım tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Nisan 2010

Adnan KARADAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
1.2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....	1
2. KALİTE ve DENEY TASARIMI	2
2.1. KALİTE KAVRAMI ve MALİYETLER.....	2
2.2. KALİTE HATALARININ OLUŞUM KAYNAKLARI.....	3
2.2.1. Kalite Hataları Oluşumunda İnsan Faktörü.....	3
2.2.2. Güçlü (Robust) Tasarım.....	4
2.3. KALİTE İYİLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI.....	6
2.3.1. Tepkisel Kalite İyileştirme Yaklaşımı.....	6
2.3.2. Aktif Kalite İyileştirme Yaklaşımı.....	7
2.4. KALİTE KONTROL YAKLAŞIMI.....	8
3. DENEY TASARIMI	13
3.1. DENEY TASARIMI UYGULAMALARININ TARİHÇESİ.....	13
3.2. SANAYİDE DENEY TASARIMI UYGULAYAN FİRMALAR.....	14
3.3. DENEY TASARIM METODOLOJİSİ.....	15
3.3.1. Deneysel Hata.....	16
3.3.2. Deneysel Tasarımda Maliyetlerin Göz Önüne Alınması.....	18
3.4. DENEY TASARIMI UYGULAMA ADIMLARI.....	20
3.4.1. Problemin Seçimi.....	20
3.4.2. Bağımlı Değişkenlerin Belirlenmesi.....	21
3.4.3. Bağımsız Değişkenlerin Belirlenmesi.....	22
3.4.4. Bağımsız Değişken Seviyelerinin Belirlenmesi.....	22
3.4.5. Mümkün Kombinasyonların Belirlenmesi.....	23
3.4.6. Gözlem Sayısının Belirlenmesi.....	23
3.4.7. Yeniden Tasarım.....	23
3.4.8. Rassallaştırma.....	23
3.4.9. Ahlaki ve Yasal Gereklilikler.....	24
3.4.10. Matematiksel Model.....	24
3.4.11. Veri Toplama.....	25
3.4.12. Verinin İndirgenmesi.....	25
3.4.13. Verinin Doğrulanması.....	25

3.4.14.	İstatistiksel Kontrol.....	25
4.	DENEY TASARIMI ÇEŞİTLERİ.....	26
4.1.	KLASİK DENEY TASARIMI	26
4.2.	İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI	27
4.2.1.	Tam Faktörlü Deney Tasarımı	28
4.2.2.	Kesir Faktörlü Deney Tasarımı	34
4.2.3.	Taguchi Metoduyla Deney Tasarımı	40
4.2.4.	Diğer Deney Tasarım türleri	51
5.	SANAYİDE DENEY TASARIMI UYGULAMASI.....	54
5.1.	ÖRNEK UYGULAMA	54
5.1.1.	Uygulama Konusu	54
5.1.2.	Amaç	57
5.1.3.	Değerler	58
5.1.4.	İşlemler	59
5.1.5.	Elde Edilen Sonuç	59
5.2.	Uygulama Yorumu	67
6.	SONUÇ	68
	EKLER.....	69
	KAYNAKLAR.....	70
	ÖZGEÇMİŞ	72

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, deney tasarımının açıklanması ve sanayi kuruluşlarında yapılan deney tasarım uygulamalarına örnek verilmesidir.

Deney tasarımı, ileri seviye kalite uygulamasına sahip sanayi kuruluşlarında, geleneksel kalite kontrol işleminin yerine kullanılmaktadır. Kalite maliyetlerini düşüren, süreç güvenilirliğini arttıran bir istatistiksel bir yöntem olarak deneysel tasarım yaklaşımı kullanılmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde; çalışmanın amacı ve araştırma metodu anlatılmıştır.

İkinci bölümde; kalite ve deneysel tasarım kavramları arasındaki ilişki anlatılmış, iş yaşantısında karşılaşılan kalite hataları ve yaygın biçimde uygulanan kalite yaklaşımları açıklanmıştır. Deney tasarımı tarihçesi, deney tasarımını kullanan değişik sektörlerden deney tasarımını uygulayıcıları, deney tasarım yöntemini geliştiren kişiler açıklanmıştır. Kalite sorununun oluşumu sürecinde insan faktörü ve bu durumda deneysel yöntemlerle kalite problemi çözüm yaklaşımı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde; deneysel tasarımın tarihçesi, değişik deney tasarım çeşitleri açıklanmıştır. Deney Tasarım çalışmasının, farklı sektörel gerekliliklerden dolayı farklı uygulamaları bu bölümde anlatılmıştır. Tam faktöriyel, kesirli faktöriyel ve Taguchi Metodu ile ilgili detaylı açıklamalar yapılmış, tablolarla konu ifade edilmiştir.

Dördüncü bölümde; bir sanayi kuruluşunda uygulanan deney tasarım çalışması Minitab yazılımı ile çözümlenerek örneklenmiştir. Beyaz eşya imalat sektöründen, imal edilen bir parçada yaşanan teknik bir sorunun, kesirli faktöriyel yaklaşım ile çözümü örnek olarak verilmiştir. Yapılan çalışma Minitab yazılımı kullanılarak çözülmüş, en sonunda elde edilen değerler için optimizasyon yapılmıştır.

Son bölümde; yapılan çalışmanın değerlendirilmesi yapılmıştır.

DESIGN OF EXPERIMENT APPLICATION IN INDUSTRY

SUMMARY

Aim of this study is to explain Design of Experiment and to give a design of experiment application in industry

Design of Experiment is used as a quality tool instead of traditional quality control methods in advanced level quality applicator companies. Experimental design has been using as a statistical method to reduce quality costs and to increase process reliability.

The first chapter is an introduction to aim of study and methods of search.

In the second chapter; Relation between quality and experimental design is defined. In this section, quality defects and quality approaches which is commonly used in business life is explained. History of design of experiment, various implementation in different sectors and people who improve design of experiment methods are expressed. On quality problem formation process, human factor and in that situation, quality problem solution approach with experimental methods has been explained.

In the third chapter; history of experimental design, some different methods of DOE has been explained. Different application methods for different sectoral requirements has been described. Full factorial, fractional factorial and Taguchi methods is expressed with tables.

In the fourth chapter; a DOE application which is solved by MINITAB statistical software for an industrial company is given. A technical problem sample, from white goods manufacturing sector, has been solved by using fractional factorial methods. In that study, Minitab software has been used and at the end of problem, solution has been optimized.

In the fifth chapter which is the final chapter; the results of study are discussed.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Sistem geliştirme ve etkileşimler	5
Şekil 2 Yıllara göre ürün kalitesinin gelişimi (Karbhari, 1994).....	7
Şekil 3 Proses Tabanlı Kalite Yönetim Sistemi Modeli (TS EN ISO 9001:2008).....	9
Şekil 4 Bir sistem ya da sürecin genel modeli (Montgomery, 2001)	19
Şekil 5 Bilimsel çalışmalarda istatistiksel girdi düzeyi	19
Şekil 6 Klasik yöntemle faktörlerin sınanması (Gökçe ve Taşgetiren, 2009).....	26
Şekil 7 Deney Döngüsünde aşamalar (Karbhari, 1994).....	45
Şekil 8 Makinanın Tasarım ve Montaj Aşamasında Bakım Sistem Planlaması	46
Şekil 9 Taguchi yaklaşımı sistematığı	49
Şekil 10 Üç Faktör için Box-Behnken tasarımı.....	53
Şekil 11 Tambur parçasının yatay kesiti	55
Şekil 12 Tambur parçasının yerleştirildiği gövdenin kesiti	56
Şekil 13 Küçük çap daralması varyans analizi	60
Şekil 14 Rulman yuvası – küçük çap daralmasına etki eden faktörler	61
Şekil 15 Rulman yuvası – KÇ daralmasında standartlaştırılmış etki grafiği	61
Şekil 16 Küçük çap daralmasına ütüleme basıncı ve süresinin etkileri.....	62
Şekil 17 Küçük çap daralmasına malzeme sıcaklığı ve Enjeksiyon hızı etkileşimi...62	
Şekil 18 Küçük çap daralması varyans analizi.....	64
Şekil 19 Rulman yuvası – büyük çap daralmasına etki eden faktörler	64
Şekil 20 Rulman yuvası – BÇ daralmasında standartlaştırılmış etki grafiği	65
Şekil 21 Büyük çap daralmasına ütüleme basıncı ve süresinin etkileri.....	65
Şekil 22 Büyük çap daralmasına malzeme sıcaklığı ve Enjeksiyon hızı etkileşimi...66	
Şekil 23 Minitab cevap optimizasyonu sonuçları.....	66

TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Genel İş Süreçlerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Uygulamaları.....	11
Tablo 2 Genel İş Süreçlerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Uygulamaları.....	21
Tablo 3 L8 Hesap Tablosu	29
Tablo 4 Deney Düzeni Tablosu	35
Tablo 5 2^{5-2} Tasarımda Çözünüm Kombinasyonu.....	37
Tablo 6 İki Seviyeli Deney Tasarımları ve Çözünürlük	38
Tablo 7 L8 Hesap Tablosu	39
Tablo 8 Taguchi'nin Beklenen Değer Hesaplaması	41
Tablo 9 Taguchi Yaklaşımı Doğrultusunda 5 Gözlemlili Bir Değer Tablosu.....	42
Tablo 10 L8 Hesap Taguchi Tablosu Logaritmik Hesap Tablosu.....	43
Tablo 11 L8 Hesap Taguchi Tablosu Gözlem Ortalaması Hesap Tablosu.....	44
Tablo 12 Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu	48
Tablo 13 Deney tasarımı uygulama adımları	50
Tablo 14 Deney tasarımı uygulamasında kullanılan faktörler ve sınırları.....	57
Tablo 15 Kesit değişimine etki eden faktörler ve deneysel sonuçlar	58
Tablo 16 Minitab küçük çap DOE çalışmasındaki model ekranı.....	59
Tablo 17 Küçük çap için kestirilen etkiler ve katsayıları.....	60
Tablo 18 Minitab büyük çap DOE çalışmasındaki model ekranı.....	63
Tablo 19 Büyük çap için kestirilen etkiler ve katsayıları.....	63
Tablo 20 %95 Güven Aralığında T Tablosu	69

KISALTMALAR LİSTESİ

4M	: Machine (Makina), Material (Malzeme), Man Power (İşçilik) ve Method (Yöntem) olarak sınıflandırılmış, üretim değerlerini ifade eden kısaltma
BÇ	: Büyük Çap
DOE	: Design of Experience: Deney Tasarımı
EEY	: Erken Ekipman Yönetimi
f	: Faktör sayısı
İPK	: İstatiksel Proses Kontrolü
KÇ	: Küçük Çap
LCC	: Ömür boyu maliyet (Life Cycle Cost),
PDCA	: P lan / D o / C heck / A ct (Planla / Uygula / Kontrol et / Gerçekleştir) kelimelerinin kısaltması. Sürekli gelişimin ve Taguchi döngüsünün ifadesidir.
P	: Kesir değeri
PT	: Parametre Tasarımı
s	: Seviye sayısı
s.d.	: Serbestlik Derecesi
SCADA	: Denetleyici Gözetim ve Veri Toplama (Supervisor Control and Data Acquisition)
SPC	: Statistical Process Control
ST	: Sistem Tasarımı
TT	: Tolerans Tasarımı

1. GİRİŞ

1.1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Günümüzde sanayide kaynakların verimli kullanımı, rekabet için vazgeçilmez bir zorunluluk haline gelmiştir. Deney tasarımı, kaynakların israf edilmemesi açısından, bir çok sektörün kullanabileceği bir aracı, işletmelere sunmaktadır. Bu çalışma; deney tasarımı yaklaşımını, kalite kavramı ve gereksinimlerini, deney tasarımının üretim sektöründe uygulanmasını açıklamak amacıyla hazırlanmıştır.

1.2. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Çalışmamız, internet, kalite uzmanları ve uygulayıcı firmalar kaynaklı gerçekleştirilmiştir.

Literatür taraması, internet ve basılı yayınlar ile gerçekleştirilmiştir. Kalite mantığı ve kavramsal yapılandırma konusunda, konunun uzmanı kişilerle görüşülmüş, ön gereksinimler ve kritik noktalar değerlendirilmiştir. Uygulamanın amaçları, tez konusu olan deney tasarımının pratik iş yaşantısında uygulanabilirliğini ve adımlarını göstermektir.

2. KALİTE ve DENEY TASARIMI

Deneysel tasarımı, bir çok farklı sektörde uygulanan bir kalite aracı olarak bilinmekte ve kullanılmaktadır. Üretimde, çalışanların uygulayacağı İstatistiksel Proses Kontrol (SPC) çalışmalarının temeli, deneysel tasarımı (DOE) çalışmalarına dayanmaktadır. Doğru olarak yapılan deneysel tasarımı üretimdeki ıskarta (scrap), tamir (re-work) ve kalite kontrol işlemlerini ortada kaldırmakta, üretim maliyetini ve süresini düşürmektedir.

2.1. KALİTE KAVRAMI ve MALİYETLER

Kalite kavramı, literatürde ve kullanıcı düzeyinde çok farklı tanımlamalarla ifade edilmektedir. “En iyisi”, “çok iyi” gibi öznel ve üretim açısından teknik anlam ifade etmeyen tanımlamalar, ölçülebilir olmaması sebebi ile kalite çalışmalarında fayda üretmemektedir.

Kalite; şartnameye uygunluk, tasarıma uygunluk, müşteri koşullarına uygunluk, belirli bir standarda uygunluk şeklinde tanımlanmaktadır. Üretim, kaliteyi, kendisine verilen, müşteri beklentilerinin yansıtıldığı tasarım/formül/reçete çerçevesinde üretebilir. Bu sebeple, bu çalışma, kaliteyi “tasarıma uygunluk” yaklaşımına göre yorumlayacaktır.

Üretilmek için hazırlanan ürün, müşteri beklentisini gerçekleştirecek bir çıktıdır. Ürünün varlığı tek başına yeterli değildir. Bazı nitelikleri de göstermesi gereklidir. Nitelikleri ağırlığı, rengi, teslim süresi, dayanımı, kullanım koşullarına uyumu ve referans örneğe yakınsaması da dahil olmak üzere bir çok farklı özellik beklentisini gerektirebilir. Bunlar, müşteriye, piyasaya, rekabet edilen kuruluşlara, moda, ürün standardına veya sözleşmeye göre değişebilmektedir.

Kalite konusunda söylenen bir yaklaşım; “Kalite maliyetleri güvensizlik maliyetleridir” yaklaşımıdır.

Kalite aslında maliyet içermez, ama kalitesizlik, ürün ve hizmet üzerine ilave maliyetleri bindirebilmektedir. Eğer mevcut çalışma, sürece, makinaya veya çalışana

hedeflenen kaliteyi oluşturma konusunda güven vermiyor ise, ilave maliyetler yapılması ve bunun kalitesizlik maliyeti olarak adlandırılması gerekmektedir.

Doğru kurulmamış, doğru bakımı ve işletilmesi gerçekleştirmemiş bir makinanın üretebileceği ışkarta veya kalitesiz ürünleri ayırmak için makinarya bir kalite kontrol elemanı veya bir cihaz konulması gerekebilmektedir. Bu makinanın, iş bitirme süresini ve işletim maliyet,n, arttırmaktadır.

Yukarıda açıklanmaya çalışılan istenmeyen durumun çözümü; en başta makinanın isteneni üretecek, doğru ayar (set) değerlerinin bulunması ve bakım/işletim esnasında bu değerlerin sürekli kontrol edilmesi ve bunların korunmalarının sağlanmasıdır.

2.2. KALİTE HATALARININ OLUŞUM KAYNAKLARI

Kalite hataları çok çeşitlidir ve bu hataların oluşmasına yol açan değerli faktörler vardır. Çalışmanın bu kısmında kalite hatalarına yol açan faktörlerden belli başlıcaları açıklanacaktır.

2.2.1. Kalite Hataları Oluşumunda İnsan Faktörü

Kalite hatalarını, temelde tek kaynağa indirgemek mümkündür; insan. Makinanın tercihinden, tasarımına, malzeme alımından, çalışan eğitimine işletmenin değerli kademelerindeki yönetici ve teknik personeli karar vermektedir. Uygun koşulların sağlanması konusunda gerekli kaynakların sağlanması, başarımın devamı için iş disiplininin sürdürülmesi gerekmektedir. Bunu başaramayan kuruluşların kalite hataları sebebiyle maliyetlerinin artması ve sonuçta müşteri memnuniyetsizliğinin olması kaçınılmazdır.

Matematikçi W. Edwards Deming'in de işaret ettiği üst yönetim kaynaklı sorunlar, operasyonun her kademesine sirayet edebilmektedir (Deming, 1960).

Kalite geliştirme, geliştirilen kalite üretme sistematliğini kurumsallaştırma ve kurumsal başarımın artması için bir çok yönetim sistemi kullanılmaktadır. Unutulmaması gereken en önemli husus; kalitenin bozulması, kurulum aşamasında yapılan hatalar veya işletim esnasında iş disiplininden ve mantığından uzaklaşılmasından kaynaklandığıdır. Bazı durumlarda, kurulum aşamasında yapılan yanlışlar veya işletim sırasında iş disiplininden ve mantığından uzaklaşmanın yol

açtığı her iki hatanın bir arada görülebileceği, çalışanlar tarafından kanıksanmış “kronik kalite hatalara” rastlamak mümkündür.

Kalite konusunda sıkça karşılaşılan bir başka sorun ise, kalitenin süreksizliğidir. Müşteri için belirlenen kalite seviyesinin altına inilmese bile, kalite farklılıkları müşteri açısından hoşnutsuzluk yaratır. Bir kutunun içinden çıkan; iyi, daha iyi ve mükemmel olarak nitelendirilen ve müşteriye taahhüt edilen kalite hedefinin üstündeki ürünler, müşteri açısından “Niçin hepsi mükemmel değil?” gibi bir sorguya sebep oluşturabilir. Ürünü yapan firmanın, vardiyalar, çalışanlar ve makinalar arasındaki farklılıkları müşteri tarafından olumsuz karşılanır. Müşterinin tek tip sonuç isteyeceği unutulmamalıdır.

Bazı durumlarda, kalitesizliğin tanımlanması ve belirginleştirilmesi işletme dışından gerçekleştirilmektedir. Kuruluş; yıllar boyu ürettiği ürünün, değişen piyasa koşulları, maliyetler, teknoloji, müşterinin değişen beklenti veya talepleri ve rakiplerin piyasaya çıkarttığı alternatif ürünlerin tercih edilmesi, ürün ve hizmet kalitesinin yeterli bulunmaması sorununu ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunun fark edilememesi veya geç farkedilmesi büyük organizasyonların yıllar süren bir çürüme sonunda, ani yok oluşlarına sebep olmaktadır. Kuruluşun bir çok bölümü, bilhassa üst yönetim, bu sorunu görmemekte veya sonucu kavrayamamaktadır. Nitekim Peter Drucker bunu; “Şirket mezarlıkları, başarılarının zirvesinde batan şirketlerle doludur” diye ifade edmektedir (Drucker, 1964). Bu sorunun çözümü, kalitenin sürekli gelişim ilkesini kurumsal yapıya uyarlamak, böylece kalitenin sağlıklı bir şekilde sürekliliğini sağlamaktır.

2.2.2. Güçlü (Robust) Tasarım

Güçlü tasarım, bir ürünün en az kalite kaybı oluşturması veya sebep olması amacıyla yapılan tasarımdır. Güçlü tasarımla, toplamda kayıpları en aza indirmek hedeflenir. Güçlü tasarımla, başta istatistiksel deneysel tasarımı ve Taguchi metodu olmak üzere bir deneysel tasarım metodu özdeşleştirilmiştir.

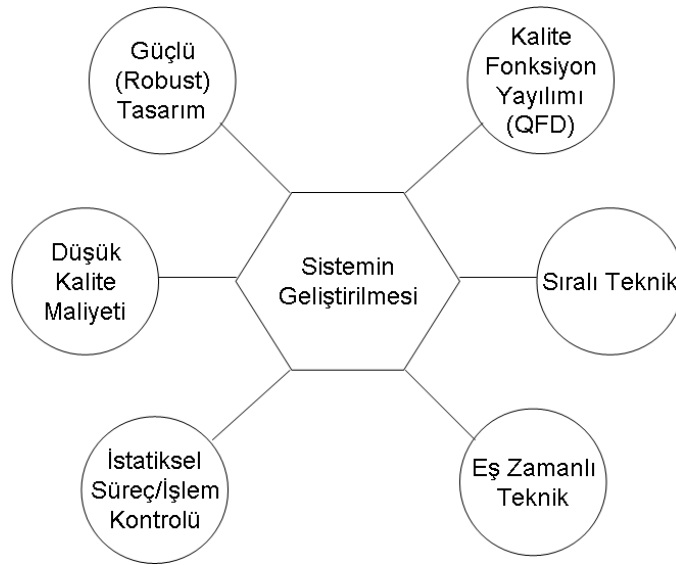
Geleneksel deneysel tasarımı, tasarım sürecinin ilk aşamalarında parametrik ilişkileri ve ürün/işlem modelini oluşturmada kullanılan araçlardandır. Ancak geleneksel tasarım, özellikle çok sayıda parametre bulunduğunda oldukça maliyetli olabilmektedir. Geleneksel deney tasarımı, varyasyon (değişkenlik, değişim)

katkısından dolayı, performans nedenlerini inceler. Modelleme, parametre belirleme, araştırma ve ürün fenomeninin genel olarak anlaşılmasında faydalı bir araçtır.

