

T. C.
İstanbul Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İşletme Anabilim Dalı
Üretim Bilim Dalı

DOKTORA TEZİ

FİRE ANALİZİNDE DENEY TASARIMI

ZEYNEP KARSLIOĞLU
2502070346

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NECDET ÖZÇAKAR

İSTANBUL, 2013



DOKTORA

TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN

Adı ve Soyadı :ZEYNEP KARSLIOĞLU

Numarası :2502070346

Anabilim/Bilim Dalı :ÜRETİM

Danışman :PROF.DR.NECDDET ÖZÇAKAR

Tez Savunma Tarihi :04.11.2013

Saati :14:00

Tez Başlığı :FİRE ANALİZİNDE DENET TASARIMI

TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Öğretim Yönetmeliği'nin 50. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜ'NE OYBİRLİĞİ / ~~OYÇOKLUĞUYLA~~ karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
PROF.DR.NECDDET ÖZÇAKAR		Kabul
PROF.DR.SELİM ZAİM		Kabul
DOÇ.DR.ALP BARAY		Kabul
YRD.DOÇ.DR.FAİK BAŞARAN		Kabul
YRD.DOÇ.DR.BİRGÜL KÜÇÜK ÇIRPIN		Kabul

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
DOÇ.DR.GÜVEN GÜLEN		
YRD.DOÇ.DR.ÖZLEM AKÇAY KASAPOĞLU		

FİRE ANALİZİNDE DENEY TASARIMI

ZEYNEP KARSLIOĞLU

ÖZ

Toplam kalite yaklaşımının temel amacı, karşılaşılan problemleri bir daha ortaya çıkmayacak şekilde çözmektir. Böyle bir yaklaşım söz konusu olduğunda istatistiki analizlerin kullanılması kaçınılmazdır. Öte yandan fire azaltmada karşılaşılan üretim problemlerini çözmede istatistiksel bir yöntem olan deney tasarımı en sık kullanılan yöntemdir. Bu tez çalışmasında da PVC Tesisat Bağlantı parçaları üretiminde karşılaşılan fire problemlerini çözmede deney tasarımı yöntemi uygulanmıştır. Enjeksiyon prosesinde fireye sebep olduğu düşünülen faktörler belirlenmiş olup, bu faktörlerin düzeyleri tanımlanmıştır. Faktör sayısının fazla olması nedeniyle kesirli deneylere geçilmiştir. Daha sonra elde edilen faktör düzey kombinasyonlarıyla doğrulama deneyleri yapılarak genelleştirmeye gidilmiştir. Tüm bu çalışmalar esnasında Minitab 16 paket programından yararlanılmıştır.

Anahtar sözcükler : Toplam kalite yaklaşımı, istatistiki analizler, fire azaltma, istatistiksel yöntemler, deney tasarımı, PVC tesisat bağlantı parçaları, fire problemleri, enjeksiyon prosesi, faktör düzeyleri, kesirli deneyler, faktör düzey kombinasyonu, doğrulama deneyleri, Minitab 16.

EXPERIMENTAL DESIGN IN SCRAP ANALYSIS

ZEYNEP KARSLIOĞLU

ABSTRACT

The main objective of the total quality approach is to solve problems in such a way that they will not be encountered again. When such an approach is in question it is unavoidable to use statistical analysis. On the other hand, experimental design is the most common statistical tool used to solve production-related problems while reducing scrap rates. In this study, the experimental design method is applied to solve scrap problems while producing PVC-based sanitary fittings. The factors causing scrap problems during the injection moulding process are determined and their levels are elucidated. Due to the high number of factors fractional experiments are implemented. These factor level combinations are then used to generalize the findings by performing validation tests. All analyses have been made by the package software Minitab 16.

Key words : Total quality approach, statistical analysis, reducing scrap, statistical tools, experimental design, PVC-based sanitary fittings, scrap problems, injection moulding process, factor levels, fractional experiments, factor level combination, validation tests, Minitab 16.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı, PVC tesisat borusu ekleme parçalarının enjeksiyon yöntemi ile üretiminde, prosesi etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve proses parametrelerinin değişiminin fireye olan etkilerini ele almaktır. Bunun için gerçek bir işletmede bulunan enjeksiyon üretimdeki firelerin deney tasarımı çözüm yöntemleri kullanılarak, teorik bilgilerin gerçek hayattaki uygulama sonuçlarını değerlendirebilmektir.

Gerçek bir üretim sisteminde yapılan uygulama ile enjeksiyon proses parametrelerinin en optimum şekilde ayarlanarak minimum fire ile prosesin devamlılığı amaçlanmıştır. Aynı zamanda prosesi etkileyen çok sayıda faktörün olması durumunda deney tasarımında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden faydalanarak, maksimum üretim verimliliği ve minimum fire ile çalışma şartlarının oluşturulmasına çalışılmıştır.

Sayın hocalarım; Prof. Dr. Necdet Özçakar ve Yrd. Doç. Dr. Faik Başaran 'a ve çalışmalarım boyunca sürekli yanımda olarak desteğini bir an olsun esirgemeyen Doç. Dr. Ş. Alp Baray'a ve emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca uygulama çalışmamı yaptığım Fırat Plastik Genel Müdürü Dr. Nevzat Demir'e, çalışmalarımda desteğini esirgemeyen Üretim Müdürü Cihangir Vargel'e ve tüm çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak manevi desteklerini sürekli hissettiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	iii
ABSTRACT.....	iv
.....	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
SEMBOLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 1 DENEYSEL TASARIM	3
1.1. Deney Kavramı	4
1.2. Deney Tasarımının Tarihçesi	6
1.3. Deney Tasarımı İlkeleri	7
1.4. Deney Tasarımının Kullanım Alanları.....	9
1.5. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları.....	11
1.6. Deney Tasarımı Türleri	13
1.6.1. Bölünmüş Parseller Tasarımı	14
1.6.2. Rassal Blokları Tasarımı	14
1.6.3. Latin Karesi Deney Tasarımı	15
1.6.4. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	17
1.6.5. Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı	17
1.7. Deney Tasarım Metodolojisi.....	18
1.7.1. Planlama Aşaması :	18
1.7.2. Tasarım Aşaması	19
1.7.3. Yürütme Aşaması	19
1.7.4. Analiz Aşaması.....	20
1.8. Deneysel Hata	20