Deney tasarımında kullanılan bir diğer yaklaşım da Taguchi metodudur. Söz konusu yaklaşım Genichi Taguchi'nin kalite tanımına dayanan kalite optimizasyonuna odaklanır. Kalite, bir ürünün zati fonksiyonlarının oluşturduğu değil, teslim edildikten sonra, neden olduğu zararlardır (Gökçe, 2009).

Genichi Taguchi'ye göre müşteriye memnun etmede karşılaşılan herhangi bir başarısızlık, başlı başına zarardır. Zarar performansın optimal hedef değerlerden herhangi bir sapma, kalitenin düşmanıdır. Bu tasarımın amacı; etkenlerin en iyi şekilde kombine edildiği (bir araya getirildiği) bir sistem oluşturarak, istenmeyen sapmayı en aza indirmektir. Bu noktaya odaklanarak ürünü, işlemi ya da parçaları düşük ürün performansına neden olan ve kontrol edilemez "gürültü" faktörüne karşı duyarsız hale getirmek mümkündür.

Şekil 1'de sistem geliştirilmesinde, güçlü tasarım ve diğer kalite tekniklerinin şekilsel gösterimi yapılmıştır. Bu tekniklerin kullanım ağırlığı ve sıralaması, sektör, ürün ve kuruluş yetenekleri doğrultusunda değişebilmektedir.



Şekil 1 Sistem geliştirme ve etkileşimler

Çok sayıda yaklaşım uygulanmasına karşılık, başarılı olan çalışmalar, doğru yerde, doğru zamanda, derinliği ve maliyeti doğru kestirilmiş analiz/uygulama çalışmalarını yapan kuruluşlar olmaktadır.

2.3. KALİTE İYİLEŞTİRME YAKLAŞIMLARI

İşletmeler, farklı yönetim yaklaşımları ile kalite başarımını sağlamak, pazarda güçlenmek istemektedirler. Üst yapı olarak, Toplam Kalite Yönetimi (TKY), Yeniden Mühendisleme (BPR), Toplam Üretken Yönetim (TPM), yönetim sistemi standartları (ISO 9001, ISO 14001, ISO 18001, BS 25999) kullanılabilirlerdir.

Bunların yanı sıra, kuruluş yaklaşımlarının uygulanmasını iki farklı davranış modeline ayırmak mümkündür.

1. Tepkisel Kalite İyileştirme Yaklaşımı,
2. Aktif Kalite İyileştirme Yaklaşımı

Bu yaklaşımlar, sorunun oluşum ile oluşum ihtimali sürecinde veya oluşması sonrasında gerekli düzenlemenin yapılmasına göre sınıflandırılmaktadır. Bu yaklaşımlar aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1. Tepkisel Kalite İyileştirme Yaklaşımı

Yönetim Sistemi Standartlarında “düzeltici işlem” şeklinde de ifade edilen Tepkisel Kalite İyileştirme Yaklaşımı, sanayi devriminin ilk yıllarından itibaren kullanılan, yapılan üretimin satılmaması riskinin olmadığı dönemlerde yaygın olarak başvurulan bir yaklaşımdır.

Bu yaklaşımda; çözüm için gerekli etkinlik ancak olumsuzluk oluştuğundan sonra başlatılır. Önce sorun oluşur, tespit edilir, sonrasında sorunun giderilme işlemi gerçekleştirilir.

Fakat bu yöntemde sorunun giderilmesi, her zaman için tam düzelmeyi sağlamayabilir. Arızalanan makinanın, istenmeyen bir zamanda durması, müşteri siparişinin gecikmesi, arızalanan makinaya bağlı olarak çalışan makina ve atelyelerin işlerinin durması, tamir süreci, arızanın zamanında önlenmemesi sebebi ile kırılan parçanın, bozulmadan kırılmaya giden dönem içinde, bağlı olduğu diğer makina aksamına zarar vermesi, insana ve çevreye verilen zararların telafisi mümkün olmayabilmektedir.

Bir örnekle bu yaklaşımı ifade etmek gerekir ise; üretim yapılan makina, farklı zamanlarda farklı performans göstermekte, bazen üretim esnasında arızalanmakta, optimum verimliliği sağlayacak değerleri bilinmediği için, makina her ürün için aynı

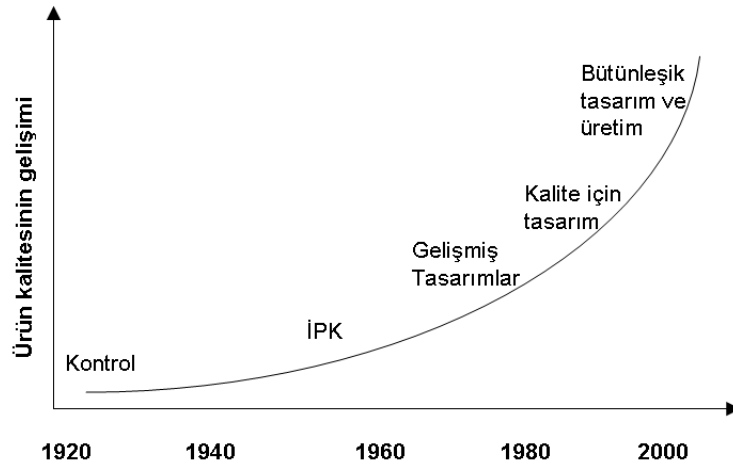
ayar değerleri kullanılmakta, verimlilik olması gereken değer esasında değil, çalışma süresi üzerinden yapılmaktadır. Kimse, aynı makinanın, aynı malzeme ile hem sağlam, hem de bozuk çıktı yaptığını bilmemektedir. Kalite bozuklukları, makina işlemi sonrasında ayrıştırılmakta; sağlam, ıskarta (telef) ve B kalite ürün olarak sınıflandırılmakta, bu ayırım için ilave işçilik harcanmakta, ürün gerçekleşme süresi (lead time) uzamakta ve maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.

2.3.2. Aktif Kalite İyileştirme Yaklaşımı

Aktif kalite iyileştirme yaklaşımı; kaliteye etki eden faktörlerin, kalite hataları oluşmadan analiz edilerek, istenen kalite seviyesine ulaşmayı amaçlamaktadır. Makinalarda hata kaynaklarını, 4M olarak nitelendirilen Makina (Machine), Malzeme (Material), İşçilik (Man-Power) ve Metot (Method) olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu bileşenlerin uygun olma seviyesi işletmenin kalite ve verimlilik başarımını etkilemektedir.

Bu yaklaşımla birlikte, kişiye bağımlı, rastgele seviyenin tutturulduğu kalite anlayışı yerine, kişiden bağımsız, malzemenin bileşenleri, makinanın çalışma parametreleri (basınç, sıcaklık, hız, debi, zaman, vs.) ve standart tasarım/üretim metotları kullanılarak, hep aynı çıktıların oluşması sağlanır. Artık kontrol edilen, sonuçlar değil, sonucu üreten bileşenlerdir.

şekil 2’de kalite geliştirme çalışmalarında istatistiksel tekniklerin kullanımının yıllar içindeki yaygınlaşması görülmektedir. 1920’lerde son ürün üzerinde yapılan çalışmalar, yüzyılın sonunda ürün ve sürecin tasarımı aşamasına ulaşmıştır.



şekil 2 Yıllara göre ürün kalitesinin gelişimi (Karbhari, 1994)

Ürün kalitesinin geliştirilmesinin bir yolu deney tasarımı (DOE) hayata geçirmektir. Bu aşama kalitenin tasarım aşamasıdır. İkinci aşama, yani üretim aşamasında, deney tasarımında tespit edilen etkin kontrol parametreleri ve etkin kontrol aralıkları, üretim rutini içinde istatistiki olarak veri toplama, değerlendirme ve kalite değerlendirilmesine tabi tutulur. İstatistiksel Süreç Kontrolü (İPK-SPC) ürün sayımı yerine veri toplama ve değerlendirme yöntemi olarak kullanılır. Daha az emek ile daha etkin sonuç alınabilir.

Bazı uygulamalarda, veri toplama, değerlendirme ve yeni ayarı kurma işlemleri otomatize edilebilmektedir. Özellikle; kimya, gaz nakli, ısıtma/havalandırma sistemleri, hava (pünomatik) ve hidrolik sistemlerde, gerekli ölçümler yapılarak sistemin sağlıklı sürekliliği garanti altına alınabilmektedir. Denetleyici Gözetim ve Veri Toplama (SCADA) ismi verilen bu kontrol sistemleri, sistem üzerindeki değerleri hissederek, optimum sonucu üretecek şekilde sistemde değişiklik yapabilmektedirler.

Örneğin; basınçlı bir kap içinde, belli aralıklardaki basınç, sıcaklık ve konsantrasyon değeri ile üretilen bir üründe sürekliliği sağlamak için, kap içindeki ürün azaldıkça kontrol parametrelerinin değerlerinin değişmesi gerekebilir. Bu durum göz önünde bulundurularak farklı cihazlar, bu değerler üzerinden yönetilebilir. Bilhassa, 24 saat çalışan şebekelerde, kişisel hataların en aza indirildiği bu sistemler kullanılmaktadır.

SCADA uygulamalarında en çok gözden kaçırılan konu, SCADA yazılımı ve parasal kaynaktan çok, parametrelerin ve çalışma aralıklarının doğru olarak belirlenmesidir. Özellikle teknoloji odaklı olan dolayısıyla yüksek maliyetli çalışmalarda, daha az zaman ve kaynak ayrılan bu konu, yatırımın verimli biçimde kullanılmasını büyük ölçüde engellemekte, dolayısıyla yatırımdan beklenen verimliliği düşürmektedir.

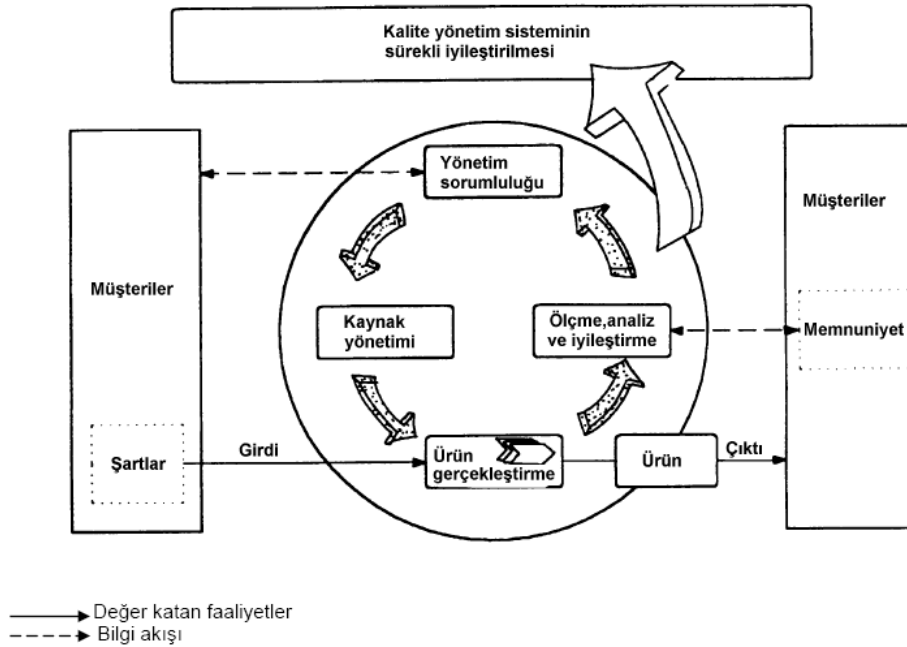
2.4. KALİTE KONTROL YAKLAŞIMI

Kalite geliştirme çalışmalarında, bir diğer yorumlama kalite yaklaşım şekline göre yapılmaktadır.

Bu yaklaşımla, üretilen ürün veya hizmetin başarımın ölçümü ile kaynak kullanımında ve müşteri memnuniyetinde derecelendirme yapılması mümkün olmaktadır. Bazı ürün ve hizmetlerin kuruluş tarafından tasarlanarak piyasaya

sunulması ile müşteri talebi doğrultusunda özel tasarım yapılması ayrımı, nasıl bir yol izlenmesi gerektiğini ortaya koyar. Örneğin; bir barajın inşası aşamasında, barajın inşa edilmesinden sonra değerlendirme yapılması imkansızdır. Bu sebeple ölçüm değerlerinin önceden farklı ortam ve formüllerle sınanması, başarımlar sağlanacak şekilde çalışmanın yapılması hem zaman, hem finansal kazanımlar sağlayacak, hem de daha gerçekçi olacaktır.

ISO 9001:2008 gibi, yönetim sistemleri standartları, Şekil 3'te gösterilen sürekli gelişim döngüsünü kullanmaktadır. Müşteriden müşteriye giden akış, sürekli geliştirilerek, müşteri memnuniyetinin korunması ve sürekli gelişimi hedeflenmektedir.



Şekil 3 Proses Tabanlı Kalite Yönetim Sistemi Modeli (TS EN ISO 9001:2008).

Seri üretime yönelik, çok sayıda üretilecek ürünler, ilk başta üretim, taşıma, kullanım ve servis koşulları test edilerek yapılan analiz sonuçlarına göre piyasaya sürülmektedir. Ürünün piyasaya çıkışında karşılaşılabilecek sorunları azaltan bu yaklaşım, müşteriden gelen geri beslemeler ile ilave geliştirmeler uygulanmaktadır. Geliştirme sürecinin ve müşteri şikayet sisteminin ürünün piyasaya sürülmesinden önceye çekilmesi, piyasa aşamasında müşteri kaybı ve ürün geri çekme gibi çok yüksek maliyetli kayıpları yok etmektedir.

Sürekli gelişim döngüsü, PDCA veya Taguchi Çevrimi olarak da anılmaktadır. Yönetim sistemi standartları, sürekli gelişim yaklaşımını, bu çevrimi referans olarak ifade etmekte, belgelendirilen kuruluşlar, bu yaklaşım doğrultusunda değerlendirilmektedir.

Çevrim içi ve çevrim dışı olarak nitelendirilen bu yaklaşımlar, ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi Standardı ışığında Tablo 1'deki gibi sınıflandırmak mümkündür:

Tablo 1 Genel İş Süreçlerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Uygulamaları

Süreçler	İşlemler	Çevrim Dışı Kalite Kontrolde Süreç Performansı İçin İşlemler	Çevrim İçi Kalite Kontrolde Süreç Performansı İçin İşlemler
Müşteri Beklentilerinin alınması Süreci	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ürün özelliklerinin alınması, 2. Miktarının alınması, 3. Kullanım yerinin öğrenilmesi, 4. Teslim süresinin belirlenmesi, 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Beklentilerin araştırılması (ST), 2. Mevcut sistem ile karşılaştırılması, 3. Sistem revizyonlarının belirlenmesi (ST), 4. Başarım kriterleri (PT) hesaplanması, 5. Müşteri memnuniyeti sınır değerlerinin, sistem beceri sınır değerleri ile örtüştürülmesi (TT) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Müşteri şikayetleri sisteminin kurulması (ST), 2. Müşteri memnuniyeti ölçüm parametrelerinin belirlenmesi (PT), 3. Kabul edilebilir memnuniyetsizliğin ve koşulların belirlenmesi (TT),
Tasarım Süreci	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ürün özelliklerinin alınması, 2. Kullanım koşullarının belirlenmesi, 3. Malzeme ve bileşenlerin belirlenmesi, 4. Tasarımın gerçekleştirilmesi, 5. Ürün testi ve beklentilerle karşılaştırılması, 6. Saha testi ve performans analizi, 7. Tasarımın standartlaştırılması. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Üretilbilir tasarım yaklaşımı (ST), 2. Kullanıcı dostu tasarım yaklaşımı (ST), 3. Tasarımın performans testleri (PT), 4. Tasarıma yönelik kullanıcı anketleri (TT), 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Müşteri beklentilerinin ürüne yansıtılması (ST), 2. Tasarım gelişim sürecinin belirlenmesi (ST), 3. Tasarım geliştirme başarım kriterlerinin belirlenmesi (PT), 4. Başarım sınırlarının belirlenmesi (TT),

Tablo 1 (Devam) Genel İş Süreçlerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Uygulamaları

Süreçler	İşlemler	Çevrim Dışı Kalite Kontrolde Süreç Performansı İçin İşlemler	Çevrim İçi Kalite Kontrolde Süreç Performansı İçin İşlemler
Satın Alma Süreci	<ol style="list-style-type: none"> 1. Teknik Şartnamenin temini, 2. Pazar araştırması, 3. Satın alma işlemi, 4. Girdi kontrolü. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tedarikçi ağı oluşturma (ST), 2. Tedarikçi değerlendirme kriterleri oluşturma (PT), 3. Kabul kriterleri oluşturma (TT). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Satınalma değerlendirme sisteminin kurulması (ST), 2. Satınalma değerlendirme parametrelerinin belirlenmesi (PT), 3. Satınalma başarımlarının sınırlarının belirlenmesi (TT).
Üretim Süreci	<ol style="list-style-type: none"> 1. Süreç akışının belirlenmesi, 2. Kaynakların belirlenmesi, 3. Üretimin gerçekleştirilmesi, 4. İşlem kontrolü. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kapasite ve teknik yeterliliklerinin belirlenmesi (ST), 2. Süreç performans parametrelerinin belirlenmesi (PT), 3. Başarımların belirlenmesi (TT). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Üretim sürecinin belirlenmesi (ST), 2. Kalite kontrol konularının belirlenmesi (PT), 3. Kontrol sayısı ve kabul kriterlerinin belirlenmesi (TT),
Servis Süreci	<ol style="list-style-type: none"> 1. Teknik yeterliliğin sağlanması, 2. Servis sürecinin işletilmesi, 3. Başarımların ölçümü. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Teknik ihtiyaçların belirlenmesi (ST), 2. Başarımların belirlenmesi (PT), 3. Müşteri şikayetleri ölçümü (TT). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Şikayet yönetimi sisteminin kurulması (ST), 2. Şikayetlerin sınıflandırılması (PT), 3. Servis şekli ve koşullarının belirlenmesi (TT).

3. DENEY TASARIMI

3.1. DENEY TASARIMI UYGULAMALARININ TARİHÇESİ

Deney tasarımı, farklı şekilleriyle değişik zamanlarda yapılmış, sanayi devrimi ve laboratuvar çalışmalarının bilimsel disiplinler altında yapılmasının yaygınlaşması ile birçok sektör tarafından kullanıma geçmiştir.

James Lind'in 1747 yılında, iskorpit (C vitamini eksikliği) hastaları üzerinde yaptığı deney bu kapsamda değerlendirilebilir.

Lind, 12 gemi yolculuğundan gelmiş ve iskorpit hastalığından etkilenmiş 12 denizci üzerinde yaptığı deneyde, denekleri ikişerli altı guruba bölmüş ve bu grupların her birine farklı bir beslenme kürü uygulamıştır. Deneyin tamamlanmasının ardından, hastalar üzerinde yaptığı gözlemler neticesinde narenciye ürünleriyle beslenen hastalardaki iyileşmenin daha hızlı ve belirgin olduğunu tespit etmiştir.

1920'li yıllarda istatistikçi Ronald A. Fisher, zirai çalışmalara yönelik deney tasarım uygulamalarını kullanılmıştır. Fisher'in bu konuya yaptığı en büyük katkı, günümüzde de sık kullanılan varyans analizi (ANOVA) olmuştur. Fisher, yaptığı çalışmayla tarımsal ürünlerin kalite ve miktarsal artışına sebep olacak, farklı kriterler geliştirmiştir. Toprak, su miktarı ve sulama çeşitleri, gübre çeşitleri ve kullanım oranları gibi bir çok parametrenin tarımsal çıktı üzerine etkilerini ortaya koymuştur.

1935 yılında Ronald A. Fisher tarafından, önerilen deney tasarımı metodolojisi, bu konuda yenilikçi bir yaklaşım sunmuştur. Verilen örneklerle birlikte, karşılaştırma, rassallaştırma, tekrarlanabilirlik, bloklama, dikleştirme (ortogonalleştirme), faktöryel deneyler konusunda yeni yaklaşımı ortaya koymuştur.

Deney tasarımı izleyen yıllarda; ilaç, sağlık, imalat sektörü, enerji üretimi, kimya gibi birçok sektörde, farklı şekillerde uygulanmıştır. Aynı kaynaklarla, daha fazla çıktı elde etmek isteyen süreç odaklı üretim sistemleri, darboğaz noktalarında deneysel tasarım çalışması yaparak, en yüksek başarıya ulaşmayı hedeflemişlerdir.

1924 yılında Japonya’da doğan, Japon istatistikçi ve mühendis Genichi Taguchi, 1950’li yıllardan itibaren, deneysel tasarım çalışmalarını kullanarak, üretilen ürünlerin kalitesinin artırılmasına yönelik yaklaşımlar geliştirmiştir.

Halk Sağlık Bakanlığı, Nippon Telgraf ve Telefon İşletmesi, Bell Laboratuvarları, Toyota, Japon Standart Enstitüsü gibi bir çok kuruluşta istatistiksel tekniklerle kalite geliştirme çalışmasına katılmıştır.

Taguchi yaklaşımını özetlemek gerekir ise; Taguchi metodu, üründe ve proseste, değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı, kontrol edilebilen faktörlerin düzeylerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım metodudur (Canıylmaz, 2001).

Farklı kesimler tarafından eleştiriye uğramış olmasına rağmen, Taguchi’nin yaklaşımı, yükselen Japon sanayisinin de etkisi ile, uluslar arası arenada kabul gören başlıca yöntemlerden biri haline gelmiştir.

Japon sanayisini ve başarımını inceleyen batı, istatistiksel tekniklerin sanayide kullanımı yeniden keşfetmiş ve günümüzde yaygın olarak uygulanan “Altı Sigma” gibi yaklaşımlar için güçlü bir araç olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Altı sigmada, kuruluşun ürün ve hizmetlerdeki performansı sigma düzeyi ile ölçülür. Altı sigmanın hedefi, değişkenliği ve sapmayı sıfıra yaklaştıracak, beklentileri mükemmel şekilde karşılayacak ürün ve süreçlere ulaşmaktır. Uygulama yapılan kuruluşta verimsizlik yaratan ve sigma seviyesinin düşmesine neden olan problemler mercek altına alınır. Kayıpların oluşumuna eden nedenler tespit edilir ve zararsız hale getirilir. Sonuçta, sigma düzeyi sürekli artacak, iş ve üretim süreçlerinde hatalar azalacaktır.

3.2. SANAYİDE DENEY TASARIMI UYGULAYAN FİRMALAR

Otomotiv başta olmak üzere, Türkiye’de sektör liderliği yapan bir çok kuruluş kalite kontrolünü deney tasarımı ile gerçekleştirmektedir. TKY, TPM, Altı Sigma tarzı yönetim sistemlerini uygulayan bu firmalar, veriye dayalı kalite yönetim sistemi mantığıyla deney tasarımı yapmakta, çalışmalarını güçlendirmektedirler.

Bu firmaların çoğunun yabancı ortaklı olması veya dış piyasalarda yüksek rekabete maruz kalan firmalar olması ortak yönleri olarak görmek mümkündür.

Arçelik, Netaş, Brisa, Tofaş, Pirelli, Ford Otosan gibi firmalar, deney tasarımını sadece kendileri uygulamakla kalmamakta, aynı zamanda tedarikçilerini de bu tarz yöntemleri seçenlerden tercih etmektedirler.

Son dönemde yapılan tarımsal üretimler, deney tasarımı uygulaması içermektedir. Örnek vermek gerekir ise; topraksız olarak, su içinde yetiştirilen domateslerin, hangi dönemlerde, hangi minerallere, ne miktarda ihtiyacının olduğunun bulunması üretimin en iyileştirilmesi (optimizasyon) için zorunludur.

3.3. DENEY TASARIM METODOLOJİSİ

Deney tasarımının en temel amaçlarından biri deney hatalarını minimuma indirmektir (Hinkelmann, 2005). Deneysel hataların yok edilemediği veya kontrol altına alınmadığı durumlarda, deney tasarımı çalışmasından beklenen başarıya ulaşılması mümkün görülmemektedir. Deney koşulları, deneyde kullanılan araçlar, kalitenin ölçüldüğü noktalar, ölçüm sıklığı, ölçüm cihazlarının yeterliliği, uygunluğu ve istenen tolerans değerlerinde çalışıyor olması ile çalışanın iş yapma şekli, deneysel sonucun doğru veya yanlış çıkmasına sebep olabilir.

Fisher deney tasarımının uyması gereken kuralları tanımlamış ve kuralları şu başlıklar altında toplamıştır; karşılaştırma, rassallaştırma, tekrarlanabilirlik, bloklama, dikleştirme, faktöryel deneyler (Fisher, 1966). Söz konusu kurallar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Karşılaştırma: Birçok çalışmada, ölçülen sonuçların aynı şekilde tekrar sağlanması zordur. Uygulamalar arasındaki karşılaştırmalar hem tekrar gerçekleştirilmesi mümkün hem de genelde daha tercih edilebilirdir. Çok sık alınan sonuçlar, bir standart veya alışlagelen değere karşı referans olarak alınabilir.

Rassallaştırma: Yapılan deneysel çalışma, bir şekilde rastgeleleştirilmelidir. Örnek miktarı/ölçüsü eşit olmalıdır. Deney sistemini bozacak riskler kabul edilebilir seviyede olmalıdır.

Tekrarlanabilirlik: Tekrarlanan ölçümler yapılan çalışma için gereklidir. Bu şekilde sürecin varyansını tahmin etme imkanı elde edilir.

Bloklama: Bloklama deney ünitelerinin, eşit ve benzer guruplara bölünmesidir. Bloklama, üniteler arasındaki varyansı azaltacağından, daha hassas bir tahmin yapılmasına yardım eder.

Dikleştirme: Dikleştirme, elde edilen faktörlerin daha iyi yorum verebilecek biçimde (kavramsal anlamlılık) yeni faktörlere çevirme olarak ifade edilebilir (Tatlídil, 2002).

Faktöryel Tasarım: Faktör deneylerinin kullanımı, bir faktörün bir zaman diliminde incelenmesine tercih edilir. Bağımsız değişken olan, bir kaç faktörün ve bunların arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi, etkin bir sonuca ulaşılmaya yardım eder.

Deney tasarımı analizleri, temelde varyans analizi üzerine kurulmuştur.

3.3.1. Deneysel Hata

Yapılan deneysel çalışmalarda, hatalar kontrol altına alınmaz ise deney sonuçlarının güvenilirliği ve tutarlılığı düşer. Parametre gerçek değeri ile aynı parametre için tahmin edilen değerin farklılaşmasına yol açan hataya deneysel hata adı verilir. Deneysel hatanın azaltılması için deneysel çalışmalarda bazı kurallara uyulması gerekir (Özdamar, 2005). Uyulması gereken belli başlı kurallar aşağıda verilmiştir.

Deney koşulları, ölçüm şekilleri, işlem sırası, bazı durumlarda karışım/homojenlik oranları sağlam bir deney disiplini ile takip edilmeli ve değerlendirilmelidir. Değerlendirmede kontrol edilemeyen faktörler mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bağıl nem, atmosferik koşullar, mevsim ve iklim gibi kontrol edilmesi bazı prosesler için imkansız koşullar, deneysel yaklaşımın başarımını tehlikeye atmaktadır.

Deneysel hatalar ya sistematik ya da rastlantısal (tesadüfi veya rasgele) olabilir.

Sistematik hatalar; bilinçli veya bilinçsizce kullanılan yöntemle ilgili bir aksama nedeni ile ortaya çıkan, sonuç bilginin gerçek değerlerden ciddi olarak sapmasına neden olan hatalardır. Sistematik hatalar genellikle aşağıdaki koşullarda oluşur;

- Faktörlerin seçilmesi aşamasında
- Deney aşamasında,
- Ölçüm aşamasında
- Değerlendirme aşamasında
- Yorumlama aşamasında

Rassal hatalar; bilinçsiz rastlantılara bağılı olarak ortaya çıkan, saçılımı arttıran, sonuçta gerçeğı merkezde dengeli ama belirsizliğı arttıran hatalardır. Bir başka deyişle; rassal hata kaynakları, birimden birime artı (+) ve eksi (-) yönde dengelenebilen ve kasıt olmaksızın ortaya çıkan hatalardır.

- Deneyin sayısal yetersizliğı,
- Ölçüm yöntemi ve ölçüm değerleri,
- Yanlış faktör seçimi,

Bazı deneylerde, deney ortamının elverişli olmaması, ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini azaltmaktadır. Kapalı devre ürünlerin giriş çıkış değerlerinden dolayı ölçümler veya fırın içi sıcaklığının ölçümü gibi varyansı yüksek değerlendirmeler rassal hataların artmasına sebep olabilmektedir. Bu tür durumlarda, ölçme sayısını arttırmak ve ölçme yöntemine dikkat etmek gerekmektedir.

Deneysel hatayı en aza indirmek amacıyla deney düzenlerken bazı önlemler almak gerekir. Bu önlemlerden en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Koşulların Eşitlenmesi ya da Sabit Tutulması: N birim denemeye alındığında deneme için koşulların tüm birimler için sabit tutulması gerekir. Örneğın; basınç, sıcaklık, ısı, ışık, frekans, zaman gibi deney sonucunu değiştirebilecek unsurların eşit koşullarda deneye katılması sağlanmalıdır.

Faktörün Perdelenmesi: Eğer deney ortamında olağan dışı uygulamalar olacak ise bu olağan dışı durumu rutin bir uygulama biçimine dönüştürmek gerekir. Ortamda çalışan diğer makinaların çalışması ile deney yapılan düzeneğın elektriksel değerlerinin ve dolayısı ile deney sonucu bazı deneylerde farklılaşacak ise; bu yapılan çalışma sonrasında doğru sonuca gidilmesini engeller. Bu tarz durumlarda, değişkenlik oluşturacak bileşen, ilave bir düzenek ile stabil hale getirilmeli, yani kontrol altına alınmalıdır.

Ortak Değişkenlerin Ölçülmesi: Kendileri bir faktör değişken olmamakla beraber bağımlı değişken ile ortak değişim içinde olan değişkenler (covariate) olabilir. Ortak değişkenlerin de ölçülerek modele katılması ve analizde yer alması gerekebilir. Ortak değişkene göre düzeltilmiş bağımlı değişkenlerin faktör değişkenlerden etkilenme biçimleri istatistiksel olarak ortaya konabilir. Örneğın; test edilen düzenekte hızın

artması, parçanın sıcaklığının artmasına, genişmesine ve sürtünmenin artmasına ve uygulanan kuvvete ilave bir direnç oluşmasına sebep olabilir.

Farklı Koşullarda Denemelerin Tekrarlanması: Eğer koşullardan bazıları eşitlenemiyor ya da kontrol altına alınamıyorsa denemenin farklı koşullarda tekrarlanması gerekir. Örneğin; farklı iklim koşullarında aynı performansı elde edilmesi istenen bir tasarımı, olası koşullarda deneye tabi tutarak etkileşim ve değişkenlik değerleri değerlendirilebilir.

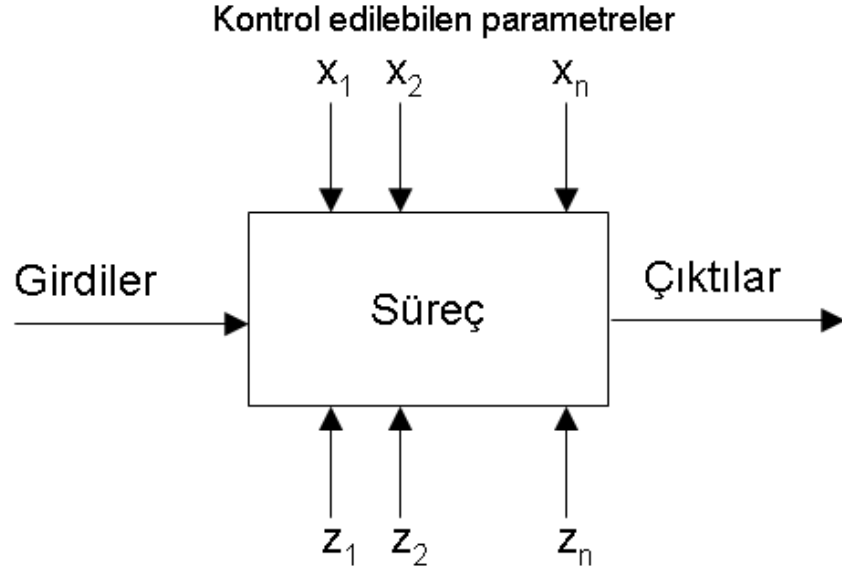
Deneyde değiştirilmesi mümkün olmayan bazı faktörler, mevcut koşullar göz önüne alınarak ölçülür ve deneye katılması sağlanır. Bu şekilde sistematik hata kaynaklarının etkisi en aza indirgenmiş veya yok edilmiş olur.

3.3.2. Deney Tasarımında Maliyetlerin Göz Önüne Alınması

Birçok endüstriyel uygulamada, maliyet ve iş gereklilikleri sebebi ile deney sayısının azaltılması istenmektedir. Buna, yapılan deneyin hatalı olması da ilave edilir ise, proje yöneticilerinin, bu çalışmaya yaptığı destek azalabilmektedir. Birçok büyük işletmede, bilhassa deney maliyetinin pahalı, tekrarının zor olduğu sektörlerde (ağır metal işleri, makinanın durdurulmasının sürece ait diğer makinaları durduracağı işletmelerde, yüksek devir hızı ve kısa tedarik süresi ile çalışan, iş talebini ancak tam kapasite çalışarak karşılayabilen işletmelerde) deneyin bir proje gibi kurgulanması gerekmektedir.

Deney maliyetleri hesaplanırken, sadece deneyin işlem maliyeti (işçilik ve o makinaya ait kayıplar) değil, toplam maliyet göz önüne alınmalıdır. Bazı uygulamalarda, sadece maliyet üzerinden değerlendirme yapılmakta ve çalışma sadeleştirilmektedir. Bu yaklaşımda, zaman, çalışılmayan zamanın kaybettiği üretim ve fırsat kayıplarının toplamı ile çarpılmakta ve elde edilen değer, göz önüne alınan diğer deney maliyetlerine ilave edilmektedir.

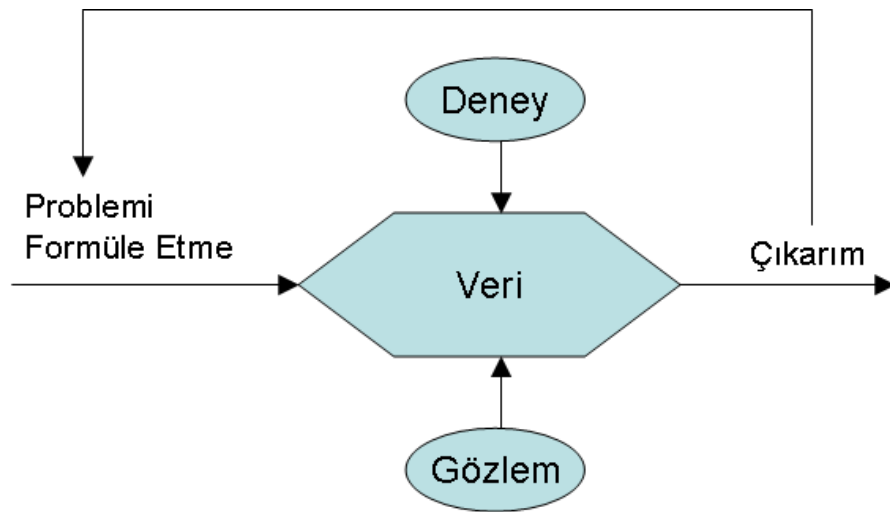
Genel olarak deneyler, sistemin ya da sürecin performansını ölçmede de kullanılır. Bir deney modeli Şekil 4'de gösterilmiştir. Burada deneyin gerçekleştirilmesi sürecinde, deneyde kullanılacak parametreler bir takım girdilerdir. Bunlar makina, teçhizat, yöntem ve insan kaynakları gibi girdi türleri olabilir.



Şekil 4 Bir sistem ya da sürecin genel modeli (Montgomery, 2001)

Girdi değişkenlerinin bir kısmını değiştirmek mümkün olamamakta, bazı durumlarda ise girdiler ekonomik anlamlılığı sağlamamaktadır. Deney çalışmasında, deneye etkisi bulunan faktörler göz önünde tutulmalı ve değerlendirme bunun ışığında yapılmalıdır.

Deney tasarımı çalışmasında, toplam çalışmanın başarımını ölçebilmek için bazı kriterler kullanılabilir. Bunlar deneme sayısı, deneyin zamanlaması ve deneyin toplam maliyetidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda, doğru bir deney stratejisinin oluşturulması önerilmektedir (Lazic, 2004). Deney çalışmasının süreç mantığı Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5 Bilimsel çalışmalarda istatistiksel girdi düzeyi

Sürekli gelişim döngüsü (PUKS), deney tasarım çalışmalarında uygulanmaktadır. Her çıktı, bir sonraki deney için revizyon fırsatı olmakta, sonuçta, elde edilen başarımlar artmaktadır. Yani geri besleme söz konusudur.

3.4. DENEY TASARIMI UYGULAMA ADIMLARI

Başarılı bir deney tasarım çalışması için on dört temel adım uygulanmalıdır. Bu adımlar aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1. Problemin Seçimi

Deney tasarlamak için problem seçilmeli ve sözlerle ifade edilmelidir. Problemin seçilmesi ve hedefin ifadesi deney tasarımını ve çıktıları doğrudan etkileyecektir.

Bir problemin sözlerle ifadesindeki en basit ve yaygın yöntem 5N1K (Ne, Ne zaman, Nerede, Neden, Nasıl, Kim) olarak bilinen, kim, neyi, ne zaman, niçin ve nasıl sorularına cevap verebilmesini sağlayarak yapılır. Otomobil kazaları ile ilgili toplanan verilerle bir problemi ifade etmek istediğimizi düşünelim. Problemin nasıl ifade edildiğine bağlı olarak deney yeni otomobil ya da yeni bir yol kaplamasına hizmet edebilir. Elde edilen sonuç; bu ikisinden biri hakkında bir bilgi, sonuç oluşturabilir.

Aynı bilgi kümesi kullanılmış olmasına rağmen problemin nasıl ifade edildiğine bağlı olarak deney tasarımının amacı, tamamıyla farklı olabilir. Bilimsel araştırmalar veya deneyler çoğu kez karar vericinin amacı ya da benzer konular göz önüne alınarak tamamlanır. Deney tasarımında, yapılan çalışma için destekleyici unsurlar göz önüne alınmalıdır. Bu şekilde yapılan araştırmanın modeli, daha derin ve kesin olarak açıklayabildiği ispatlanmıştır. Araştırmaya başlamadan önce, araştırma problemiyle ilgili gerekli ayrımların yapılması gereklidir.

İlk ayrım; durum ve süreç (proses) arasındaki ayrımdır. Bu ikisi farklı şekilde tasarımı yapılmasını gerektiren araştırma problemleridir. Durum problemleri, verilen bir durumda yaşanan olay ile ilgilidir.

Buna karşıt olarak süreç problemlerinin konusu zaman içinde değişen olayları kapsamaktadır.

Örneğin; 8 yaşındaki kızların yaratıcılık hüneri (kabiliyeti) tanımıyla ilgili durumu, araştırma probleminin bir durum problemi olduğunu gösterir. Fakat

inceleme konusu 2 yaşından ergenlik dönemine kadar olan çocukların yaratıcılıklarının tanımlanması ile ilgiliyse, araştırma konusu bir süreç problemi olarak sınıflandırılmalıdır (Ader ve Mellenbergh, 2008).

Deney tasarımlarında, problemlerinin sınıflandırılmasında araştırmacıların gerçekçi araştırma tasarımlarını bulmalarına yardım etmek için ikinci bir ayırım daha yapmak mümkündür. Bu sınıflandırma; tanımlama, keşfetme, kestirim ve hipotez testleri yapılmış, sonuç olarak onlar araştırma problemleri arasında bir matris yapısı oluşturulmuştur.

Bu araştırma problemi tablosu kullanılarak problemlerini sınıflandırabilir ve sonraki adım olarak uygun araştırma tasarımını yapılabilir (Ader ve Mellenbergh, 2008).

Tablo 2 Genel İş Süreçlerinin Çevrimiçi ve Çevrimdışı Uygulamaları

	Tanımlama	Keşfetme	Kestirim	Hipotez Testleri
Durağan	Durum açıklaması	Durumun keşfedilmesi	Durumun kestirilmesi	Durum hipotez testi
Süreç	Süreç açıklaması	Sürecin keşfedilmesi	Sürecin kestirimi	Süreç hipotez testi

3.4.2. Bağımlı Değişkenlerin Belirlenmesi

Bağımlı değişkenler, değerleri diğer değişkenlere bağlı olan değişkenlerdir.

İlk olarak bağımlı değişkenler, sistem seviyesi ve daha alttaki birimsel seviye olmak üzere farklı alt kategorilere ayrılmalıdır. Sistem seviyesinde, sorular deneyin uygulanması ile ilgilidir. Bu seviyede deneyin gerçekleştiği durum göz önüne alınmalıdır. Sistem seviyesi değişkenleri elde edilen sonucun güvenilirliğini etkileyen veya destekleyen değişkenlerdir. Bu yaklaşımla, örneğin, deney çalışmasının belli bir bölümünün kaç kez tekrar edileceği belirlenir. Birimsel seviye daha çok ölçüm sonuçları ile ilgilidir. Birimsel seviye bağımlı değişkenleri indirgenebilir ve analiz edilebilir ölçümlere ihtiyaç duyar. Deney, aynı işlemler ve değerler sonucunda aynı sonuçları alacak şekilde tekrarlanabilir olmalıdır. Bu ise, ancak deney koşullarını ve tekrarlanabilirliğini bozacak risklerin tamamen ortadan kalkması sonrasında mümkündür. Deney sonuçları tekrarlanabilir deneysel çalışmanın verilerinden oluşmalıdır. Örneğin; bir işlemin tamamlanması için gerekli

olan zaman sağlanmalıdır. Sistem seviyesi ve birimsel seviye bağımlı değişkenlerinin her ikisi de elde edilen verinin somut olmasını gerektirir.