1.9. Deney Tasarımında Maliyetlerin Göz Önüne Alınması	21
1.10. Deney Tasarımında Bulunması İstenen Özellikler	22
1.11. Deney Tasarımı Sürecinde Kullanılan Genel Kavramlar	23
1.12. Deney Tasarımında Hesap Tablolarının Kullanımı	24
1.13. Tasarımda Uygulanacak Temel Adımlar	29
BÖLÜM 2 İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI	31
2.1. Literatür Taraması	33
2.1.1. Deney Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar	34
2.1.2. Plackett-Burman Deney Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar	39
2.1.3. Enjeksiyon Proses Parametre Belirleme Konusunda Yapılan Çalışmalar	42
2.2. Tam Faktöriyel Deneyler	44
2.2.1. İki Faktörlü Deneyler	48
2.2.2. 2 ⁿ Faktörlü Deneyler	50
2.2.2.1. Yates Sıralaması	56
2.2.2.2. Deney Sırası	57
2.3. Kesirli Faktöriyel Deneyler	58
2.3.1. 2 Seviyeli Kesirli Faktöriyel Deneyler	60
2.3.1.1. Çözünürlük III Deneyleri	71
2.3.1.2. Çözünürlük IV Deneyleri	71
2.3.1.3. Çözünürlük V Deneyleri	72
2.3.2. Bloklama	72
2.3.3. Hata Tahmini	74
2.4. Doğrulama Deneyleri	77
2.5. Plackett-Burman Deney Tasarımı	77
BÖLÜM 3 ENJEKSİYON PROSESİ VE PARAMETRELERİN ÖNEMİ ..	83
3.1. Plastik Enjeksiyon Prosesi	86
3.2. Enjeksiyon Proses Parametrelerinin Proses Üzerindeki Etkileri	88
3.3. Önemli Enjeksiyon Proses Parametreleri	92

BÖLÜM 4 UYGULAMA.....	100
4.1. Uygulamanın Amacı ve Kapsamı	100
4.2. Uygulamanın Metodolojisi	108
4.3. Uygulamanın Değerlendirmesi ve Bulguları	108
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	118
KAYNAKLAR	120
Ek-1 PVC Tesisat Borusu Ek Parça Üretim Bölümünden Makine, Yarımamül ve Mamül Fotoğrafları	140
Ek-2 Enjeksiyon Makine ve Kalıpları İle İlgili Bilgiler	144
Ek-3 Minitab 16 Programı Sonuç Tabloları.....	148
ÖZGEÇMİŞ	166

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1-1 Rassal Blokları Deney Tasarımı Örneği.....	15
Tablo 1-2 Latin Karesi Tasarımı Örnekleri	16
Tablo 1-3 5 X 5 Latin Karesi Tasarımı Örneği.....	16
Tablo 1-4 Tam Faktöriyel Deney Tasarımı Örneği.....	17
Tablo 1-5 Örnek Veri Değerleri.....	25
Tablo 1-6 Hesap Tablosu.....	26
Tablo 1-7 AB Etkileşimi.....	28
Tablo 2-1 L8 Deneyi Düzey Kombinasyonları.....	48
Tablo 2-2 2 ² Faktöriyel Deneyde ANOVA Tablosu.....	49
Tablo 2-3 2 ² Faktöriyel Deneyde Faktör Kombinasyonları ve Etkileri.....	49
Tablo 2-4 L8 Dizayn Matrisi.....	50
Tablo 2-5 2 ³ Faktöriyel Deneyde Faktör Kombinasyonları ve Etkileri.....	51
Tablo 2-6 Faktöriyel Deneyde ANOVA Tablosu.....	52
Tablo 2-7 Örnek Deneyde Faktör Düzey Kombinasyonu.....	53
Tablo 2-8 Örnek Deneyde ANOVA Tablosu.....	55
Tablo 2-9 Örnek Deneyde F Test İstatistiği.....	55
Tablo 2-10 2 ² Tasarım için Yates Sıralaması.....	56
Tablo 2-11 2 ⁴ Tasarım için Yates Sıralaması.....	57
Tablo 2-12 2 ⁴ Tasarım için Deney Sayısı.....	58
Tablo 2-13 2 ⁴ Tasarım için Deney Sırası.....	58
Tablo 2-14 2 ⁷ Tam Eşleştirmeli Bir Deneyde Ana ve Etkileşim Etkileri.....	59
Tablo 2-15 2 ³ Faktöriyel Deneyinde Artı ve Eksi İşaretler.....	61
Tablo 2-16 L8 Kesirli Deneylerinde Faktörlerin Kolonlara Atanması.....	63
Tablo 2-17 2 ⁽⁴⁻¹⁾ Kesirli Faktöriyel Deneylerde Eşad Tablosu.....	65
Tablo 2-18 2 ⁽⁵⁻¹⁾ Kesirli Faktöriyel Deneylerde Eşad Tablosu	66
Tablo 2-19 Örnek Deney Sonuçları.....	67
Tablo 2-20 Örnek Deney için ANOVA Tablosu.....	61
Tablo 2-21 Kesirli Faktöriyel Deneylerde Çözünürlük Sayıları.....	72
Tablo 2-22 2 ³ Tasarım için Artı ve Eksi İşaret Tablosu.....	73
Tablo 2-23 8 Deneyin İki Bloğa Atanması.....	74