Bağımlı değişkenler deney sonucunda yapılan ölçümlerden elde edilir. Bir deneyin sonucunda çok sayıda bağımlı değişken elde edilebilir.

Bağımlı değişkenler, performans ölçümlerini de kapsmalıdır. Belli sayıdaki deneyin ne kadar hata ile ne kadar sürede tamamladıkları, katılımcıların deney metodunu tercih edip etmedikleri gibi ölçümler buna örnek olarak verilebilir.

3.4.3. Bağımsız Değişkenlerin Belirlenmesi

Bağımsız değişkenler, deneyde manipüle edilebilen değişkenlerdir. Deneysel araştırmanın tasarımına odaklanıldığında, “bir ilacın dozu” veya “gerilim miktarı” gibi bağımsız değişkenleri manipüle etmeye ihtiyaç duyulur. Öte yanda, eğer araştırma tasarımı, deney tasarımı değil ise, bağımsız değişkenler manipüle edilmemelidir. Örneğin; bir araştırmacı, deneye katılanların sosyo ekonomik durumları ile sigara içicilikleri arasındaki ilişkiyle ilgilenebilir. Bu örnekte; sosyo ekonomik durum, manipüle edilemez, halihazırda gözlenebilir bağımsız değişkendir. Bağımsız değişken, çıkış değişkenini etkileyen değişkendir. Diğer değişkenin ise, kategorisini iyi belirlenmesi gerekecektir, çünkü bu örnekteki şekliyle, bağımsız değişkenlerle karıştırmaya meyilli bir değişkendir.

Bazen yaş ve ırk gibi değişkenler tasarıma dahil edilir. Çünkü araştırmacı bunların sonuç çıktı değişkenlerine etki etmeyeceğini fakat daha ileriki keşiflerde bağımsız değişkenle sonuç çıktısı arasındaki ilişkiyi belirlemek ister. Bu değişkenlere temel (background) değişken adı verilir. Örneğin; temel değişken olarak, yaşın tıbbi tedaviye etkisi (bağımsız değişken), hastaların sağlık koşullarının (çıktı değişkeni) değişik yaş grubundaki hastalara etkisini ayırt edebilmek için kullanılabilir.

3.4.4. Bağımsız Değişken Seviyelerinin Belirlenmesi

Bağımsız değişkenlerin seviyelerinin sayısı, yönlendirilmek istenilen deneyin koşullarının sayısını belirler. Önemli olan deneyin kapsamının genişliğidir. Örneğin, eğer deney, 10 otomobilin bağıl performansını test etmek için tasarlanıyorsa, bağımsız değişkenin on seviyesi olacaktır.

3.4.5. Mümkün Kombinasyonların Belirlenmesi

Bağımsız değişkenler arasındaki kombinasyon tipleri deneyin geçerli olacağı şekilde yapılmalıdır. Daha önceki örnekteki otomobilleri göz önüne alırsak, otomatik vitesli model A ile manuel vitesli model B'yi karşılaştırmak mantıklı olmayacaktır. Bu yüzden mümkün/mantıklı olan kombinasyonların yapılması önemlidir.

3.4.6. Gözlem Sayısının Belirlenmesi

Tek bir gözlemin yapılması, deney tasarımı sonuçlarının yorumlanabilmesi için yetersiz olacaktır. İstenilen analize bağlı olarak, gözlem sayısının belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken belirli/bilinen faktörler vardır. Bu faktörlere deney yapılan sistemin belirsizliği, çevresel etkiye maruz olması durumu, kullanıcı hatası yapılma olasılığı gibi faktörler örnek olarak verilebilir. Deney sayısı, anlamlı istatistiksel bilgi sağlayacak kadar çok fakat aşırı miktarda olmamalıdır.

3.4.7. Yeniden Tasarım

Optimal tasarım için; yeniden tasarım gereklidir. Mevcut deneysel tasarımda uyumsuzluk veya hata bulunduğunda onu düzeltmek için yeniden tasarım çalışması yapılmalıdır. Örneğin; yanlış değişkenlerin seçilmesi ve gerekli aygıtların elde edilemediği durumlarda yeniden tasarım çalışması yapılmalıdır. Deney tasarımı için tavsiye edilen zaman dağılımı şu şekildedir;

- % 45 – Planlama ve programın yapılması
- % 5–10 – Test
- % 45–50 – İndirgeme, analiz ve raporlama

3.4.8. Rassallaştırma

Rastgele kontrollü denemeler gerekli verinin belirlenmesinde en adil ve güvenilir yöntem olarak kabul edilir. Rassallaştırma işleminde, araştırma sürecine katılanların seçimi, rastgele yapılır. Bu araştırma ve kontrol gruplarında da böyledir. Normal olarak gruplar denemeye göre; somut bilgi toplamak amacıyla yaşa, cinsiyete veya eğitime göre organize edilir. Gerekli durumlarda düzenleme yapılır. Rassallaştırma süreci, sonuçları yönlendirilmemiş bir çalışma yapılmasını sağlar.

Bazen çalışmanın rassallaştırılması, kontrol edilemeyen bir bileşen sebebi ile çözümü imkansız hale gelir. Belirli iklim koşullarında, en yüksek performansla çalışacak bir cihaz için, o koşulları sağlamayan ortam deney tasarımına dahil edilmez.

Kontrol edilemeyen bazı bileşenler kestirim değişkenleri ile değerlendirmeye alınabilir. Yapılan çalışmanın başlangıç ve sonundaki eğilimler, kontrol edilemeyen bileşenden en çok etkilenen faktör ve bu faktörün etkilenme şekli ile oranı deney tasarımını uygulamak için bazı alternatifler sunar.

3.4.9. Ahlaki ve Yasal Gereklilikler

İnsan, hayvan ve çevreyi ilgilendiren çalışmalarda, ahlaki ve yasal koşullar korunmalıdır. Yapılan deney ve sonunda çıkacak etkileşimlerin, zararlı olmamasına dikkat edilmelidir. Bu konuda, yapılan bazı tıbbi deney tasarımlarının olumsuz örnekleri mevcuttur.

“Milgram Deneyi” olarak adlandırılan ve Psikolog Stanley Milgram tarafından 1961 yılında yapılan deney tasarımında, deneklerin, “emir ve itaat” konusunda etkileşimi izlenilmiş, deneklerin şiddet de içeren eylemlere girmeleri konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Bir diğer olumsuz sağlık örneği ise, kayıtlara Tuskegee Frengi Deneyi olarak geçen, ABD Halk Sağlığı Hizmetleri tarafından 1932-1972 tarihlerinde yürüttüğü deneylerdir. Bu deneylerde, fakir sosyoekonomik yapıya sahip, zencilerden oluşan 399 kişi üzerinde frengi üzerine denemeler yapılmıştır. Deney sonucunda deneklerin ve eşlerinin sağlığını kaybetmelerine yol açılmıştır (Centers for Disease Control and Prevention, 2009).

3.4.10. Matematiksel Model

Denemenin geçerli olduğundan emin olmak için bütün sistemi kapsayacak bir matematik model geliştirilmesi faydalı olacaktır. Matematiksel model, bir sistemi ya da sistem davranışını matematiksel olarak temsil eden denklemler takımıdır. Bu şekilde anormal ve faydalı olmayan fikirler kolayca ayırt edilebilir. Deney, geçerli matematik prensipler üzerine inşa edilirse bütün yönleriyle mantıklı ve pratik olduğundan emin olunur.

3.4.11. Veri Toplama

Deneysel tasarımının başarımının sağlanması, gerçek ve sağlam veriye dayanmaktadır. Ham verilerin toplanması deneysel koşulları içermelidir. Verilerin, bu koşullarda toplanan ilk halinin büyük ve hantal olması beklenir.

3.4.12. Verinin İndirgenmesi

Çalışmanın bu aşaması ham verilerin ayıklanarak sadeleştirmeye gidildiği aşamadır. Toplanan verilerin tamamı kullanılabilir değildir. Yapılacak ayıklamada, ayıklanacak unsurların deney sonucunu etkilemeyeceğine emin olunmalıdır.

3.4.13. Verinin Doğrulanması

Bütün deney tasarımı sürecinin en önemli parçası veri doğrulama aşamasıdır. Bu genellikle indirgenmiş veriler işaretlenerek yapılır. Bu işlem deney tasarlama merkezden uzak muhtemelen hatalı verilerin görsel olarak belirlenmesine imkan sağlar. Eğer veriler, çarpıklık içeriyor ise; deneycilerin yeniden tasarım sırasında metodlarını yeniden tasarlamaları veya bulgularının gerçekliğini kontrol etmeleri gerekmektedir.

3.4.14. İstatistiksel Kontrol

Deneysel tasarımın, sebeplere dayandırılmış bir istatistiksel kontrol uygulamasına tabi tutulmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda uygun bloklama, yeniden uygulama, rassallaştırma başarılı bir deneysel tasarım uygulamasını mümkün kılar.

4. DENEY TASARIMI ÇEŞİTLERİ

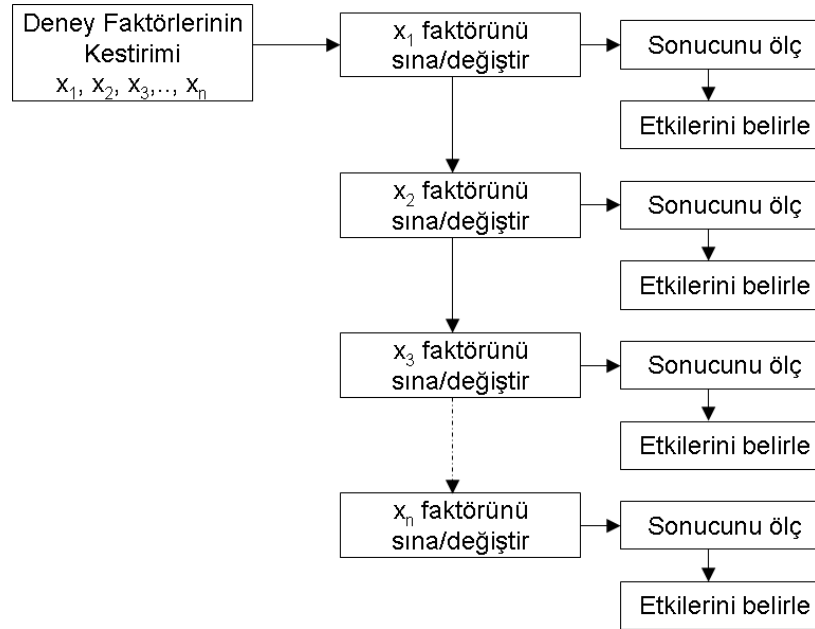
Deneysel tasarımın, uygulama alanına ve ihtiyaçlara göre farklı uygulanması gerektiği bilinmektedir. Bu çerçevede deneysel tasarımı çeşitlerini sınıflandırmak gerektiğinde bunları aşağıda gösterilen belli başlı iki başlık altında toplamak mümkündür.

- i. Klasik (Pasif) deneysel tasarımı yaklaşımı,
- ii. İstatistiksel (Etkin) deneysel tasarımı yaklaşımı,

Bu yaklaşımlar, bir çok farklı yöntem kullanılarak, iş hayatında kullanılmaktadır.

4.1. KLASİK DENEY TASARIMI

Klasik deneysel tasarımın çalışma prensibi, bir faktörün değiştirilerek diğerlerinin sabit tutulması şeklinde gerçekleşmektedir. Değişiklik yapılan faktör, var yok, az çok gibi farklı değerlere getirilerek, sonuçlar gözlenir.



Şekil 6 Klasik yöntemle faktörlerin sınılanması (Gökçe ve Taşgetiren, 2009)

Klasik deneysel tasarımı yaklaşımında, bağımlı değişken üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin birbiriyle etkileşimi dikkate alınmaz. Tüm etkiler faktör ve değerleri olarak ikiye ayrılır. Farklı denemelere tabi tutulur. Bir faktör denenirken,

diğer faktör ve faktörlerin bileşimi tepkimelerden etkilenmediği, incelediğimiz faktörün tamamen ayırık olduğu kabul edilerek yapılır.

Klasik yöntemde elde edilecek başarımla, diğer yöntemlere göre düşük olsa da, basit uygulamalar için pratik bir çözüm olarak tercih edilebilmektedir. Aşamaları

- Faktörlerin belirlenmesi,
- Tek tek, her faktör için başlangıç değeri tespit edilir,
- Diğer faktör(ler) değiştirilmeden belli bir değerde kalmaları sağlanır,
- Seçilen faktörün etkisi farklı değerler için ölçülür. Sonuca etkisi sorgulanır.
- Diğer faktörler, tek tek aynı süreçten geçirilir.

Klasik yöntemde, yapılan deney tasarım çalışmasında, etkileşimin göz ardı edilmesi, iklimsel, mevsimsel ve kullanıma yönelik değişimlerin, deney yapılan unsurun etkilerinin yeterince kavranmasına sebep olur. Bu ise endüstriyel uygulamalarda istenmeyen bir durumdur. Tasarlanan, üretilen bir ürünün, farklı ortamlarda farklı performans göstermesi, kuruluşlar ve kullanıcılar için tercih edilmeyen bir çok soruna yol açabilmektedir.

4.2. İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI YAKLAŞIMI

İstatistiksel deney tasarımı yaklaşımı faktörleri, etkileşimler de göz önüne alınarak inceler. Etkilerin sonuçlarını değerlendirirken, gerçekte en önemli unsuru ve uygun çalışma değerini işaret eder.

Klasik deney tasarımında, gözlemlenmesi mümkün olmayan bir çok özelliği, istatistiksel yaklaşımla tespit etme imkanı mümkündür.

İstatistiksel deney tasarımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar deneyin amacı, deneysel koşulların ve maliyetlerin doğrultusunda olabildiği gibi, sektörel zorunluluklardan dolayı da kullanıcının tercihi doğrultusunda seçilmektedir.

Yapılan çalışmada, en çok bilinen ve kullanılan tam ve kesirli faktöryel deney tasarımları ile Taguchi yaklaşımı ile yapılan deney tasarımı, diğerlerine göre daha ayrıntılı olarak sunulacak.

4.2.1. Tam Faktörlü Deney Tasarımı

Deneysel sonucu etkileyebilecek faktör sayısının birden fazla olduğu durumlarda, bu faktörlerin ve tüm etkileşimlerinin incelenmesi durumunda kullanılan bir yaklaşımdır.

Diğer tasarım yöntemlerinde olduğu gibi, tam faktörlü deney tasarımı da deneyin tekrarlanabilirliği, rastlaştırılmış olması ve bloklanmasıdır (Hinkelmann, 2005). Tam faktörlü deney tasarımında tüm seçeneklerin göz önüne alınması hedeflenmektedir. Bu sebeple, deneye tüm bileşenler bloklanmış olarak yansıtılır. Bu şekilde, bloğun tüm özellikleri analiz edilebilir ve deneysel hataların deneyi olumsuz etkilemesinin önüne geçilir.

Tam faktörlü deneyler, en az iki faktörün, yine en az iki düzeyde incelendiği deneylerdir.

Tablo 3'te 2 seviyesi olan 3 faktörün dağılımı görülmektedir. Her bir faktör için 2 farklı değer göz önüne alınmış, bunların kombinasyonları tespit edilmiştir.

Tam faktörlü deney tasarımları şu adımlarla gerçekleştirilir:

a) Problemin Tanımlanması

Problem, birden fazla bileşeni ve birden fazla düzeyde çalışma ihtimali olan sürecin, sonuç olarak hedeflenen amaca en uygun olan çıktısını oluşturacak koşulların tespit edilmesi olarak tanımlanır. Bazı durumlarda, seçenekler kendi içinde sorgulanması ve kabul edilebilir optimum noktaların tespit edilmesi gerekmektedir.

Bir çok hedef değerinin tespit edilmesi mümkün değildir. “En hızlı, en ucuz, en az maliyetli, en sert, en az enerji harcayan, en az yıpranan” gibi hedefler belirlenebildiği gibi, bilhassa tersine mühendislik uygulamalarında, rakiplerin eriştiği değerler bir kilometre taşı olarak kullanılabilir.

b) Ölçüm Yöntemi ve İçeriğinin Belirlenmesi

Ölçüm yöntemi, deneyin problemin tespiti kadar önemli bir unsurdur. Ölçüm yöntemi, ölçülen nokta, ölçüm zamanı, ölçüm cihazı ve bunun doğruluğu, kalibrasyonu, ölçüm belirsizliği gibi bir çok unsurun düşünülmesi ve planlanmasını gerektirir.

Bazı ölçümü zor noktalar için bazen özel düzenekler ve ekipmanlar gerekebilmektedir. Fırın içindeki ısı dağılımının veya ayağın ortopedik ölçüleriyle ilgili yük binme dağılımının ölçümü gibi özel durumlar ile açık hava deneyleri buna örnek verilebilir.

Ölçüm belirsizliği, göz önüne alınması gereken başka bir unsurdur. Ölçülen noktanın ölçüm sırasındaki salınımları ile ölçüm cihazı tolerans değerleri arasındaki belirsizliği göz önüne almalı ve sonuçların doğru saptanabileceği bir çözüm bulunmalıdır.

Ölçüm içeriği, ölçüm sonunda elde etmek istenilen sonucun ölçülmesidir. Bu ölçümlere, eğer var ise, çevresel değişimler de ilave edilmelidir. Bu sayede, deneyle ilgili analizlerde, ilave değerlendirme imkanlarına da sahip olunur.

Ölçüm sonunda, elde edilmesi hedeflenen değerler ve işlem sırası belirlenmelidir. Ölçüm sırasında yapılacak işlemler ve sıralaması belirlenirken “ne, nerede, nasıl, niçin, ne zaman ve kim” sorularına cevap verecek şekilde hazırlanmalıdır.

Nesnel ölçümlerde, değerlendirmeler için tanımlamalar yapılmalı ve belirleyicilik oranı yükseltilmelidir.

c) Faktörlerin Tanımlanması

Faktörlerin tanımlanması, problemin tanımlanması ile doğrudan ilgilidir. Faktörleri, ulaşmak istediğimizi ortaya çıkaracak şekilde tespit etmeliyiz. Hedef, maliyeti azaltmak ise, maliyet oluşturan bileşenleri ve bunu tetikleyen faktörleri, hız ise, hızı oluşturan unsurlar ve bunu engelleyen faktörler üzerinde değerlendirme yapılması gerekecektir.

Faktörlerin belirlenmesi sürecinde önemli unsurlardan biri, bulunan faktörlerin azaltılması, indirgenmesi, biri diğerinin türevi olan bileşenlerin enazlanmasıdır. Faktör sayısının azalması, maliyeti, gereksiz deneylerin yapılması ve deney süresinin azalmasını sağlayacağı gibi, yapılacak analizleri de basitleştirecektir.

d) Düzeylerin Tespiti

Düzeyler, elde edilmek istenen sonucu etkilemektedir. Deneyin doğruluğunun tespiti için, bu düzeylerde birden fazla deney yapılması gerekliliği, düzey sayısının faktör sayısı ile deney sayısının belirlenmesini sağlayacaktır. Bu ise; maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Maliyetlerin azaltılması ve deneysel çalışmanın başarımı düzeylerin tespiti ile doğrudan ilgilidir.

Düzeyp tespit etmek, yapılan işe ait, geçmiş değerlerin olması, tespit eden kişilerin tecrübesini gerektirmektedir. Aksi taktirde, deneme yanılma ile yapılacak tespitler, deneysel çalışmanın hedeflerine ulaşmasını engelleyecektir.

e) Faktörler Arasındaki Etkileşim

Faktörler arası etkileşim, deney sonucunu etkileyecek önemli bir durumdur. Seçilen herhangi bir faktörün etkisi, diğer faktörlerden biri veya birkaçının düzey değerine bağımlı ise bu faktörler arasında etkileşim olduğu ifade edilir. Faktörlerin, hedeflenen başarımlı doğrultusunda, birer katalizör gibi kullanılması, etkileşimin oranı ve deneye katkı şeklidir. Pozitif katkısı olanlar tercih edilip, negatif etkisi olanlar kontrol edilmeli, mümkün ise deney bileşeni olmaktan çıkarılmalıdır.

f) Deney Tablosunun Oluşturulması

Tam faktörlü deney tasarımında, faktörlerin tek tek ve birlikte tüm seviyeleri göz önüne alınır. Amaç, faktörlerden veya seviyelerden birinin gözden kaçmamasıdır. Tablo yapılması, sonucu görme ve derleme açısından, uygulayıcılara kolaylık sağlamaktadır. Tablo 3'te 3 faktörlü ve 2 seviyeli bir deney tasarımına ait deney tablosu ve ne şekilde doldurulacağı gösterilmiştir.

Deney sayısı faktör ve seviye sayısına göre hesaplanır.

$$\text{Deney Sayısı} = s^f$$

Deneyde uygulanmak istenen seviye sayısı, faktör sayısı kadar çarpılarak deney sayısı bulunur. Buradan da görüleceği gibi, deney sayısının bu şekilde artması, deneyin sonucunun alınma süresinin uzamasına, maliyetlerin artmasına aynı oranda yansımaktadır. Birçok sanayi uygulamasında bu artış, kesirli faktörel yöntemin tercih edilmesine sebep olmaktadır.

g) Deney ve Destek Koşullarının Oluşturulması

Deneyin, ortam koşullarından bağımsız ve bağlantısız olması, ön hazırlıklarının yapılması gerekmektedir. Bu işlemler;

- Deney araçlarının temini,
- Deney süresinin tespiti,
- Gerekli adam gücünün tespiti,
- Güvenlik gerekliliklerinin tespiti,
- Ölçüm cihazlarının tespit ve temini,
- Atelye sürecinden ayrık bir ortamın oluşturulması,
- Zaman planının hazırlanması,
- Deney öncesinde, sırasında ve sonrasında gerekli sorumlulukların belirlenmesi ve atanması,
- Deney için ilgili birimlerle konuşulması,
- Deney sonrası, atelyenin eski düzeneğe kavuşması için düzeltme planı ve sorumluluklarının belirlenmesi

h) Deneylerin Yapılması

Deney, plan doğrultusunda yapılır. Deney esnasında, yapılması gerekli ölçümlerin yanı sıra, deneyin yapıldığı ortam özellikleri de not edilir. Çalışanların, yeni sisteme yaklaşımı, hava sıcaklığı, göze alınmayan diğer tespitler, riskler ve yeni fırsatlar gözlemlenmeli ve raporlanmalıdır.

i) Sonuçların Tabloya İşlenmesi

Deney aşamasında, iş sağlığı ve güvenliği koşulları göz ardı edilmemelidir.

Sonuçlar, hazırlanan deney tablosuna işlenir gerekli hesaplamalar yapılır. Tablo 3'te L8 deney tablosu verilmiştir. Deneylerin, sonuçlarında, göze çarpan bir farklılık

olması durumunda, bu aşamada sorgulanmalı, gerekiyor ise, o seviye ve faktörler için deney tekrarı yapılmalıdır.

j) Sonuçların Analizi

Sonuçlar; hedeflenen değeri yorumlayacak belirtiler verecek seviyede ise, doğrudan çözüme gidilir. Buna karşılık, deney sayısının çok olduğu, etkileşimin söz konusu olduğu durumlarda, rakamların da yakın çıkması, verilerin üzerinde daha farklı incelemeler yapılması gereksinimine sebep olabilir.

Ölçüm ve deney sayısının fazla olduğu çalışmalar istatistiksel olarak, daha zengin bir inceleme yapma imkanını da sunmaktadır.

k) En uygun faktör/seviyenin Belirlenmesi

En uygun faktör ve seviye kurgusu bazen uygulanması mümkün olmayan sonuçlar doğurmaktadır. Maliyeti en aza indiren yapıyı öngörmek gerekmektedir. Deney sayısının ve maliyetinin artmasına faktörler arası etkileşim yol açmaktadır. Ayrıca, bölüm 3.4 alt bölümlerinde görülen koşulların sağlanamadığı, iş sağlığını riske sokan durumlar, deney tasarımının uygulanabilir sonuçları algılanamaz.

Benzer şekilde, bazen iki çok yakın noktada en yüksek başarıyı elde edebiliriz. Burada devreye, işletim maliyetleri girer. Çünkü yapılan deneyin, üretim üzerinde standartlaştırılması sonrasında birçok kez aynı işlem yapılacak ve maliyeti çoklanacaktır. İşlem maliyeti düşük olan en yüksek başarı seviyesi, tercih edilmesi gereken durumdur.

l) Standartlaştırma

Deney tasarımı, bir “en iyi değer”in tespit edilmesini hedefler. Bulunan en uygun değer, üretim standardı olarak kullanılmalı ve uygulamaya dahil edilmelidir.

Bu aşamada, deney tasarım çalışması yapan gurupların, yapması gereken bir diğer işlem, maliyetlendirmedir.

Eski üretim şeklindeki maliyet, kalite ve üretim hızı ile, deney tasarımı sonrasında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı, rakamsal sonuçlar üretilerek yönetime sunulmalıdır.

Bu şekilde sunumlar, yönetimin, bir sonraki deney tasarımına daha fazla destek olmasına, istatistiksel yöntemlere olan inancını arttıracaktır.

4.2.2. Kesir Faktörlü Deney Tasarımı

Birçok durumda, deney maliyetleri ve süresi tam faktörlü deneylerin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Tam faktörlü deneyin, belirlenen kısmi uygulamasını içermektedir. Deney sayısı, kullanım koşulları ve etkileşime göre değişebilmektedir. Deney sayısı, faktör ve seviye sayısına göre değişmektedir.

Deney süresinin ve bütçesinin kısıtlı olduğu durumlarda, tam faktörlü deneylerin sayısı, başarımı fazla etkilemeden azaltılması gerekebilir. Bu tür durumlarda, kesir faktörlü deney tasarımı çalışması yapılır.

Kesirli tasarımlar s^{f-p} formülü ile tanımlanır. Formüldeki “s” her faktör için belirlenen seviye sayısını, “f” faktör sayısını, p ise tam faktörlüde kullanılan kesir değerini verir. Formal olarak, p; eşleştirme tablosundaki jeneratör sayısıdır. P jeneratörlü denklem, tam faktöryel tasarımdaki deney sayısının $1/(s^p)$ miktarı kadar deneye sahiptir.

Örneğin; 2^{5-2} tasarımı, beş faktörlü, iki seviyeli $1/4$ tasarımıdır. Tam faktöryel deney tasarımında 32 deney gerekirken, bu deneyde sadece 8 deney göz önüne alınmaktadır.

Uygulamada, seviye sayısının 2'nin üstünde olduğu deneyler, çözüm için daha zengin bilgi verir.

a) Deney Sayısının Tespiti

Faktör sayısı (A, B, C, D, E, F) 6, seviye sayısı 2 olan bir deney tasarımında, tam faktörlü uygulama ile deney sayısı bir olduğu durumda, $2^6 = 64$ adet deney yapılması gerekir.

Aslında bu deneylerin arasında deney sayısından bir eksik 63 adet etki vardır. Bunların, 6 tanesi ana etki, diğerleri etkileşimdir. Bu örnek için söz konusu olan etkileşimler, Tablo 7'de görünmektedir.

Kesirli Faktöryel tasarımlarında, deney sayısını $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$ gibi oranlarla azaltmak mümkündür. Deney sayısını faktör sayısından bir eksiğine kadar indirmek mümkündür. Fakat bu tarz deneyler, aşırı doymuş deney olarak adlandırılmaktadır (Şirvancı, 1997).

Deney maliyetleri, bölüm, dolayısı ile deney sayısının azalması nispetinde düşmektedir. 6 faktörlü deney tasarımı için, ¼ orantılı düşünüldüğünde, 16 adet deney yapılacaktır.

b) Deney Düzenlerinin Tespiti

Tam faktöriyel uygulamalarda, tüm olasılıklar deney çalışmasına katıldığı için, bir ayrıma gidilmesine gerek yoktur. Buna karşılık, kesirli faktöriyel uygulamalarda, bazı deneylerin yapılmaması, hangi deneylerin yapılması gerektiğinin saptanmasını gerektirir.

Çalışma yapılan faktörlerden bir tanesini diğerlerinin bir aradaki deney sonucuna eşit kabul edilir. A, B ve C'den oluşan deneyin C faktörü seçildiğinde;

$C = AB$ olarak ifade edilir. Burada C, dizayn jeneratörüdür.

Bir deney, faktörünün (A, B, C gibi) veya etkileşiminin (AB, AC, ABC gibi) değerinin kendi değeri ile çarpılması ile özdeşlik elemanı (I) elde edilir.

$$I = A.A = B.B = C.C = AB.AB = AC.AC = BC.BC = ABC.ABC$$

Özdeşlik elemanının, çarpımda etkisi yoktur.

$$A = A.I = I.A$$

$$B = B.I = I.B$$

Tablo 4 Deney Düzeni Tablosu

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
A	I	C	B	B	C	I	A
B	C	I	A	A	I	C	B
C	B	A	I	I	A	B	C
AB	B	A	I	I	A	C	C
AC	C	I	A	A	I	C	B
BC	I	C	B	B	C	I	A
ABC	A	B	C	C	B	A	I

Kesirli faktöryel deney, tam faktöryel deneyin mahlas (alias) yapısı kullanılarak elde edilmektedir. Mahlas yapısı, hangi etkilerin birbirine karşılık geldiği belirlenerek oluşturulur.

Örneğin; beş faktörlü (A, B, C, D, E) olarak tasarlanmış $\frac{1}{4}$ kesirli (2^{5-2}) deneyi, üç faktörlü tam faktörlü deney tasarımına karşılık gelir. Geriye kalan D ve E faktörleri faktörler arasında yapılan işlemlerle elde edilir.

$$D = A*B$$

$$E = A*C$$

Bu iki faktör, tasarımın jeneratör faktörleri olarak adlandırılır. Deney esnasında, D faktörünü etkisini A ve B'nin, E faktörünün etkisini ise A ve C'nin etkileşiminden tahmin edilir.

Kesirli faktöryel deneylerin bir özelliği, tasarım matrisinde, aynı faktörlerin (+), farklı faktörlerin (-) olarak nitelendirilmesidir. Yukarıdaki örnekte, tasarım jeneratörü kullanılması sebebi ile:

$$D = AB$$

$$E = AC$$

Bundan dolayı; ABD ve ACE kolonları (+) olacaktır. Bunun sonucu olarak, BDCE değeri de (+) olmalıdır.

$$I = ABD = ACE = BCDE$$

Kesirli faktöryel tasarımın önemli bir özelliği, ana etkilerin ve düşük etkileşimlerin birbirine çevrilmesini sağlamasıdır. Şekilsel olarak, tanımlanan ilişki hariç tutularak, tanımlanan kelimenin en kısa şekli kullanılmaktadır (Box, Hunter ve Hunter, 2005).

Tablo 5 2^{5-2} Tasarımda Çözünüm Kombinasyonu

Çözünüm Kombinasyonu	I	A	B	C	D = AB	E = AC
de	+	-	-	-	+	+
a	+	+	-	-	-	-
be	+	-	+	-	-	+
abd	+	+	+	-	+	-
cd	+	-	-	+	+	-
ace	+	+	-	+	-	+
bc	+	-	+	+	-	-
abcde	+	+	+	+	+	+

En önemli kesirli faktöryel tasarımlar, III, IV ve V faktörlü tasarımlardır. Üç faktörün altındaki deneylere uygulanan kesirli faktörlü tasarımlar, bu çözümler için faydalı olmamaktadır. Aynı şekilde, beş faktörün üstünde uygulama yapıldığında, çok sayıdaki etkileşim sebebi ile pratik kullanımı sağlamamaktadır.

Tablo 6'da 2 seviyeli deney tasarımları ve çözünürlük açıklamaları yapılmıştır.

Tablo 6 İki Seviyeli Deney Tasarımları ve Çözünürlük

Çözünürlük	Yeterlilik	Örnek
II	Faydalı değildir. Ana etkileri, diğer ana etki tarafından yok sayılıyor.	2^{2-1} ile tanımlanan ilişki I = AB
III	Ana etkiler tahmin ediliyor, fakat bu tasarımda iki faktör arasındaki etkileşimi gözlenemiyor.	2^{3-1} ile tanımlanan ilişki I = ABC
IV	İki faktör arasındaki ana etkileri tahmin etmeye imkan sağlıyor, Fakat ikililer arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için yeterli açıklama vermemektedir.	2^{4-1} ile tanımlanan ilişki I = ABCD
V	Üç (veya daha az) faktörlü tasarımlarda, ana etkiler tahmin edilebiliyor. İki faktörlü tasarımlarda, ikili etkileşimleri de tahmin etmek mümkün.	2^{5-1} ile tanımlanan ilişki I = ABCDE
VI	Dört (veya daha az) faktörlü tasarımlarda, ana etkiler tahmin edilebiliyor. Üç faktörlü tasarımlarda, üç faktörlü etkileşimleri de tahmin etmek mümkün.	2^{6-1} ile tanımlanan ilişki I = ABCDEF

Tablo 7 L8 Hesap Tablosu

Etkileşimler	Kombinasyon	Deney Sayısı	Deneyler
2'li	$\binom{6}{2}$	15	AB, AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF
3'lü	$\binom{6}{3}$	20	ABC, ABD, ABE, ABF, ACD, ACE, ACF, ADE, ADF, AEF, BCD, BCE, BCF, BDE, BDF, BEF, CDE, CDF, CEF, DEF
4'lü	$\binom{6}{4}$	15	ABCD, ABCE, ABCF, ACDE, ACDF, ACEF, ADEF, ABDE, ABDF, ABEF, BCDE, BCDF, BCEF, BDEF, CDEF
5'li	$\binom{6}{5}$	6	ABCDE, ABCDF, ABCDF, ABDEF, ACDEF, BCDEF
6'lı	$\binom{6}{6}$	1	ABCDEF

4.2.3. Taguchi Metoduyla Deney Tasarımı

Her ne kadar, “kayıp fonksiyonu” Ronald A. Fisher tarafından ifade edilmiş olsa da, Taguchi, Fisher’i izleyen ve istatistiksel teoriyi takip ederek “kayıp fonksiyonu” yaklaşımını sanayi uygulamalarında kullanmıştır.

Taguchi, Fisher’in yaklaşımını, sürecin ortalama çıktısını geliştirecek yöntemlerde kullanmak üzere yeniden yorumlamıştır. Fisher’in tarımsal alanda, ürün çıktısını arttıran çalışmasındaki başarı, deney tasarımına olan ilgiyi arttırmaktaydı.

Taguchi’nin sanayiye yönelik uygulamasında, ürün için bir hedef oluşturmak gerekmektedir. Örneğin; bir parçanın üstündeki deliğin çapı veya bir motorun harcadığı elektrik enerjisi gibi hedefler, üzerinde deney çalışması yapılabilecek konulardır.

Taguchi, aynı zamanda, kalitesiz üretimin kökeninde, aşırı yayılmış varyansın olduğunu, bunun sonucu olarak, hedeflenen özelliklerde üretimi sağlayacak başarıya ulaşamadığını da tespit etti.

Taguchi, kalite mühendislerinin, kalite maliyetlerini hesaplamayı anlamaları için, varyans durumundan başlanması gerektiğini savundu. Üretim sektöründeki alışılmış genel bakış, kalite maliyetlerinin, ıskarta ve tamire sebep olan hatalı üretimden kaynaklandığı şeklindeydi. Taguchi, normal değerlerden uzak üretimin, müşteri memnuniyetsizliğine sebep olduğunu, nominal değer geniş olmasının sorun oluşturduğunu, çalışmanın güven aralığında olması tezini savundu.

İstenen nominal değer dışında yapılan ürünler, piyasada müşteri tarafından kabul görmemekte ve geri dönmekteydi. Bu dönüşlerin azalması, maliyetlerin de azalması anlamına geleceği için pazar ihtiyaçları, dolayısı ile müşteri memnuniyeti de artacaktı.

Taguchi üç durumu belirledi;

Küçük hatalar göz ardı edilebiliyor, fakat nominal değerlerin dışına taşan üretimler, yüksek maliyete sebep oluyor idi.

1. Ne kadar büyük ise o kadar iyi (örneğin; tarımsal ürün);
2. Ne kadar küçük ise o kadar iyi (örneğin; kadron dioksit salınımı)
3. Hedefte, minimum varyans (örneğin; istenen çap değerini üretmek).

Taguchi, kayıpları ifade ettiği kayıp fonksiyonunu, gürültü oranı fonksiyonu olarak açıklamaktadır. Taguchi'ye göre hedeflenen sonuca göre, kayıpların yorumu değişmekte, bu sebeple, bunların hesap yöntemleri de farklılık göstermektedir. Bunlar Tablo 8'de gösterilmiştir;

Tablo 8 Taguchi'nin Beklenen Değer Hesaplaması

S/N	Hedef	Y Değeri Bekleneni	Formül
1	En küçük değere ulaşmak	Sıfır	$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$
2	En büyük değere ulaşmak	Sonsuz	$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$
3	En optimum	Belirlenen standart değer	$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{(\bar{y})^2}{S^2} \right)$

Tablodaki hesaplamalar için, Y gözlem değerlerinin ortalamaları ve standart sapmaların değerleri ve standart sapma değerinin logaritmik değerleri hesaplanır. 5 gözlemlili bir uygulama için Tablo 9'da değer tablosu gösterilmiştir.

Tablo 9 Taguchi Yaklaşımı Doğrultusunda 5 Gözlemlili Bir Değer Tablosu

S/N	Gözlem değerleri	Gözlem Ortalaması (\bar{Y})	Standart Sapma (S)	Log S
1	$Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}$	\bar{Y}_1	S_1	$\text{Log}(S_1)$
2	$Y_{21}, Y_{22}, Y_{23}, Y_{24}, Y_{25}$	\bar{Y}_2	S_2	$\text{Log}(S_2)$
3	$Y_{31}, Y_{32}, Y_{33}, Y_{34}, Y_{35}$	\bar{Y}_3	S_3	$\text{Log}(S_3)$
4	$Y_{41}, Y_{42}, Y_{43}, Y_{44}, Y_{45}$	\bar{Y}_4	S_4	$\text{Log}(S_4)$
5	$Y_{51}, Y_{52}, Y_{53}, Y_{54}, Y_{55}$	\bar{Y}_5	S_5	$\text{Log}(S_5)$
6	$Y_{61}, Y_{62}, Y_{63}, Y_{64}, Y_{65}$	\bar{Y}_6	S_6	$\text{Log}(S_6)$
7	$Y_{71}, Y_{72}, Y_{73}, Y_{74}, Y_{75}$	\bar{Y}_7	S_7	$\text{Log}(S_7)$
8	$Y_{81}, Y_{82}, Y_{83}, Y_{84}, Y_{85}$	\bar{Y}_8	S_8	$\text{Log}(S_8)$

Tablo 10 L8 Hesap Taguchi Tablosu Logaritmik Hesap Tablosu

Standart Sıra	Gözlem Değeri	A		B		C		AB		AC		BC		D	
		A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	AB ₁	AB ₂	AC ₁	AC ₂	BC ₁	BC ₂	D ₁	D ₂
1	log(S ₁)	log(S ₁)		log(S ₁)		log(S ₁)			log(S ₁)		log(S ₁)		log(S ₁)	log(S ₁)	
2	log(S ₂)	log(S ₂)		log(S ₂)			log(S ₂)		log(S ₂)	log(S ₂)		log(S ₂)			log(S ₂)
3	log(S ₃)	log(S ₃)			log(S ₃)	log(S ₃)		log(S ₃)			log(S ₃)	log(S ₃)			log(S ₃)
4	log(S ₄)	log(S ₄)			log(S ₄)		log(S ₄)	log(S ₄)		log(S ₄)			log(S ₄)	log(S ₄)	
5	log(S ₅)		log(S ₅)	log(S ₅)		log(S ₅)		log(S ₅)		log(S ₅)			log(S ₅)		log(S ₅)
6	log(S ₆)		log(S ₆)	log(S ₆)			log(S ₆)	log(S ₆)			log(S ₆)	log(S ₆)		log(S ₆)	
7	log(S ₇)		log(S ₇)		log(S ₇)	log(S ₇)			log(S ₇)	log(S ₇)		log(S ₇)		log(S ₇)	
8	log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)		log(S ₈)
Toplam	$\sum \log S$	$\sum \log S_{A1}$	$\sum \log S_{A2}$	$\sum \log S_{B1}$	$\sum \log S_{B2}$	$\sum \log S_{C1}$	$\sum \log S_{C2}$	$\sum \log S_{AB1}$	$\sum \log S_{AB2}$	$\sum \log S_{AC1}$	$\sum \log S_{AC2}$	$\sum \log S_{BC1}$	$\sum \log S_{BC2}$	$\sum \log S_{D1}$	$\sum \log S_{D2}$
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ortalama	$\overline{\log S}$	$\overline{\log S_{A1}}$	$\overline{\log S_{A2}}$	$\overline{\log S_{B1}}$	$\overline{\log S_{B2}}$	$\overline{\log S_{C1}}$	$\overline{\log S_{C2}}$	$\overline{\log S_{AB1}}$	$\overline{\log S_{AB2}}$	$\overline{\log S_{AC1}}$	$\overline{\log S_{AC2}}$	$\overline{\log S_{BC1}}$	$\overline{\log S_{BC2}}$	$\overline{\log S_{D1}}$	$\overline{\log S_{D2}}$
Etki		$\overline{\log S_{A2}} - \overline{\log S_{A1}}$		$\overline{\log S_{B2}} - \overline{\log S_{B1}}$		$\overline{\log S_{C2}} - \overline{\log S_{C1}}$		$\overline{\log S_{AB2}} - \overline{\log S_{AB1}}$		$\overline{\log S_{AC2}} - \overline{\log S_{AC1}}$		$\overline{\log S_{BC2}} - \overline{\log S_{BC1}}$		$\overline{\log S_{D2}} - \overline{\log S_{D1}}$	
Sıra															