Tablo 2-24 ABC Eşleşmeli Dört Tekrarlı Bir 2^3 Tasarımı.....	75
Tablo 2-25 ABC Eşleşmeli Dört Tekrarlı Bir 2^3 Tasarım için Varyans Analizi.....	75
Tablo 2-26 Plackett-Burman ile 2^{n-p}_{III} Karşılaştırması.....	78
Tablo 2-27 Plackett-Burman Tasarımında Artı ve Eksi İşaretlemeler.....	80
Tablo 2-28 $N= 12$, $k=11$ İçin Plackett-Burman Tasarımı.....	80
Tablo 3-1 Üretim Adetlerine Göre En Ekonomik Plastik Üretim Yöntemi.....	93
Tablo 4-1 Enjeksiyon Makine Parametrelerinin Tümü.....	105
Tablo 4-2 Deneyde Kullanılan Proses Parametreleri ve Düzeyleri.....	107
Tablo 4-3 Deneyde Kullanılan Proses Parametrelerinin Katsayıları.....	110
Tablo 4-4 Optimize Edilmiş Proses Parametreleri.....	115
Tablo 4-5 Deneyden Önceki ve Sonraki Durumun Karşılaştırılması.....	116

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1-1 : 1950-1990 Yılları Arasında Üç Temel Yöntemin Kalite Yönetimine Katkısı.....	7
Şekil 1-2 : Bir Sistem ya da Sürecin Genel Modeli.....	22
Şekil 1-3 : Normal Olasılık Grafiği.....	27
Şekil 1-4 : AB Etkileşim Grafiği.....	28
Şekil 2-1 : Klasik Yöntemle Faktörlerin Sınanması.....	32
Şekil 2-2 : 2 Faktörlü Faktöriyel Deney, Etkileşimler ile Gösterim.....	45
Şekil 2-3 : 2 Faktörlü Faktöriyel Deney, Sonuç Değişkeni (y) Köşelerde Gösterilmiş.....	45
Şekil 2-4 : Etkileşimsiz A Faktöriyel Deneyi	46
Şekil 2-5 : Etkileşimli A Faktöriyel Deneyi.....	46
Şekil 2-6 : 2 ³ Faktöriyel Tasarım.....	51
Şekil 2-7 : 12 Tekrarlı Plackett-Burman Tasarımının 3 ve 4 Faktörlü Tasarımları....	82
Şekil 3-1 : Polimerlerin Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması.....	84
Şekil 3-2 : Bazı Plastiklerin Toplam Dünya Üretimindeki Payları.....	85
Şekil 3-3 : Enjeksiyon Makinesinin Şematik Gösterimi.....	87
Şekil 3-4 : Enjeksiyon Prosesini Gösteren Makine Şeması.....	88
Şekil 3-5 : Pistonlu (Torpido) Bir Enjeksiyon Kalıplama Sistemi.....	94
Şekil 3-6 : Enjeksiyon Prosesinde Basınç-Zaman Grafiği.....	95
Şekil 4-1 : Makinaların Arıza Dağılım Eğrileri.....	103
Şekil 4-2 : Deneyde Kullanılan 27 nolu Makinenin Arıza Dağılım Eğrisi.....	104

KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Acrylonitrile Butadien Styrene (Akrilonitril Bütadiyen Stiren)
ANOVA	: Varyans Analizi
DF	: Serbestlik Derecesi
DOE	: Deney Tasarımı
FDK	: Faktör Düzey Kombinasyonu
NOG	: Normal Olasılık Grafiği
PA	: Naylon
PB	: Plackett-Burman Tasarımı
PC	: Polycarbonate (Polikarbonat)
PE-LD	: Alçak Yoğunluklu Polietilen
PETP	: Polyester Terephthalate (Polyester Tereftalat)
PMMA	: Acrylic (Akrilik)
POM	: Acetal (Asetal)
PP	: Polypropylene (Polipropilen)
PS	: Polystyrene (Polistren)
PVC	: Polyvinylchloride (Polivinil Klorid)
SS	: Kareler Toplamı

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Deneme Sayısı
β_0	: A ve B Faktörlerinin Etki Değerlerinin Ortalaması
β_1	: A Faktörünün Etki Değerinin Yarısı
β_2	: B Faktörünün Etki Değerinin Yarısı
β_{12}	: AB Etkileşiminin Etki Değerinin Yarısı
c	: Sütun Sayısı
F	: F Test İstatistiği
I	: Tasarım Jeneratörü
k	: Faktör Sayısı
L8	: 2 Seviyeli 3 Faktörlü Deney
L16	: 2 Seviyeli 4 Faktörlü Deney
N_R	: Deney Tekrar Sayısı
n	: Seviye Sayısı
p	: Göz Önüne Alınmayacak Etkileşim Düzeyi
r	: Satır Sayısı
Ta	: Belirli Bir Makineye Ait Ortalama Arızasız Çalışma Süresi
x₁	: A Faktörünü Temsil Eden Değişken
x₂	: B Faktörünü Temsil Eden Değişken
x₁x₂	: x ₁ ve x ₂ Arasındaki Etkileşim
y	: Sonuç Değişkeni
ϵ	: Rassal Hata Terimi
α	: Anlamlılık Düzeyi

GİRİŞ

Günümüzde teknolojiler çok hızlı bir şekilde gelişmekte, tüketicilerin bilinçlenme düzeyi de aynı hızla artmaktadır. Bu şekilde dinamik bir ortamda, üreticiler, ürettikleri ürünleri, müşterilerin beklentilerini karşılamanın ötesinde, beklentilerin çok üzerinde teknolojilerle ve aynı zamanda çok hızlı bir dağıtım ve pazarlama ağı ile sunmak durumundadırlar. Rekabetin bu kadar yoğun olduğu günümüzde, rakiplere göre daha kaliteli ürünü, daha ucuza ve daha hızlı şekilde üretmek ancak oldukça yüksek bir kalite bilinci ile mümkün olabilmektedir.

Kalite bilincinin tüketiciler düzeyinde dahi oldukça yükseldiği günümüzde, üreticiler için kalitenin, kontrol edilmesi gereken bir faaliyetten ziyade, sürekli geliştirilmesi gereken ve üretilmesi gereken bir faaliyet olduğu kaçınılmazdır. Günümüzde artık pazarlarda daha ucuza mal edilebilen bir ürünü arzu edilen kalitenin çok üzerinde üretebilmeyi başarmak için, üretimde minimum maliyet ile bir seferde en iyiyi üretmek, hatta bu kaliteyi daha satın alma aşamasında yakalamak gerekmektedir. Bunu için de hataları minimize ederek kayıpları azaltmak amacıyla çeşitli istatistiki tekniklerden yararlanarak, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde bulunmak kaçınılmaz bir gerekliliktir.

İstatistiksel analiz, cevaplanması istenen soruları, dataların kullanımı yolu ile yanıtlayan bir yaklaşımdır. Deney tasarımı, bir istatistiksel teknik olup özellikle endüstride geniş bir şekilde uygulama alanı bulan bir yöntemdir. Yöntem, üretim faaliyetlerinde kullanılmasının yanı sıra uygulamada çok çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Araştırma ve geliştirme çalışmalarını hızlandırması yönüyle birçok işletmenin kullanmayı tercih ettiği bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretim işletmelerinde amaç, hem tasarlanan sistemin en iyi performansa sahip olması, hem de üretilen ürünün özelliklerinin en uygun kalite spesifikasyonlarını sağlamasıdır. Bu ulaşılmak istenen en iyi durumu sağlayabilmek için öncelikle sistemi etkileyen en önemli özellikler tespit edilir ve bunları etkileyen unsurlar

gözden geçirilir. Daha sonra en uygun durumu elde etmek için bu etkili faktörlerin çeşitli değerleri ile deneyler yapılır ve optimum durum tespit edilmeye çalışılır.

Yapılması tasarlanan deneylerde, her faktörün çeşitli değerleri için pek çok farklı deney kombinasyonu ortaya çıkacaktır. İncelenmek istenen faktör sayısı ve bu faktörlerin farklı değerleri için deney yapılması, uygulamada mümkün olamayacak kadar çok sayıda deneyi gerekli kılar. Deney tasarımı işte tam bu noktada deney tasarımcısına büyük kolaylık sağlayarak, çok daha az sayıda deney ile bu faktörlerin belirlenen özelliğe olan etkilerini ve faktörlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini inceleyen geniş uygulama alanına sahip bir tekniktir. İstenen sonucu elde etmek için yapılacak deney sayısının az olması maliyetleri düşüren bir faktör olduğundan, bu yönüyle deney tasarımı, pratikte sıklıkla kullanılan bir tekniktir.

BÖLÜM 1 DENEYSEL TASARIM

Bir deneyin yapılması için öncelikle deney planının oluşturulması gerekmektedir. Deney planının oluşturulmasında sorulacak ilk sorulardan biri ölçülmek istenilen özelliğin ne olacağı sorusudur. Ölçülmek istenen bu özellik, üretilen bir ürünün fiziksel ölçüm değerleri olabileceği gibi, üretimde meydana gelen hata oranları veya yapılan üretim miktarları gibi çok çeşitli özellikler olabilir. Deney planlamasındaki diğer bir aşama, bu ölçülmesi istenen özelliği etkileyen faktörlerin seçilmesidir. Sonrasında ise bu seçilen faktörlerin düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bir ürünün üretilmeden önce araştırma ve geliştirme aşamasında kalite düzeyinin tasarlanması ve daha sonra üretime geçilmesi gerekmektedir. Deney tasarımı tekniklerinden faydalanmak suretiyle, üretimde arzu edilmeyen faktörlerin etkilerini minimuma indirmek mümkün olmaktadır. Diğer bir deyişle deney tasarımı, kaliteyi henüz üretime başlamadan sağlayabilmenin bir yöntemidir.

Ürünün üretimine başlamadan önce sağlanması gereken kalite faaliyetleri bulunmaktadır. Bu kalite kontrol faaliyetlerini iki grupta toplamak mümkündür.

1. Ürün tasarımı
2. Proses tasarımı

Bu noktada, hem ürünün tasarımı hem de prosesin tasarımı aşamalarını sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı adı altında inceleyebiliriz. Burada özellikle parametre tasarımı, ürünün kalite karakteristiklerini en fazla etkileyen aşamadır.

Deney sırasında kontrolümüzde olan veya olamayan bir takım faktörler bulunmaktadır. Bunlar ;

- a. Kontrol edilemeyen faktörler,
- b. Kontrol edilebilen faktörlerdir.

Kontrol edilemeyen faktörler, üretim esnasında ortam ısısı, nemi, gürültü faktörü gibi etmenlerdir. Kontrol edilebilen faktörler ise, üretim hızı, makine ısıları, çeşitli basınç değerleri gibi faktörleri ifade etmektedir.

Deney tasarımında hedeflenen, ürün üzerinde meydana gelebilecek olası çeşitliliği diğer bir deyişle varyasyonu en düşük seviyeye indirmektir. Hem ürün tasarımında hem de proses tasarımında hedeflenen, ürün ve proseste varyasyona neden olan kontrol edilemeyen faktörlerin etkisine karşılık olarak, kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini en doğru bir şekilde belirlemektir. (Şirvancı, 1997: 15) .

1.1. Deney Kavramı

Deney, ölçülecek olan faktörün bilinmeyen karakteristik özellikleri üzerindeki etkisini test etmek amacıyla yapılan bir süreç olarak tanımlanabilir. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 3). Bir deney, çok basit bir uygulama gerektirebileceği gibi, çok karmaşık bir uygulamayı da gerektirebilmektedir. Yapılacak deneyin güvenilirliği, deneyin iyi bir şekilde ve eksiksiz tasarlanmasına bağlıdır.

Tasarlanan deneyde ilk akla gelen, yapılacak deneyin asıl amacının ne olduğu, deneyde yapılacak gözlem sayısının kaç olacağı ve ayrılan bütçe ile mümkün olduğu kadar fazla bilginin nasıl toplanacağı sorularının cevabıdır. Tüm bu soruların doğru bir şekilde cevaplanması ile deney planı hazırlanmaya başlanır. (Dean ve Voss, 1999: 1).