Tablo 11 L8 Hesap Taguchi Tablosu Gözlem Ortalaması Hesap Tablosu

Standart Sıra	Gözlem Değeri	A		B		C		AB		AC		BC		D	
		A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	AB ₁	AB ₂	AC ₁	AC ₂	BC ₁	BC ₂	D ₁	D ₂
1	\bar{Y}_1	\bar{Y}_1		\bar{Y}_1		\bar{Y}_1			\bar{Y}_1		\bar{Y}_1		\bar{Y}_1		
2	\bar{Y}_2	\bar{Y}_2		\bar{Y}_2			\bar{Y}_2		\bar{Y}_2	\bar{Y}_2		\bar{Y}_2			\bar{Y}_2
3	\bar{Y}_3	\bar{Y}_3			\bar{Y}_3	\bar{Y}_3		\bar{Y}_3			\bar{Y}_3	\bar{Y}_3			\bar{Y}_3
4	\bar{Y}_4	\bar{Y}_4			\bar{Y}_4		\bar{Y}_4	\bar{Y}_4		\bar{Y}_4			\bar{Y}_4	\bar{Y}_4	
5	\bar{Y}_5		\bar{Y}_5	\bar{Y}_5		\bar{Y}_5		\bar{Y}_5		\bar{Y}_5			\bar{Y}_5		\bar{Y}_5
6	\bar{Y}_6		\bar{Y}_6	\bar{Y}_6			\bar{Y}_6	\bar{Y}_6			\bar{Y}_6	\bar{Y}_6		\bar{Y}_6	
7	\bar{Y}_7		\bar{Y}_7		\bar{Y}_7	\bar{Y}_7			\bar{Y}_7	\bar{Y}_7		\bar{Y}_7		\bar{Y}_7	
8	\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8		\bar{Y}_8
Toplam	$\sum \bar{Y}_i$	$\sum \bar{Y}_{A1}$	$\sum \bar{Y}_{A2}$	$\sum \bar{Y}_{B1}$	$\sum \bar{Y}_{B2}$	$\sum \bar{Y}_{C1}$	$\sum \bar{Y}_{C2}$	$\sum \bar{Y}_{AB1}$	$\sum \bar{Y}_{AB2}$	$\sum \bar{Y}_{AC1}$	$\sum \bar{Y}_{AC2}$	$\sum \bar{Y}_{BC1}$	$\sum \bar{Y}_{BC2}$	$\sum \bar{Y}_{D1}$	$\sum \bar{Y}_{D2}$
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ortalama	$\bar{\bar{Y}}_i$	$\bar{\bar{Y}}_{A1}$	$\bar{\bar{Y}}_{A2}$	$\bar{\bar{Y}}_{B1}$	$\bar{\bar{Y}}_{B2}$	$\bar{\bar{Y}}_{C1}$	$\bar{\bar{Y}}_{C2}$	$\bar{\bar{Y}}_{AB1}$	$\bar{\bar{Y}}_{AB2}$	$\bar{\bar{Y}}_{AC1}$	$\bar{\bar{Y}}_{AC2}$	$\bar{\bar{Y}}_{BC1}$	$\bar{\bar{Y}}_{BC2}$	$\bar{\bar{Y}}_{D1}$	$\bar{\bar{Y}}_{D2}$
Etki		$\bar{\bar{Y}}_{A2} - \bar{\bar{Y}}_{A1}$		$\bar{\bar{Y}}_{B2} - \bar{\bar{Y}}_{B1}$		$\bar{\bar{Y}}_{C2} - \bar{\bar{Y}}_{C1}$		$\bar{\bar{Y}}_{AB2} - \bar{\bar{Y}}_{AB1}$		$\bar{\bar{Y}}_{AC2} - \bar{\bar{Y}}_{AC1}$		$\bar{\bar{Y}}_{BC2} - \bar{\bar{Y}}_{BC1}$		$\bar{\bar{Y}}_{D2} - \bar{\bar{Y}}_{D1}$	
Sıra															

Üretim için Taguchi Kuralı

Taguchi, varyansın yok edecek en büyük fırsatın, ürünün tasarım aşamasında ve üretim aşamasında olduğunu ortaya çıkardı. Bundan dolayı, kalite için oluşturduğu strateji her iki aşamayı da içermektedir. Süreç üç aşamadan oluşmaktadır.

- a) Sistem tasarımı,
- b) Parametre tasarımı,
- c) Tolerans tasarımı,



Şekil 7 Deney Döngüsünde aşamalar (Karbhari, 1994)

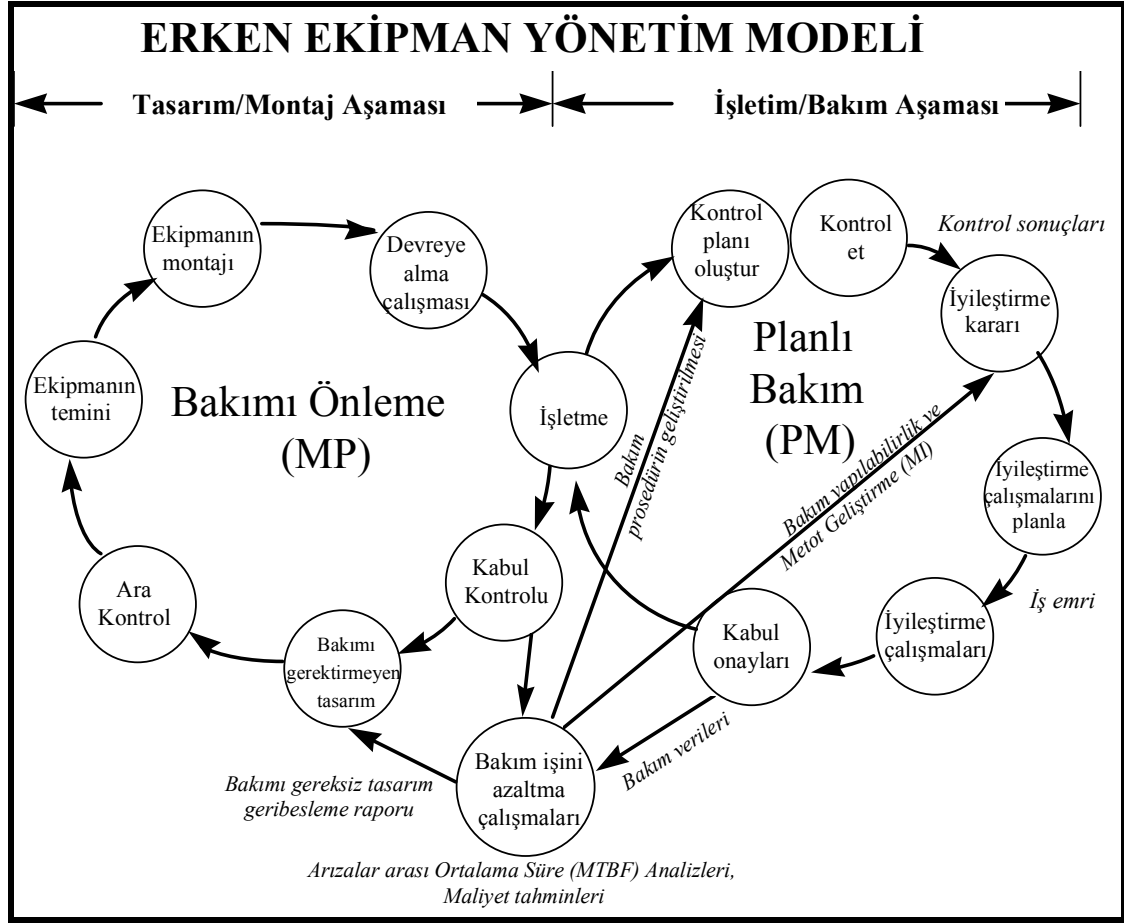
a) Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı kavramsal aşamadır. Bu aşamada, yaratıcılık ve yenilik geliştirme yaklaşımları gereklidir. Eski uygulamaların ve rakip uygulamalarının karşılaştırılması, istenilen kalitede sonuçlarının alınabilmesi için, tasarım aşamasında ürün kadar sistemin tasarımı da önemlidir. Taguchi'nin bu yaklaşımı, benzer Japon yönetim yaklaşımlarında da uygulanmıştır. Şekil 10'da Toplam Üretken Yönetim yaklaşımında, bir makinanın tasarım aşamasında, bakım sisteminin planlanarak arızasız/hatasız makina temin edilmesi hedeflenmektedir (Karadaş, 2003).

Gerekli analizler yapılarak asıl hedefin ne olduğu (ürün kayıplarının en az inmesi ve/veya maliyetin düşmesi ve/veya servis süresinin belli bir kıyas değerinin altına düşmesi gibi) belirlenmelidir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken önemli bir özellik, göreceli hedeflerde, sınırların ve ölçütlerin doğru tespit edilmesidir. "Müşteri memnuniyeti" gibi göreceli

çalışmalarda, memnuniyetin ne şekilde ölçülebileceği ve kabul edilebilir sınırlar tanımlanmalıdır.



Şekil 8 Makinanın Tasarım ve Montaj Aşamasında Bakım Sistem Planlaması

Erken ekipman yönetimi (EEY) yapılan bir tasarım çalışmasında, tasarım yapılan makina veya ürünün ömür boyu maliyetleri (LCC), daha tasarım aşamasında planlanmakta ve gerekli geliştirme çalışmaları ile istenen makul seviyeye çekilebilmektedir. Sonuçta, işletimi kolay, yüksek güvenilirlikte, bakımı kolay, otonom (kullanıcı) bakımına uygun, kurulumu ve yüklemesi kolay, yüksek verimlilikte kaynak kullanımı yapan bir tasarım ortaya çıkabilmektedir.

b) Parametre Tasarımı

Sistem kavramı belirlendikten sonra, çeşitli boyut ve tasarım parametrelerinin uygun değerlerinin (en az, en çok ve nominal) set edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin işlem süresi boyunca olumlu veya olumsuz etkileyecek parametreler tanımlanır. Bunların varyasyonu arttırmayacak şekilde yok edilmesi veya azaltılması yöntemleri geliştirilir.

Bu aşamada; Japon'lar, "iyileştirme" (kaizen) yaklaşımı ile, batının yaklaşımı arasında farklılıklar oluşmaktadır. Batı yaklaşımında, sistem tasarımına varan büyük fakat az sayıdaki geliştirme görülmektedir. Japon yaklaşımında ise; çok sayıda küçük geliştirmenin yapıldığı, sürekli iyileştirme mantığı hakimdir.

Parametreler üzerinde, yapılan geliştirmenin etkisi ile oluşum başarımlarının artışı, bir sonraki hedeflenen değere ulaşmak için zemin teşkil etmektedir. Bu şekilde, kontrol edilemeyen parametreler ve gürültü kaynakları yok edilmektedir.

c) Tolerans Tasarımı

Parametrelerin ve süreç performansı üzerindeki etkilerinin başarıyla tespit edilmesinden sonra, sürecin varyasyonunun düşürülmesi ve kontrolü üzerinde odaklanılmalıdır.

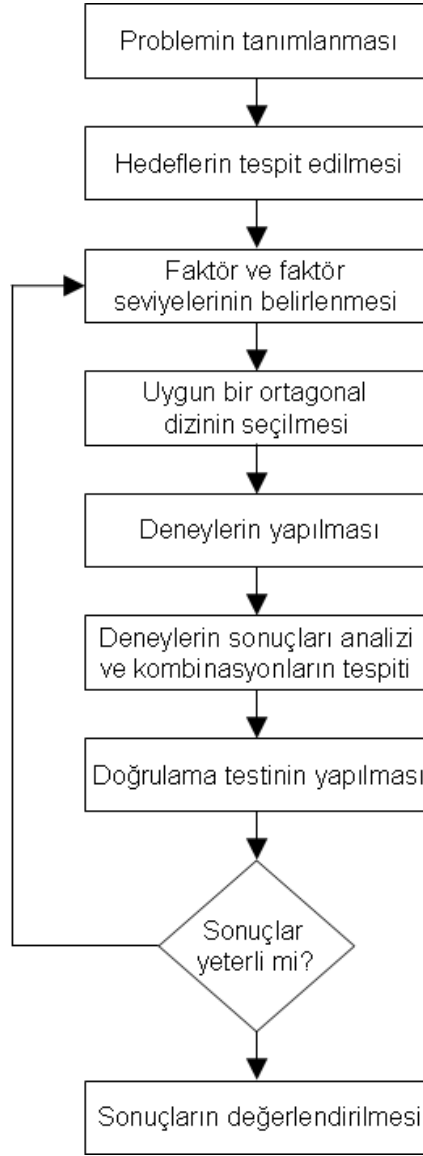
Hedeflerden sapmalar gözlemlenir. Sapma sebepleri üzerinde yapılan çalışmalarda, parametre ve sistem tasarımları da gözden geçirilerek geliştirilebilir. Sistem veya uygulama kaynaklı eksiklik üzerinde geliştirme çalışması yapılır.

Tablo 12 Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu

		Seviye Sayıları			
		2	3	4	5
Parametre Sayıları	2	L4	L9	L16	L25
	3				
	4				
	5	L8	L18	L32	
	6				
	7				
	8	L11	L27	L50	
	9				
	10				
	11	L16	L36		
	12				
	13				
	14	L32	L36		
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				
	21				
	22				
	23				
	24				
	25				
	26				
	27				
	28				
	29				
	30				
	31				
	31				

Taguchi Metodunda Aşamalar

Deney tasarımı uygulamasında şu adımları izlemek, uygulamaya bir disiplin getireceğinden, çalışma başarımını arttıracaktır. Taguchi yaklaşımının süreç akışı Şekil 9'da verilmiştir. Süreçte görüldüğü gibi, yapılan uygulamada, sonuçların yetersiz bulunduğu durumlarda, çalışmada geri besleme yapılarak, uygulama içi iyileştirme yapılabilmektedir.



Şekil 9 Taguchi yaklaşımı sistematığı

Tablo 13'te Taguchi yaklaşımının uygulama adımları ve bunların açıklamaları yapılmıştır.

Tablo 13 Deney tasarımı uygulama adımları

S/N	Uygulama Adımı	Açıklama
1	Faktörlerin Belirlenmesi	Çıktı değişkenini etkileyen ve etkileyeceği düşünülen faktörler belirlenir. Bu ayırmada, geçmiş yıllara dayalı veriler, teknik bilgiler, maliyet unsurları (göstergeleri) ve iş tecrübeleri kullanılabilir. Meslek ve iş körlüğünden kaçınılmalıdır.
2	Faktörlerin Sınıflandırılması ve Derecelendirilmesi	Faktörler, çeşitli biçimlerde, uygulama amacına ve koşullara bağlı olarak sınıflandırılabilir ve derecelendirilebilir. Bunlara örnekler; <ul style="list-style-type: none"> • Kontrol edilebilirlik, • Başarım/maliyet/Süre açısından etki, • İşletmenin teknik yetenekleri, • Müşteri tercihleri,
3	Deney Tablosu Deseninin Belirlenmesi	Faktör sayısı ve seviye bilgisi doğrultusunda deney desen tablosundan hangi seviye bir deney olacağı belirlenerek, koşullar doğrultusunda gerek duyulan desen tercih edilir. Tablo 12’de, söz konusu desen seçeneklerini göstermektedir.
4	Deney Tasarım Düzeyinin Belirlenmesi	Faktörlerin uygunluk kriterleri doğrultusunda belirli düzeyler atanır. Uygulamada, bu atama, faktör belirlenmesi aşamasındaki gibi, geçmiş kayıtlar, teknik yeterlilikler ve çalışan tecrübeleri yardımıyla yapılmaktadır.

Tablo 13 (Devam) Deney tasarımı uygulama adımları

S/N	Uygulama Adımı	Açıklama
5	Deney Tasarım Matrisi Ataması	Tespit edilen faktörler, belirlenen deney tasarım düzeyi için belirli olan standart deney desen tablolarından faydalanılarak deney matrisi belirlenir.
6	Faktör Düzey Karışımlarının Belirlenmesi	Uygulanacak faktör düzey karışımları (kombinasyonları) belirlenir.
7	Uygulama Sırasının Rassallaştırılması	Rassallaştırma, deneyin sağlıklı yapılabilmesi için önemlidir. Deney, rassallığın sağlanacağı bir metot kullanılarak rassallaştırılır.
8	Deneyin Uygulama Planının Oluşturulması	Deneyin uygulama planı (personel seçimi, zaman, ölçme yöntemi vb.) yapılır. Deney Uygulama planı, deneyin tüm koşullarını (süre, maliyet, deney çalışmasının oluşturacağı iş yapmama durumu vs.) içermelidir.

4.2.4. Diğer Deney Tasarım türleri

Sanayide kullanılan diğer deney tasarımları aşağıda belirtilmiştir:

Tam Rassal Deney Tasarımı

Deneyisel sonucu etkileyebilecek faktör sayısının bir tane olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntem aslında klasik deney tasarımı çalışmasına benzemektedir. Buradaki yaklaşım farkı, deney çalışmasında diğer faktörlerin göz ardı edilmesi değil, diğer faktörlerin olmayışıdır.

Bloklanmış Faktörlü Deney Tasarımı

Deney yapılacak koşulların homojenlik içermediği durumlarda, deneyler, kendi içinde ve tutarlı bir şekilde bloklanır. Değerlendirme blok içi ve bloklar arası yapılan

analizlerle değerlendirilir. İstatistiksel sonuç çıkarımın sağlıklı olması için deney tasarımında uyulması gereken bloklama ilkesi, birimleri yapılan çalışmanın amaçlanan ilgi sahasında olmayan ve yardımcı etkenler denen etkenlere göre gruplara ayırmak olup, bloklar içindeki gözlemlerin homojenliğini sağlamaktadır. Bu, ilgilenilen etkenin düzey etkilerinin ortaya çıkarılmasında yardımcı olmaktadır.

Latin Kareler Deney Tasarımı

Bu yöntemde, deney yapılan konu hakkında tecrübe ve ön bilgi önemlidir. Çalışmanın başında tek bir faktör incelenir. Sonrasında 2 faktör ayrı ayrı incelenerek, birbirini etkileyen bir unsur olmadığı göz önüne alınır. Deney sayısının ve koşullarının kısıtlı olduğu, deney azaltarak maliyet düşümü yapılmak istediğinde kullanılır.

İç İçe Deney Tasarımı

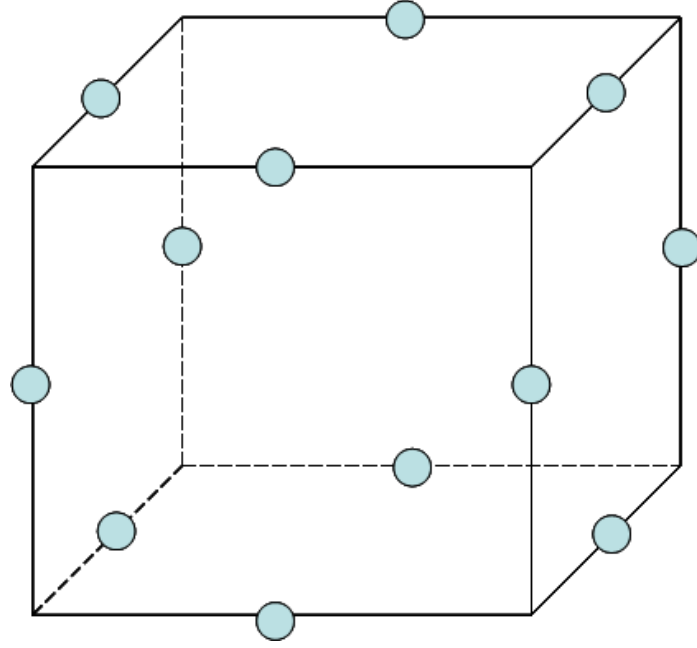
Faktör düzeylerinin birbirini etkilediği ve bağımlı olduğu durumlarda kullanılır. Aşamalı bir çalışma gerektirir. Deneyin sıralaması adım adım belirlenmeli ve disiplini tüm deneyler boyunca sağlanmalıdır.

D- Optimal Deney Tasarımı

Aynı zamanda “optimum tasarım” olarak da adlandırılır. U model, deney parametrelerinin hatasız elde edilmesini sağlamayı hedeflemektedir. D-Optimal modellerden farklı olarak, daha az sayıda deney çalışması gerektirmesi sebebi ile, maliyeti daha azdır.

Box-Behnken Deney Tasarımı

Box-Behnken içine tam veya kesirli faktöryel tasarım gömülmemiş bağımsız ikilli tasarımıdır. Bu tasarımda, çözüm bileşenleri, süreç yüzeyinin kenarlarının orta noktaları ve merkezidir. Şekil 10’da, grafiksel olarak bu kenar noktalarının ortaları gösterilmiştir. Box-Behmken deney tasarımları döndürülebilir ve her faktör için 3 düzeye ihtiyaç duyar. Bu tasarımlar, dikey bloklama ve merkezi bileşim tasarımlarına göre sınırlı yeterliliğe sahiptir.



Şekil 10 Üç Faktör için Box-Behnken tasarımı

Merkezi Karma Deneş Tasarımı

Faktörlerden bazıları sabit etkili bazıları rasgele etkili olan modellere karma (mixed) model denir. Faktör sayısının 4'ten fazla olduğu ve her faktörün düzey sayısının 3 olduğu deneşlerde kullanılır. Uygulamada, deneş tasarımı çalışması yapanların kontrolü altında olan faktörler (makinanın hızı, basıncı, sıcaklığı gibi) ile tamamen uygulamadan bağımsız (atmosfer sıcaklığı, bağıl nem, kişisel tercihler gibi) faktörler değerlendirilir. Değişken etkili olan faktörle yapılan deneş tekrar sayısı diğerlerine göre nispeten fazla tutulur.