Deneyler, genellikle bir sistem veya prosesin karakteristiğini belirleyen bir özelliğini detayları ile incelemek amacıyla yapılan faaliyetlerdir. İstatistiksel olarak deneyler, belirli bulguları doğrulamak veya reddetmek için yapılırlar. Deneyler türlerine göre ikiye ayrılabilir;

1. Kesin ve Karşılaştırmalı Deneyler
2. Tek ve Çok Etmenli Deneyler

Kesin ve karşılaştırmalı deneyler, daha öncesinde bilinmeyen ya da bilinen bir doğruyu onaylamak ve test etmek amacıyla yapılırlar. Tek ve çok etmenli deneyler ise, bağımlı değişkeni etkileyen tek değişken çözüm deneye alınırsa tek etmenli, çok sayıda değişken çözüm deneye alınırsa çok etmenli deney denilmektedir. (Çömlekçi, 2003: 8).

Deneyler, genellikle birden fazla soruya yanıt bulmak amacıyla yapılmaktadırlar. Yapılacak deneyin birimleri rassal olarak seçilmelidir. Deney tasarımı, bağımlı değişkeni veya değişkenleri etkilediği varsayılan bağımsız değişkenlerin farklı düzeylerdeki etkisini araştırmaktadır. (Çömlekçi, 2003: 9).

Deney tasarımının en büyük avantajlarından biri prosesteki değişkenliğin azaltılması ve kaliteli ürünün düşük maliyet ile üretiminin sağlanmasıdır. Bu da en uygun üretim şartlarını sağlayan parametrelerin, yapılan deneyler yoluyla belirlenmesi ile mümkündür.

Deney tasarımı, özellikle mevcut bir prosesin performansını arttırmada veya yeni bir prosesin geliştirilmesinde kullanılan bir tekniktir. Deney tasarımının amaçlarından bahsedecek olursak;

- a) Ölçülen karakteristik üzerindeki değişkenliğin temel nedenlerini tespit etmek,
- b) Koşulların oluşmasına neden olan minimum ve maksimum çıktı değerlerini bulmak,
- c) Ulaşılan çıktıyı, farklı değerlerdeki kontrol edilebilen değişkenler ile karşılaştırmak,
- d) Tahmin edilecek karakteristik için matematiksel model elde etmek. (Dean ve Voss, 1999: 1).

Oehlert (2000) 'e göre, iyi bir deney tasarımının aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenir.

- Sistematiik hatadan kaçınılması,
- Kesin olması,
- Hesaplanan hataya izin vermesi,
- Geçerlilik alanının geniş olması.

Deney tasarımında prosesi etkilediği düşünölen tüm etkenlere faktör denilmektedir. Bu faktörlerin farklı kategorilerine ise seviye adı verilmektedir. Deney tasarımında bulunan faktör sayısı ve seviye sayısı bir veya birden fazla olabilmektedir.

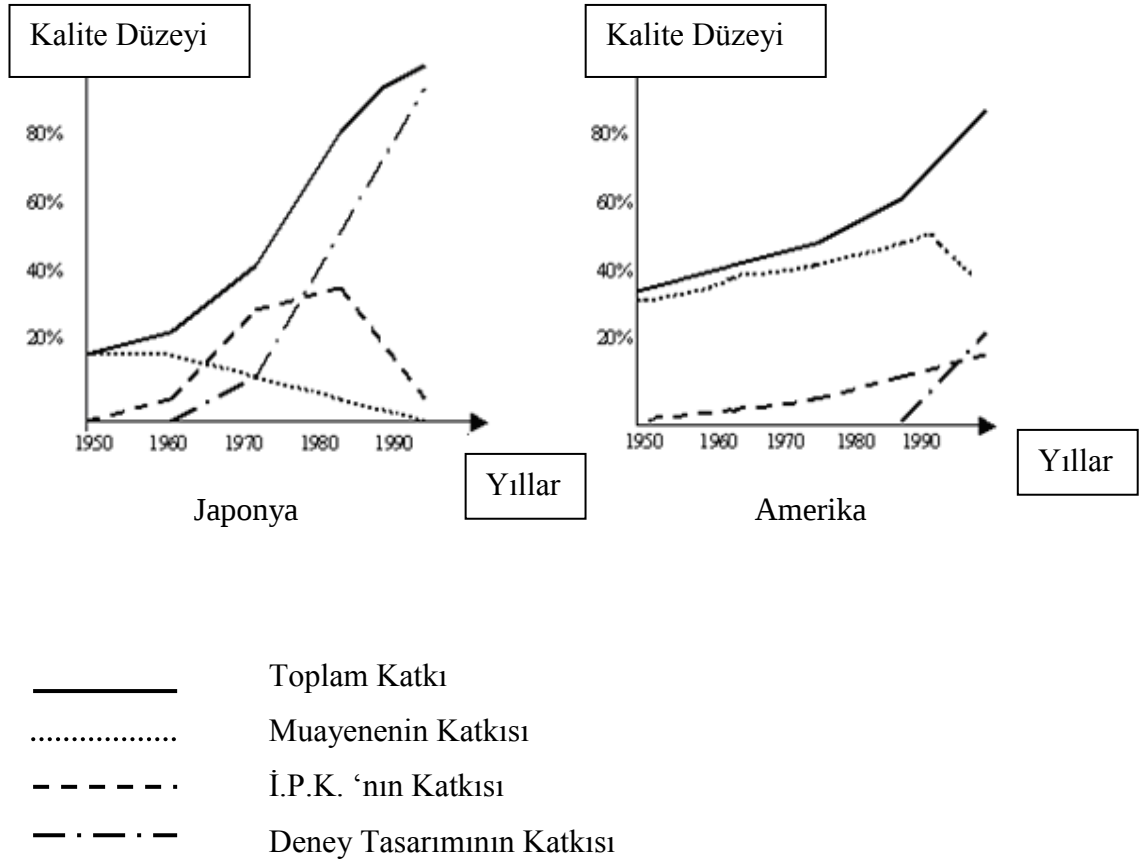
1.2. Deney Tasarımının Tarihçesi

Deney tasarımı, 1920 ‘li ve 1930 ‘lu yıllarda ilk olarak Sir Ronald Fisher tarafından İngiltere’de Tarımsal Deneyler İstasyonunda çalıştığı esnada bulunmuştur. alışmaları, tarımsal ürünlerin verimliliğini arttırmak üzerine olup, çeşitli özellikteki gübrelerin ürün üzerindeki etkilerini araştırmıştır. (Fisher, 1953: 26).

Fisher, deney tasarımının temel düşüncesini oluşturduğu ilk kitabını 1935 yılında yazmıştır. İlerleyen yıllarda deney tasarımı konusunda Joan Fisher-Box, Sir Frank Yates, Raj Chandra Bose, A. Bradford Hill ve Donald Campbell pek çok metodoloji geliştirmişlerdir. (Tamhane, 2009: 4).

Fisher aynı zamanda günümüzde istatistiki analizde sıklıkla kullanılan Varyans Analizi (ANOVA) yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem Amerika’da tarım sektöründe kullanılmaya başlamış ve geliştirilmiştir. Ardından ilaç sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem daha önceki yıllarda Japonya’da Profesör Taguchi tarafından özellikle imalat sektöründe geniş ölçüde uygulanmakta idi. (Şirvancı, 1997: 14).

Aşağıda bulunan şekilde deney tasarımının Japonya ve Amerika’daki kullanımının kalite yönetimine olan katkısı görölmektedir.



Şekil 1-1 1950-1990 Yılları Arasında Üç Temel Yöntemin Kalite Yönetimine Katkısı (Şirvancı, 1997: 13).

Japonya'da 1970 'li yıllardan itibaren deney tasarımının kalite yönetimine olan katkısı hızla artmaya başlarken, muayenenin katkısı düşmeye başlamış olup, istatistiksel proses kontrolün etkisi ise 1980 'li yıllardan sonra düşmeye başlamıştır. Amerika'da ise özellikle Profesör Taguchi'nin verdiği seminerlerin ardından deney tasarımının kalite yönetimine olan katkısı artmaya başlamıştır.

1.3. Deney Tasarımı İlkeleri

Deney tasarımında kullanılan 3 temel ilke bulunmaktadır. Bu ilkeler rassallaştırma, tekrarlama ve bloklama 'dır.

a) Rassallaştırma :

Deney tasarımıında rassallaştırma kavramı, ilk olarak Fisher tarafından ortaya atılmıştır. Rassallık, belirli bir kurala bağı olmaksızın tesadüfi olarak anlamında bir kavramdır. İstatistiksel olarak rassallaştırma, hem deneyde kullanılacak makine, insan veya ekipmanın hem de deneyin adımlarının rassal olarak belirlenmesi anlamına gelmektedir. (Çömlekçi, 2003: 23).

Rassallaştırma, deneysel hatanın etkisini azaltan metodlardan biridir. (Antony, 2003: 8). Deneyde kullanılan bağımsız faktörlerin seviyeleri her deneyde rassal olarak atanmaktadır. Deneylerde, bağımsız değişken sayısı birden fazla olduğundan bunlar farklı faktör seviyelerine rassal olarak atanmaktadır.

Deney sonuçlarının analizinde rassallık unsuru, hem istatistiksel analizin bir temeli olarak hem de deneysel hata ve önyargıların giderilmesi noktasında oldukça önemlidir.

b) Tekrarlama :

Deney tasarımıında tekrarlama kavramı, deneyin rassal sıklıklar ile birden fazla kez yapılması anlamına gelmektedir. Tekrarlamanın iki temel önemi bulunmaktadır. Birincisi deneyi yapan kişinin deneysel hatayı giderme imkanı tanınmasıdır. İkincisi ise araştırmacıya, faktör etkilerini çok daha kesin olarak değerlendirmesini sağlamasıdır. Deneydeki tekrar sayısının tek olması durumunda tatmin edici sonuçlara ulaşılması mümkün olamayacaktır. (Antony, 2003: 9).

Bir deneyde tekrar sayısı ne kadar fazla ise o deneyin maliyeti de o kadar yüksek olacaktır. Ancak istatistiksel olarak belirli bir anlamlılık düzeyinde yapılan testlerin geçerliliğinin artırılması ve daha kesin sonuçlar elde edilmek isteniyorsa tekrar sayısının artırılması gerekmektedir.

Bazı deneylerde, farklı çevre şartlarının deneye etkileri farklı olabilmektedir. Yine bazı bilimsel araştırmalarda bir yıldan diğer yıla bazı şartlar değişebilmektedir. Bu farkın izlenebilmesi için deneyin tekrarlanması önemlidir. (Çömlekçi, 2003: 24).

c) Bloklama :

Deney tasarımında yapılan deneyin daha hassas olarak tamamlanabilmesi ve sonuçların geçerliliğinin artırılması amacıyla deneyin bölümlere ayrılması işlemine bloklama denilmektedir. Deneyin ayrılan her bir bölümüne blok adı verilmektedir. Amacı, deney hatasının en aza indirilmesidir. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 5).

Bloklama, birbirine benzeyen deney birimlerini gruplandırarak, faktörlerin ve bu faktör seviyelerinin etkileme derecelerini belirlemek için kullanılmaktadır. Böylece kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin azaltılması sağlanmaktadır. Yapılacak deneyde, sistematik değişkenliğin tespitinin mümkün olmadığı durumlarda, deneyin bloklara ayrılarak yapılması daha doğru sonuçlar verebilmektedir. (Morris, 2011: 6).

Bloklama yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus, blokların homojen olmasının sağlanması açısından birbirine yakın deney birimleri ile oluşturulmasıdır. Bloklama yapılırken, farklı hammadde veya farklı operatör ile yapılan deneyler bir blokta toplanabilir. Bloklar arasındaki değişkenliğin deneysel hatadan arındırılması deneyin doğruluğu açısından önemlidir. (Antony, 2003: 10).