5. SANAYİDE DENEY TASARIMI UYGULAMASI

5.1. ÖRNEK UYGULAMA

Deney tasarımı uygulaması yapan, beyaz eşya sektöründen bir kuruluşumuzun, yaptığı çalışmayı inceleyeceğiz.

Çalışma değerleri, ölçümler ve değerlendirmeler tamamen bu kuruluşun uygulamasını yansıtmaktadır.

5.1.1. Uygulama Konusu

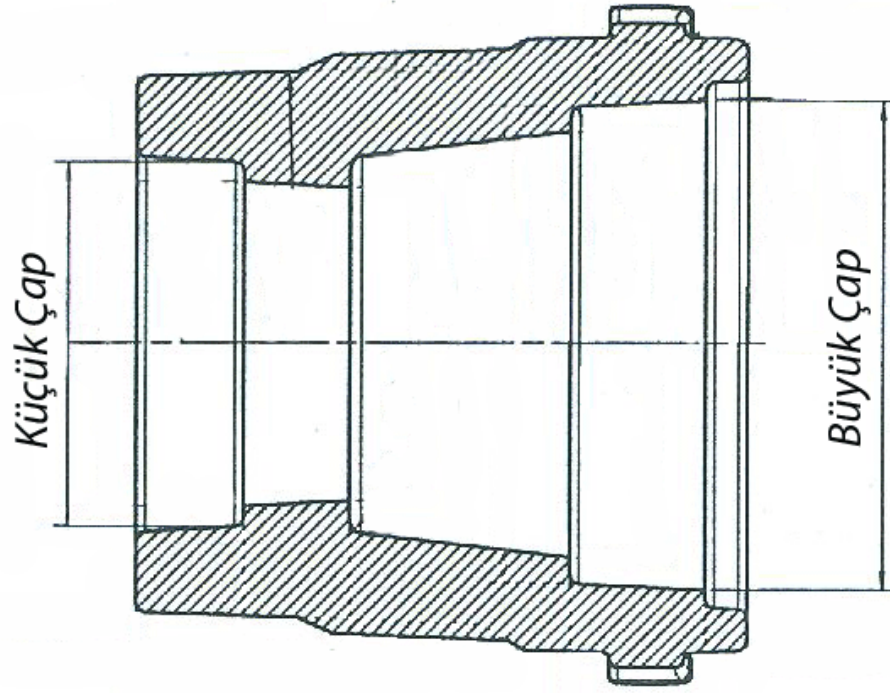
Çamaşır makinalarında, tambur görevi yapan plastik gövde, bir rulman vasıtası ile kendi etrafında dönmesi sağlanmaktadır. Bu rulmanın, yatakladığı mekanik bir yuva, rulman ile plastik gövde arasında yer almaktadır.

Uygulamada, standartlara uygun bir rulman gelmekte, bu rulmanın belirli toleranslar dahilinde bu yuvaya yerleştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

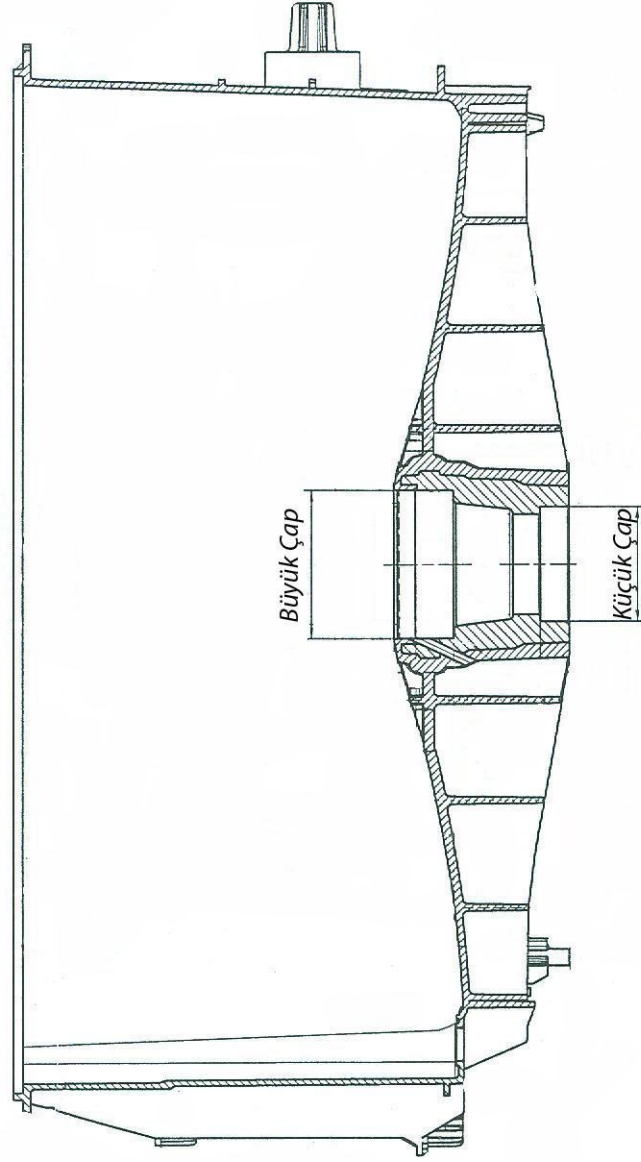
Rulman yuvasının, plastik enjeksiyonda, değişik sebeplerden olması gerekenden daha geniş veya daha dar olması, kalite hatalarına sebep olmakta, harcanan emek, malzeme, yatırım ve enerji maliyeti boşa gitmektedir.

Yapılacak uygulama ile bu soruna etki eden bileşenler, deney tasarımı kapsamına alınmış, etkileşim ve optimizasyon çalışması Minitab yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

TK1-Compact kalıbında C10 rulman yuvalarının enjeksiyon parametrelerine bağlı daralma miktarını anlamak için yapılmış olan 4 faktörlü 2^k yarı kesirli tasarıma göre yapılmış deney tasarımı sonuçları verilmiştir.



Şekil 11 Tambur parçasının yatay kesiti



Şekil 12 Tambur parçasının yerleştirildiği gövdenin kesiti

Deney tasarımı için enjeksiyon hızı, malzeme sıcaklığı, ütüleme basıncı ve ütüleme süresi, faktör olarak seçilmiştir.

Tablo 14 Deney tasarımı uygulamasında kullanılan faktörler ve sınırları

Sıra No	Faktörler	Üst Sınır	Alt Sınır
1	Malzeme sıcaklığı	270	220
2	Ütüleme basıncı	90	50
3	Ütüleme süresi	12	5
4	Enjeksiyon hızı	50	30

5.1.2. Amaç

Yapılan deneyin tasarım çalışmasının amacı, plastik gövde parçasının birleşim yeri ölçülerinin, diğer rulman ve tambur geçme noktalarının dairesel birleşim noktalarının ölçülerine en yakın değerde olmasıdır. Rulmanın çok hassas değerlerde gelmesi, buna karşılık, hassasiyeti, işleme prosesi gereği daha zor olan plastik parçanın enjeksiyon değerlerinin, parça toleransını etkilemesi çalışma konusu olacaktır. Farklı faktörlere göre deneysel olarak elde ettiğimiz sürelerden, hangi bileşenlerin en kısa süreye ulaşmak için etkili olduğunu tespit etmeyi hedefliyoruz.

Uygulama, bu çalışmada ağırlıklı olarak tam kesirli ve Taguchi yöntemleri anlatılmakla birlikte, gerçek değerlerimizin kısmi faktöryel tasarıma uygun olması sebebi ile Minitab yazılımı üzerinden, kısmi faktöryel yaklaşım ile gerçekleştiriyoruz.

5.1.3. Değerler

Üst ve alt değerlerin Minitab'a girilmesi sonucu oluşan tabloya, deney sonuçları işlenir.

Tablo 15 Kesit değişimine etki eden faktörler ve deneysel sonuçlar

Standart Order	Run Order	Center Point	Block	Malzeme Sıcaklığı	Ütüleme Basıncı	Ütüleme Süresi	Enjeksiyon Hızı	Küçük Çap Daralma	Büyük Çap Daralma
8	1	1	1	270	90	12	50	0,0145	0,0115
1	2	1	1	220	50	5	30	0,0080	0,0070
4	3	1	1	270	90	5	30	0,0115	0,0100
3	4	1	1	220	90	5	50	0,0095	0,0085
6	5	1	1	270	50	12	30	0,0080	0,0060
16	6	1	1	270	90	12	50	0,0120	0,0115
14	7	1	1	270	50	12	30	0,0080	0,0055
15	8	1	1	220	90	12	30	0,0155	0,0120
12	9	1	1	270	90	5	30	0,0120	0,0110
13	10	1	1	220	50	12	50	0,0060	0,0060
7	11	1	1	220	90	12	30	0,0140	0,0105
11	12	1	1	220	90	5	50	0,0120	0,0095
10	13	1	1	270	50	5	50	0,0075	0,0055
5	14	1	1	220	50	12	50	0,0075	0,0070
2	15	1	1	270	50	5	50	0,0075	0,0070
9	16	1	1	220	50	5	30	0,0070	0,0060

5.1.4. İşlemler

Minitab ekranından, deney tercih edilen kesir faktörlü deney modelini seçiliyor. Faktörleri ve alt/üst limitlerini oluşturulur ve deneysel tabloyu elde edilir.

Deneyle, çalışanların ve geçmiş verilerin doğrultusunda belirlenen üst ve alt limitlere göre gerçekleştiriliyor. Elde edilen sonuçlar Tablo 15'deki tabloya işlenir.

Değerler Minitab'ta analize tabi tutulduğunda, etkin faktör, etki derecesini ve tabloları elde edilir.

5.1.5. Elde Edilen Sonuç

5.1.5.1. C10-Küçük Rulman Yuvası Çapında Daralma Analizi

Küçük Rulman yuvası daralmasında en etkili faktör ütleme basıncı çıkmıştır. Daha sonra etkili olan faktörler “malzeme sıcaklığı*enjeksiyon” hızı etkileşimi ve ütleme süresi olarak çıkmıştır. Aşağıdaki pie chart'da faktörlerin etkisi gösterilmiştir.

DOE MODEL

Kesir faktörlü model sonuçları;

Model bileşenleri

- Malzeme sıcaklığı,
- Ütleme basıncı,
- Ütleme süresi,
- Enjeksiyon hızı

Tablo 16 Minitab küçük çap DOE çalışmasındaki model ekranı

Fractional Factorial Design
Factors: 4 Base Design: 4; 8 Resolution: IV
Runs: 16 Replicates: 2 Fraction: 1/2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

Tablo 17 Küçük çap için kestirilen etkiler ve katsayıları

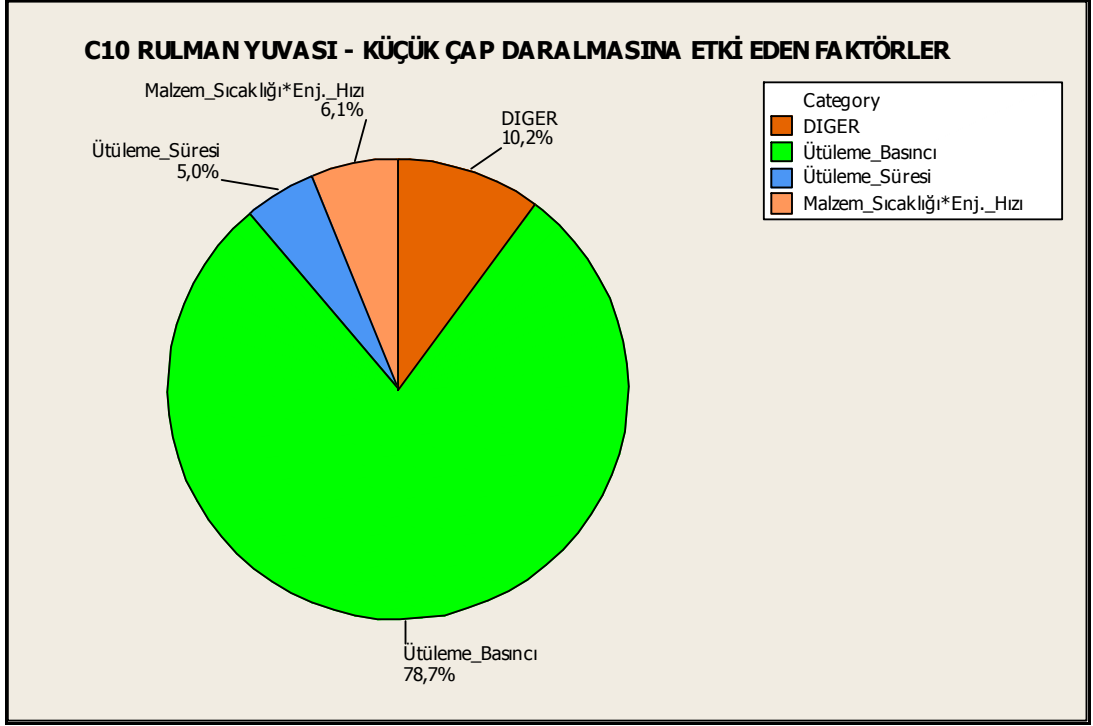
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,010031	0,000253	39,57	0,000
Malzem_ Sıcaklığı	0,000188	0,000094	0,000253	0,37	0,719
Ütüleme_Basıncı	0,005188	0,002594	0,000253	10,23	0,000
Ütüleme_Süresi	0,001313	0,000656	0,000253	2,59	0,027
Enj._Hızı	-0,000938	-0,000469	0,000253	-1,85	0,094
Malzem_Sıcaklığı*Enj._Hızı	0,001438	0,000719	0,000253	2,84	0,018

S = 0,00101396 PRESS = 0,0000263200
R-Sq = 92,48% R-Sq(pred) = 80,75% R-Sq(adj) = 88,72%

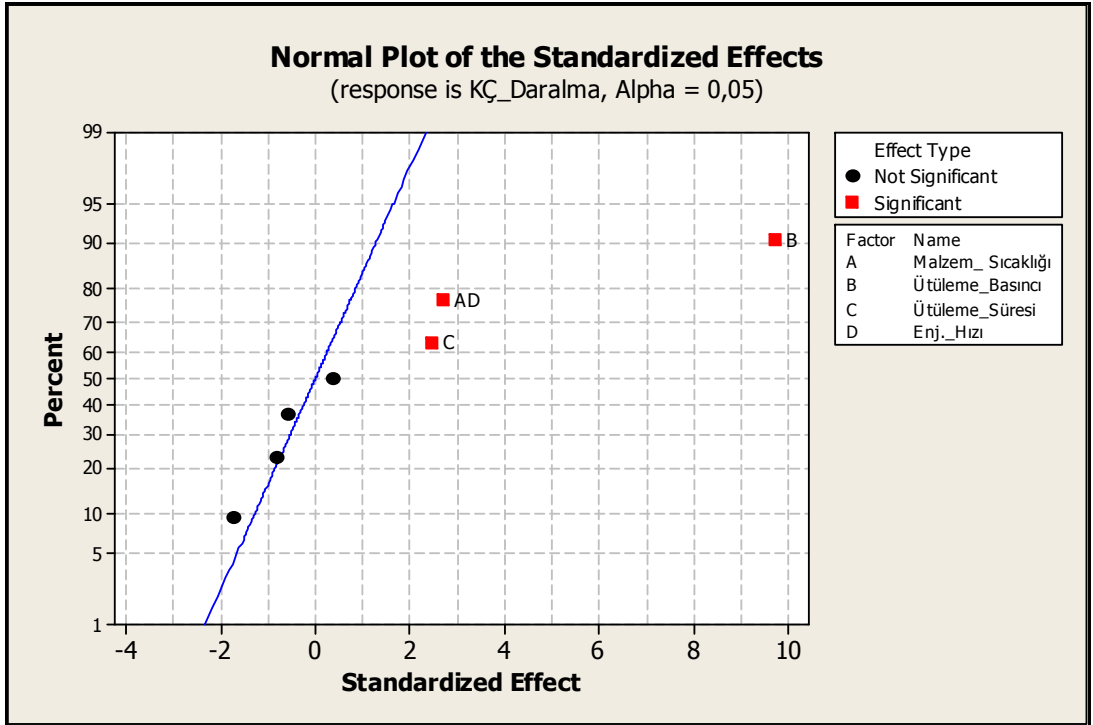
Analysis of Variance for KÇ_Daralma (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0,00011819	0,00011819	0,00002955	28,74	0,000
2-Way Interactions	1	0,00000827	0,00000827	0,00000827	8,04	0,018
Residual Error	10	0,00001028	0,00001028	0,00000103		
Lack of Fit	2	0,00000116	0,00000116	0,00000058	0,51	0,621
Pure Error	8	0,00000912	0,00000912	0,00000114		
Total	15	0,00013673				

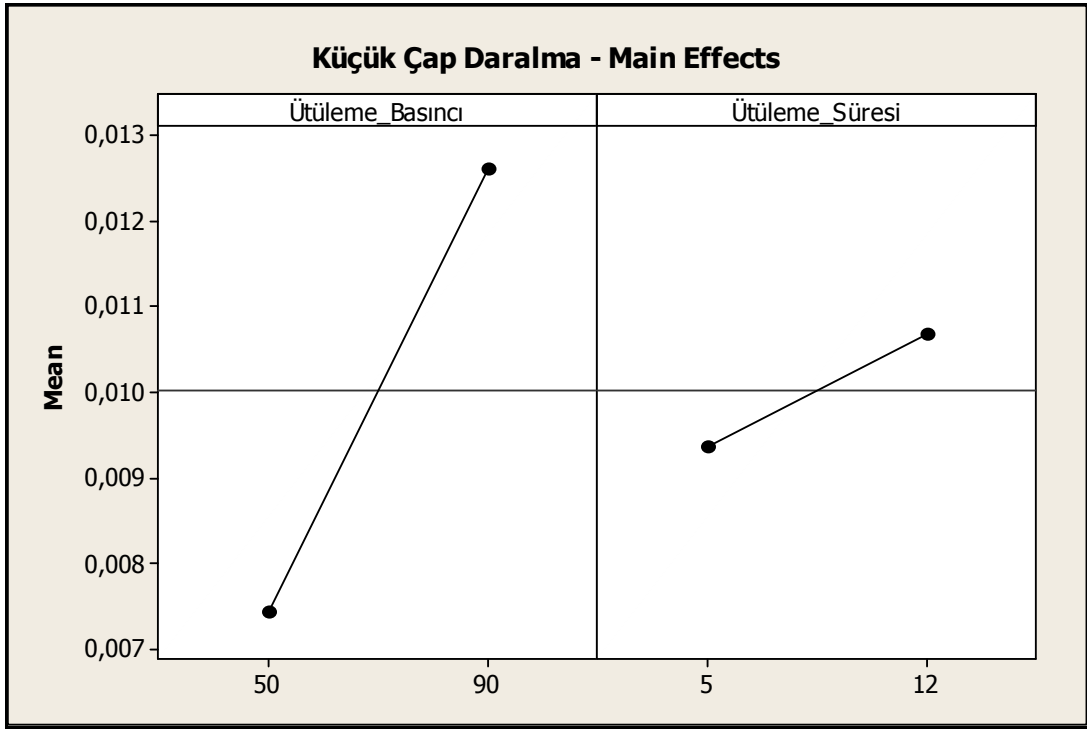
Şekil 13 Küçük çap daralması varyans analizi



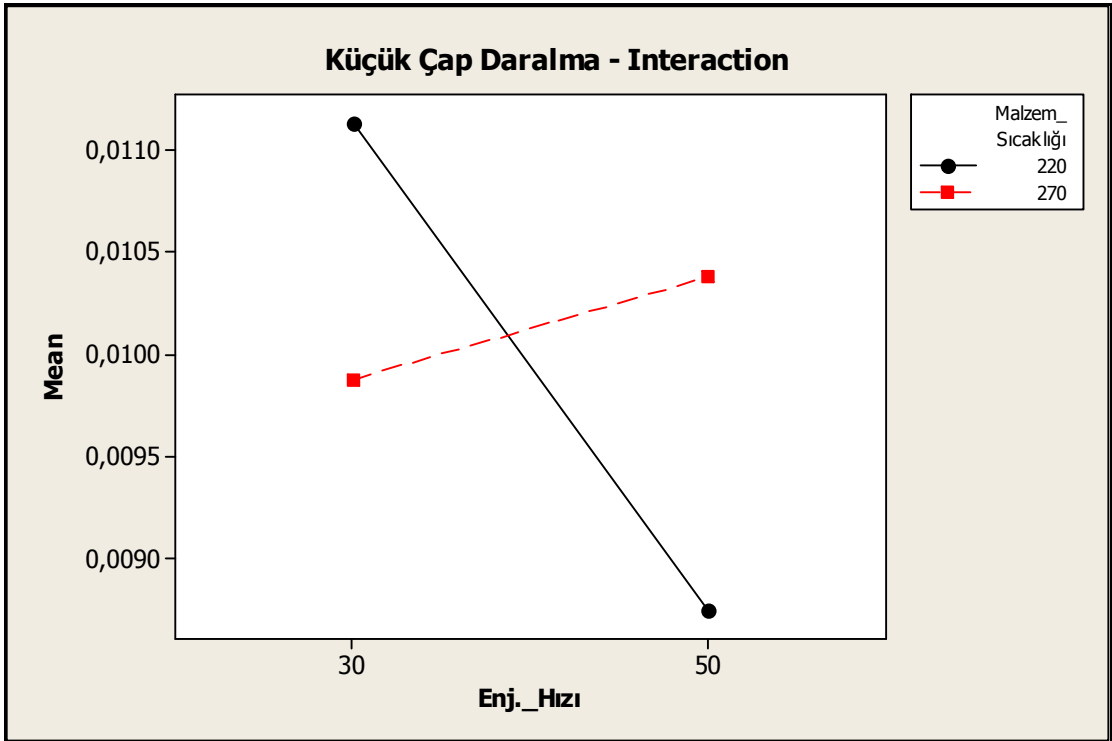
Şekil 14 Rulman yuvası – küçük çap daralmasına etki eden faktörler



Şekil 15 Rulman yuvası – KÇ daralmasında standartlaştırılmış etki grafiği



Şekil 16 Küçük çap daralmasına ütüleme basıncı ve süresinin etkileri



Şekil 17 Küçük çap daralmasına malzeme sıcaklığı ve Enjeksiyon hızı etkileşimi

5.1.5.2. C10-Büyük Rulman Yuvası Çapında Daralma Analizi

Büyük Rulman yuvası daralmasında en etkili faktör ütleme basıncı çıkmıştır. Daha sonra etkili olan faktörler “malzeme sıcaklığı*enjeksiyon hızı” etkileşimidir. Aşağıdaki pie chart'da faktörlerin etkisi gösterilmiştir.

DOE MODEL

Kesir faktörlü model sonuçları;

Model bileşenleri

- Malzeme sıcaklığı,
- Ütleme basıncı,
- Ütleme süresi,
- Enjeksiyon hızı

Tablo 18 Minitab büyük çap DOE çalışmasındaki model ekranı

Fractional Factorial Design
Factors: 4 Base Design: 4; 8 Resolution: IV
Runs: 16 Replicates: 2 Fraction: 1/2
Blocks: 1 Center pts (total): 0

Tablo 19 Büyük çap için kestirilen etkiler ve katsayıları

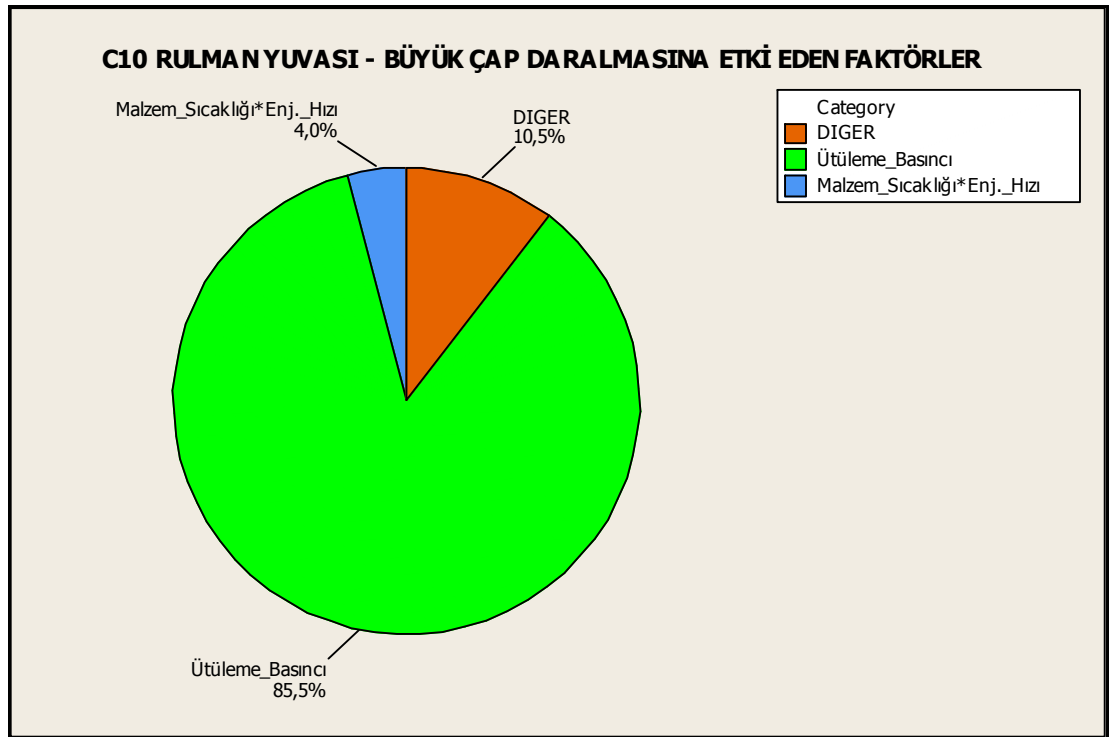
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,008406	0,000225	37,34	0,000
Malzem_ Sıcaklığı	0,000187	0,000094	0,000225	0,42	0,685
Ütleme_Basıncı	0,004313	0,002156	0,000225	9,58	0,000
Enj._Hızı	-0,000187	-0,000094	0,000225	-0,42	0,685
Malzem_Sıcaklığı*Enj._Hızı	0,000937	0,000469	0,000225	2,08	0,061

S = 0,000900600 PRESS = 0,0000188760
R-Sq = 89,76% R-Sq(pred) = 78,33% R-Sq(adj) = 86,03%

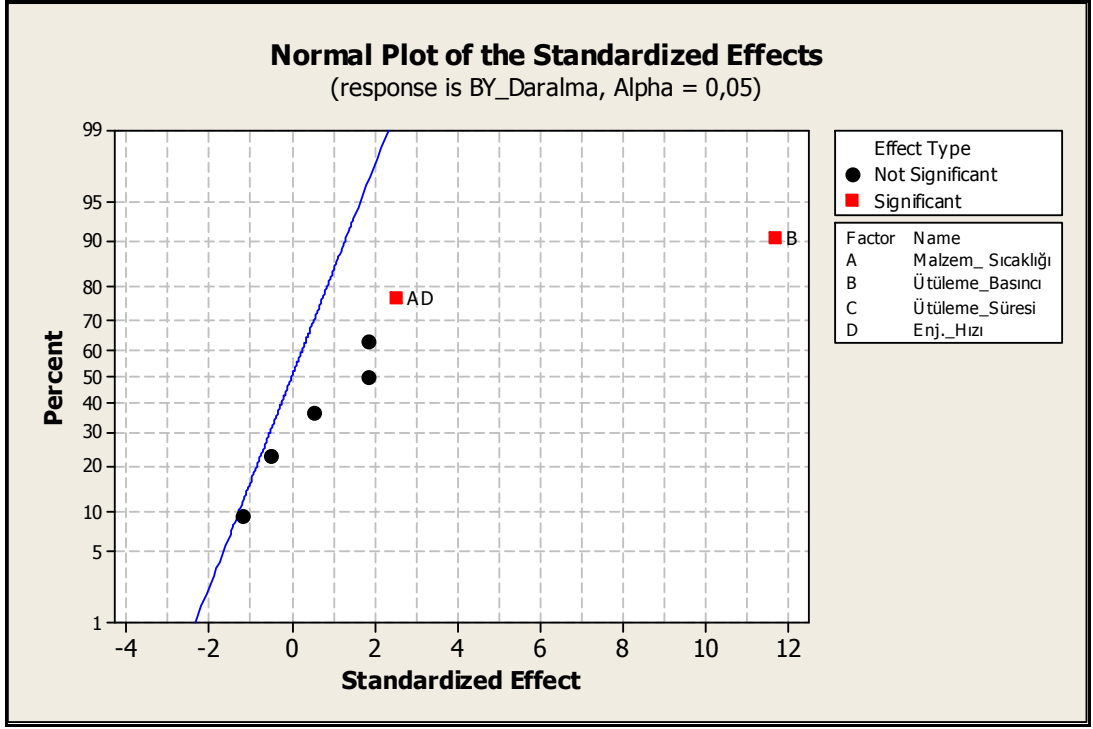
Analysis of Variance for BY_Daralma (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,00007467	0,00007467	0,00002489	30,69	0,000
2-Way Interactions	1	0,00000352	0,00000352	0,00000352	4,33	0,061
Residual Error	11	0,00000892	0,00000892	0,00000081		
Lack of Fit	3	0,00000455	0,00000455	0,00000152	2,77	0,111
Pure Error	8	0,00000437	0,00000437	0,00000055		
Total	15	0,00008711				

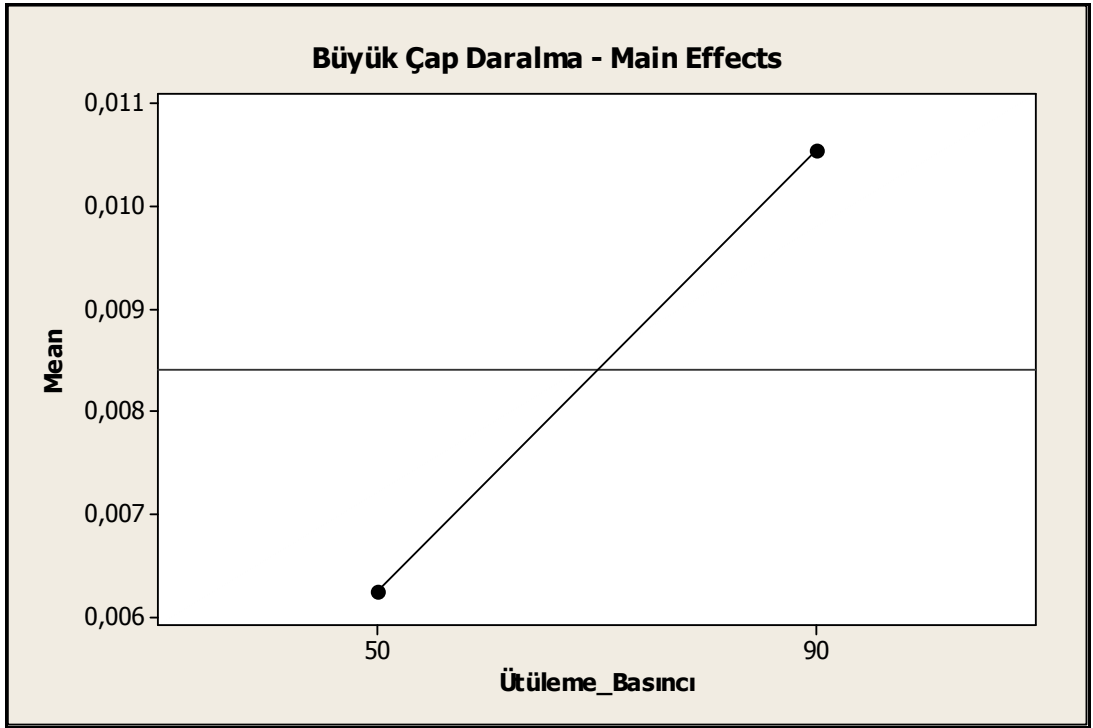
Şekil 18 Küçük çap daralması varyans analizi



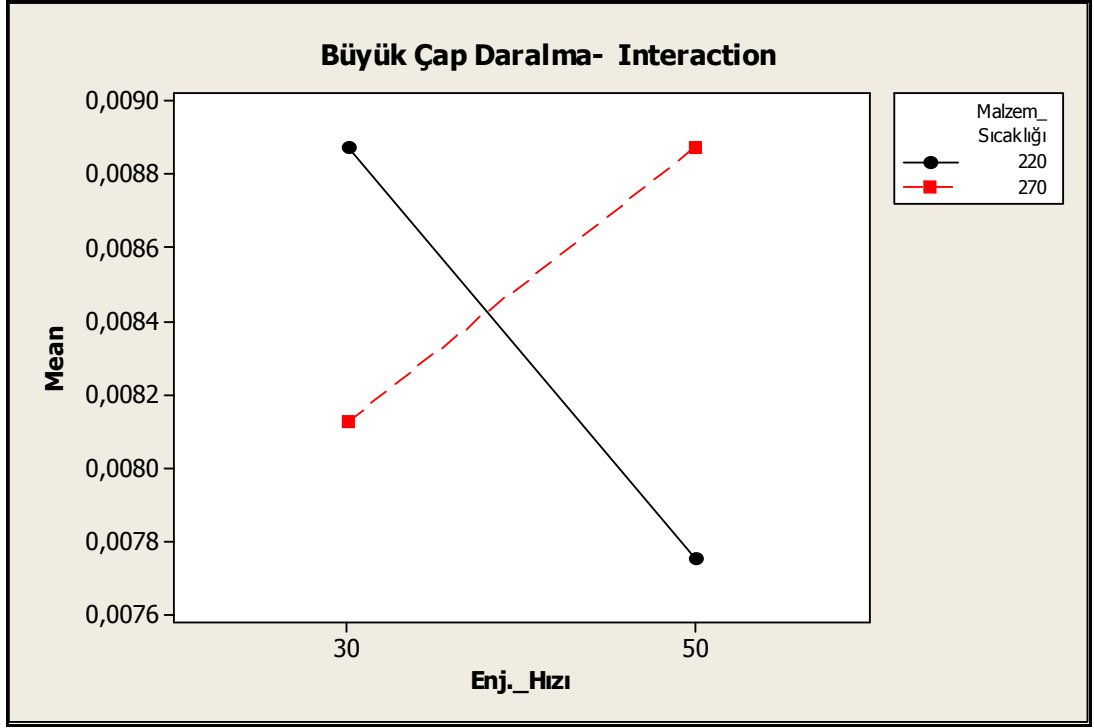
Şekil 19 Rulman yuvası – büyük çap daralmasına etki eden faktörler



Şekil 20 Rulman yuvası – BÇ daralmasında standartlaştırılmış etki grafiği



Şekil 21 Büyük çap daralmasına ütüleme basıncı ve süresinin etkileri



Şekil 22 Büyük çap daralmasına malzeme sıcaklığı ve Enjeksiyon hızı etkileşimi

5.1.5.3. Cevap Optimizasyonu

Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
8 nokta orta	Target	224,6	225,1	225,6	1	1
BY_Daralma	Minimum	1,0	1,0	10,0	1	1
KÇ_Daralma	Minimum	1,0	1,0	10,0	1	1
Global Solution						
Malzem_ Sıca	=	253,895				
Ütüleme_Bası	=	50				
Ütüleme_Süre	=	5,17620				
Enj._Hızı	=	30				
Predicted Responses						
8 nokta orta	=	225,100	,	desirability =	1,000000	
BY_Daralma	=	0,006	,	desirability =	1,000000	
KÇ_Daralma	=	0,007	,	desirability =	1,000000	
Composite Desirability = 1,000000						

Şekil 23 Minitab cevap optimizasyonu sonuçları

5.2. Uygulama Yorumu

Hem küçük hem de büyük çap daralma sorununda, ana etkili faktör “ütüleme basıncı” çıkmıştır.

Küçük çap daralmasında elde edilen denklem % 88,72, büyük çap daralmasında ise % 86,03 oranında açıklamaktadır.

Küçük çap daralmasında malzeme sıcaklığı tekil olarak etkisiz görülmekle birlikte, enjeksiyon hızı ile ikili etkileşi etkin bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple, denklemden çıkarılmamıştır.

Büyük çap daralmasında malzeme sıcaklığı ve enjeksiyon hızı tek tek olarak etkisiz görülmekle birlikte, ikili etkileşimleri etkin bir faktör olarak görülmektedir. Bu sebeple, bu iki faktör denklemden çıkarılmamıştır.

Çalışma sonunda yapılan optimizasyon çalışması ile;

Malzeme Sıcaklığı = 253,895

Ütüleme Basıncı = 50

Ütüleme Süresi = 5,17620

Enjeksiyon Hızı = 30

Değerlerinde çalışılması, çap daralmasını en aza indiren değerler olarak Minitab tarafından hesaplanılmıştır.

6. SONUÇ

Yüksek kalitede, rekabetçi çözümler üretebilmek, başarılı bir yönetim ile mümkündür. Başarılı bir yönetimin en önemli aracı ise, yönetsel göstergelerin çalışmasıdır. Deney tasarım uygulamaları, kaynak yönetiminden, tasarım yönetimine, müşteri sadakatinden çalışanın iş yerini sahiplenmesine kadar bir çok alanda faydalanmak mümkündür.

Kuruluşlar, başarı için, deney tasarımını iş yapma kültürlerinin bir parçası olarak görmeli ve etkin kullanımını sağlamalıdır.

EKLER

Tablo 20 %95 Güven Aralığında T Tablosu

Payda	Pay									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,45	199,5	215,71	224,58	230,16	233,99	236,77	238,88	240,54	241,88
2	18,51	19	19,16	19,25	19,3	19,33	19,35	19,37	19,38	19,4
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,1	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,5	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,1	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,2	3,09	3,01	2,95	2,9	2,85
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3	2,91	2,85	2,8	2,75
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67
14	4,6	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,7	2,65	2,6
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,9	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49
17	4,45	3,59	3,2	2,96	2,81	2,7	2,61	2,55	2,49	2,45
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41
19	4,38	3,52	3,13	2,9	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38
20	4,35	3,49	3,1	2,87	2,71	2,6	2,51	2,45	2,39	2,35
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32
22	4,3	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,4	2,34	2,3
23	4,28	3,42	3,03	2,8	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27
24	4,26	3,4	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,3	2,25
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,6	2,49	2,4	2,34	2,28	2,24
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,2
28	4,2	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19
29	4,18	3,33	2,93	2,7	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,4	2,29	2,2	2,13	2,07	2,03
60	4	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,1	2,04	1,99
70	3,98	3,13	2,74	2,5	2,35	2,23	2,14	2,07	2,02	1,97
80	3,96	3,11	2,72	2,49	2,33	2,21	2,13	2,06	2	1,95
90	3,95	3,1	2,71	2,47	2,32	2,2	2,11	2,04	1,99	1,94
100	3,94	3,09	2,7	2,46	2,31	2,19	2,1	2,03	1,97	1,93
200	3,89	3,04	2,65	2,42	2,26	2,14	2,06	1,98	1,93	1,88
500	3,86	3,01	2,62	2,39	2,23	2,12	2,03	1,96	1,9	1,85
1000	3,85	3	2,61	2,38	2,22	2,11	2,02	1,95	1,89	1,84

KAYNAKLAR

Adèr, H. J., Mellenbergh, G. J., & Hand, D. J. 2008 Advising on research methods: A consultant's companion, Johannes van Kessel Publishing

Box, G. E., Hunter, J. S., Hunter, W. G., 2005 “Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery” 2nd Edition. Wiley.

Canıylmaz, E., 2001 “Kalite Geliştirmede Taguchi Metodu ve Bir Uygulama” Gazi Üniversitesi.

Centers for Disease Control and Prevention, 2009, The Tuskegee Timeline
<http://www.cdc.gov/tuskegee/timeline.htm>

Deming, E., 1960, Sample Design in Business Research

Drucker P., 1964 Managing for Results”

Fisher, R. A., 1966 The Design of Experiments, 8. baskı, New York, Hafner Press

Gökçe, B., Taşgetiren, S., 2009 Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:6,

Hinkelmann, K., Kempthorne, O. 2005 “Design and Analysis of Experiments Volume 2 Advanced Experimental Design” A John Wiley & Sons, Inc., Publication, New Jersey.

Hinkelmann, K., Kempthorne, O. 2008 “Design and Analysis of Experiments Volume 1, Introduction to Experimental Design” A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2nd Ed. New Jersey.

Karadas, A., 2003 TPM’de Erken Ekipman Yönetimi – Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı TMMOB

- Karbhari, V. M.**, 1994 Design of Experiments, QC and Taguchi Methods.
http://www.wtec.org/loyola/polymers/c7_s6.htm
- Kopaj, J., Krajnık, P.**, 2007 Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method, Journal of Materials Processing Technology
Volume 191
- Lazic, Z. R.**, 2004 “Design of Experiments in Chemical Engineering A Practical Guide” WILEY-VCH, 157-165
- Montgomery, D., C.** 2001 “Design and Analysis of Experiments” 5th Ed. John Wiley & Sons, Inc. Arizona
- Özdamar, K.**, 2005 “Deneyler” Açık Öğretim Üniversitesi Kitapları
- Ross, P. J.**, 1995 “Taguchi Techniques for Quality Engineering” McGraw-Hill Professional; Second edition,
- Şirvancı, M.**, 1997 Kalite İçin Deney Tasarımı: Taguchi Yaklaşımı, İstanbul, Literatür Yayınevi
- Tatlıdil, H.**, 2002 “Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Akademi Matbaası
- TS EN ISO 9001:2008**, International Organization for Standardization, www.iso.org

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adnan Karadaş

Doğum Yeri : Konya

Doğum Tarihi : 05/04/1969

Medeni Hali : Evli

Eğitim Durumu

İlkokul : Genç Osman İlkokulu

Ortaokul-Lise : Yedikule Lisesi

Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

1991-1992 : Türk Standartları Enstitüsü

1992-2002 : Nortel Networks Netaş

1999- : Digisis Bilgi Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi
Genel Müdür

2002-2005 : Akıl Küpü Bilişim Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi
Genel Müdür

2003- : Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Tekstil MYO
Öğretim Görevlisi

2007-2008 : Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği
Öğretim Görevlisi