1.4. Deney Tasarımının Kullanım Alanları

Deney tasarımı, sadece üretim sektöründe değil, pek çok alanda kullanım olanağı bulan bir tekniktir. Bu teknik, öncelikle tarım sektöründe kullanılmaya başlamış olup, ardından biyoloji alanında kullanılmıştır. Günümüzde pek çok endüstri alanında kullanılmaktadır.

Bu tekniği birkaç sektör ile kısıtlamak olanaksızdır. Çünkü üretimin olduğu ya da bir sistem ve bu sistemi etkileyen unsurların olduğu her türlü alanda uygulama

bulabilmektedir. Ayrıca yeni bir sistemin geliştirilmesinde ya da mevcut bir prosesin iyileştirilmesinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır.

Ürün ya da proses parametre tasarımında çalışılacak en iyi değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada çalışılacak birçok parametre olabilmekte ve bu faktörler birbirleri ile etkileşim halinde olabilmektedirler. Bu faktörlerin bazıları kontrol edilebilen, bazıları ise kontrol edilemeyen faktörlerdir. Ürünün prodesteki performansına etki eden bu faktörlerin etki derecelerini ve olması gereken optimum değerlerini inceleyen yöntemle istatistiksel deney tasarımı denilmektedir. (Şirvancı, 1997: 15).

Deney tasarımı özellikle aşağıdaki durumların ortaya çıktığı durumlarda kullanılmaktadır.

- Prosesin karlılığının artırılmasında, yatırımın geri dönüş süresinin kısaltılmasında, kararlılığının ve proses yeteneğinin geliştirilmesinde,
- Prosesin değişkenliğinin azaltılmasında ve proses maliyetlerinin düşürülmesinde,
- Proses tasarımının geliştirilmesi ve sürenin kısaltılmasında,
- Mühendislerin moralinin yükseltmesinde ve kronik problemlerin başarı ile çözümlenmesinde,
- Proses girdi ve çıktıları arasındaki ilişkinin anlaşılmasında,
- Fire oranlarının azaltılarak işin karlılığının artırılmasında, yeniden işleme ve test maliyetlerinin azaltılmasında kullanılmaktadır. (Antony, 2003: 2).

Deney tasarımı yöntemi, bir ürünün henüz üretime geçmeden önceki tasarım aşamasında kullanılmakta olup, kalitenin tasarım ile başlaması gerektiği ilkesinden yola çıkılarak kullanılmaktadır. Bu durumda, ürün veya proses aşamasında üretime geçmeden ortaya çıkabilecek problemlerin giderilmesini sağlamaktadır.

1.5. Deney Tasarımının Uygulama Aşamaları

Deney tasarımı tekniğinin uygulama aşamasında aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir.

a) Problemin Belirlenmesi :

Tasarımın en önemli aşaması olup, varılmak istenen hedefe ulaşmada problemin doğru tespiti kritiktir. Sorunun doğru tespiti çözüm adına atılan en önemli aşamadır. Bu noktada spesifik sorunların bir listesinin yapılması ilk aşama olmalıdır. (Montgomery, 2005: 14).

Deney tasarımına başlamadan önce, problem ile ilgili ayrımların hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Problem, belirli bir durum ile ilgili olabileceği gibi bir süreç ile ilgili de olabilmektedir. Durumsal problemler belirli bir olay ve durum ile ilgili olup, süreç problemleri sonuçları zaman içerisinde değişebilen olayları kapsamaktadır.

Problemin belirlenmesi aşamasında, araştırmacının bazı soruların sorulması yoluyla asıl sorunun varlığını tespit etmesi mümkün olabilmektedir. Örneğin, yapılmak istenen deney bir optimizasyonu mu hedeflemektedir ? Ya da yeni bir sürecin kararlılığını veya gücünü mü ölçmek için yapılmaktadır ? Veya bir süreçteki değişkenliğin nedeni mi araştırılmak istenmektedir ? Bu soruların cevabı problemin doğru tespitinde yol gösterici olmaktadır.

b) Bağımlı Değişkenin Seçilmesi :

Seçilecek bağımlı değişken, deneyin amacı hakkında net bilgiler vermelidir. Bağımlı değişkenin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesi ve modelin varsayımlarına uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. (Çömlekçi, 2003: 17).

Bağımlı değişken genellikle ölçülen karakteristiğın ortalaması veya standart sapması olmaktadır. Genellikle deneyin yapılmasından önce, bağımlı değişkenin nasıl ölçülmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekmektedir. (Montgomery, 2005: 15).

c) Faktör ve Seviyelerinin Seçilmesi

Araştırmacı deneyin yapılmasından önce, bağımlı değişkeni etkilediğini düşündüğü potansiyel deney faktörlerini seçmek durumundadır. Seçilecek bağımsız değişkenlerin hangi düzeylerinin deneyde kullanılacağı, deneyi yapan kişinin konu ile ilgili bilgi ve tecrübesine bağılı olmaktadır. Seçilecek bağımsız değişkenlerin düzeyleri, bağımlı değişkende değişikliğe neden olup olmadığını tespit edecek şekilde belirlenir. (Çömlekçi, 2003: 15).

Genellikle faktör seviyesi olarak iki seviye deneysel çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Deney tasarımıında bağımlı değişkenlerin tespitinde neden-sonuç diyagramlarının diğeri bir adı ile balık kılçığı diyagramlarının kullanıldığı görülmektedir. (Montgomery, 2005: 16).

d) Deneyin Tasarlanması :

İlk aşamaların belirlenmesinin ardından yapılacak deney tasarımının türü ve uygulanacak teknikler belirlenmelidir. Deneyin örnek büyüklüğü, tekrar sayısı ve bloklama uygulanıp uygulanmayacağı tespit edilmelidir. Deneyin yapılış sırasının rassallık ilkesine uygun olması gerekmektedir. (Berger ve Maurer, 2002: 6).

e) Deneylerin Yapılması

Bu aşamada veriler toplanmaktadır. (Hinkelmann ve Kempthorne, 2008: 55). Her şeyin plana uygun şekilde ilerlediğinden emin olunmalıdır. Deneyin aşamalarında olabilecek hatalar, deneyin doğruluğunun ve geçerliliğinin bozulmasına neden olabilir. Deneyin yapılmasından önce birkaç deneme yapılması genellikle

araştırmacıya olumlu yönde yardımcı olmaktadır. Bu denemeler, deneysel hatalar ve ölçüm sistemi hakkında fikir verebilmektedir. (Montgomery, 2005: 18).

f) Verilerin İstatistiksel Analizi :

Deney ne kadar doğru bir şekilde tasarlanırsa, sonuçlar ve bunların istatistiksel analizi de o kadar geçerli olacaktır. Sonuçların analizinde pek çok yazılım paketi bulunmaktadır. Analiz yöntemleri içerisinde en basit analiz edilebilen grafiksel yöntemlerdir.

Deney tasarımında kullanılan istatistiki teknikler, bir takım parametrelerin, analiz edilmek istenilen sonuç üzerindeki etkileri hakkında kesin bir yargı bildirmezler. Bu teknikler genellikle sonuçların geçerliliğine ve güvenilirliğine bir dayanak oluşturarak, tasarımcıya yol gösterirler. Belirtilen kurallara ve yapılan plana uygun bir şekilde tasarlanmış deneylerde, ortaya çıkabilecek bir sonucun deneysel olarak ispat edilmesi sağlanamamaktadır. Burada yapılmak istenen, verilen bir karardaki anlamlılık düzeyinin ya da varılan bir sonuca dayanılarak ilgili parametre ile ilgili bir güven aralığının tespit edilmesine imkan sağlanmış olmaktadır. (Montgomery, 2005: 19).

g) Sonuç ve Öneriler :

Bu aşamada istatistiksel analizin ardından çıkan sonuçlar irdelenir. Bulunan sonuçlar ve yapılan öneriler, başka bir çalışmanın konusu olabilirler. Bu nedenle bulunan sonuçların doğruluğunun güvenilirliği açısından bir deneme testi yapılması gerekmektedir. (Çömlekçi, 2003: 21).

1.6. Deney Tasarımı Türleri

Yapılan deneyin türüne, faktör sayısına ve incelenen faktörlerin seviye sayısına göre farklı tasarımlar yapmak mümkündür. Bu bahsedilen parametreler ve tasarımcının hedeflediği çıktıları ölçümleme düzeyine bağılı olarak çeşitli deney tasarımı türlerini

kullanmak mümkündür. Deney tasarımı türleri genel olarak aşağıdaki şekilde incelenebilmektedir.

1.6.1. Bölünmüş Parseller Tasarımı

Bu tasarım türü ilk önce tarımsal alanda kullanılmış olduğundan, tasarımın adı parsel tasarımı olarak geçmektedir. İki farklı faktörün etkisinin aynı anda ölçülmek istendiği durumlarda A faktörü ana parsel, B faktörü ise alt parsellere rassal olarak atanır. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 207).

Örneğin boru üretiminde ekstrüderin ısı değeri ile hammadde karışım formülü hazırlama metotlarının borunun kopma mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmak istendiğini düşünelim. Burada, hammadde karışım formülü üç farklı yöntem ile hazırlanmaktadır. Sonrasında bu hammadde karışımları (ana parsel), kendi içerisinde dörde bölünerek sıcaklık faktörünün (alt parsel) düzeyleri (alt parsel faktörü) her bir karışıma rastgele olarak atanır.

Uygulamada genellikle, önemli olduğu düşünülen bir faktörün çeşitli düzeyleri, alt parsellere uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra alt parsel sayısı, ana parsel sayısına göre daha fazla olduğundan, alt parsel faktörünün etkisi, ana parsel faktörünün etkisine oranla daha hassas bir şekilde gözlemlenmiş olmaktadır.

Bu tasarım türünde rassallaştırma, iki aşamada yapılmaktadır.

1. Ana parsel faktörünün düzeyleri, ana parsellere rassallaştırma işlemine uygun olarak atanmaktadır.
2. Alt parsel faktörünün düzeyleri her bir ana parselin içindeki alt parsellere rastgele olarak atanmaktadır. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 208).

1.6.2. Rassal Blokları Tasarımı

Bu yöntem, ilk olarak tarımsal alanda, farklı gübre çeşitlerinin, farklı özelliklerdeki mahsül üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılmış olup, bu tasarım yöntemi

deney materyallerinin her birinin homojen olduğu durumlarda kullanılmaktadır. (Tamhane, 2009: 169).

Deney tasarımı yapılacak olan sistem, aynı büyüklük ve şekilde bloklara bölünür ve olabildiğince homojen özelliklerine göre gruplandırılırlar. Homojen olarak ayrılan bu bloklar kendi aralarında heterojen bir yapıya sahip olmalıdır. Bloklama deneysel hatanın azaltılması yolu ile deneyin hassasiyetinin artırılmasını sağlamaktadır.

Bu yöntem blok tasarımları içinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bazı deneylerde ekonomik, beşeri veya fiziksel nedenlerle, deneyi bloklara ayırmak zorunluluk haline gelebilmektedir. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 63).

Örneğin, bir plastik enjeksiyon ürününün üç farklı makinede üretilbildiğini varsayalım. Ürünün kalitesi üzerinde makine faktörünün etkisinin incelendiği bir deneyi tasarlayalım. Deney sırasında stoklarımızda üç farklı hammadde olduğunu ve deneyi bu üç farklı hammadde ile yapmak durumunda olduğumuz düşünelim. Bu durumda her üç hammadde için üç farklı blok oluşturmamız uygun olacaktır. Böylece Tablo 1-1 ‘deki gibi bir tasarım ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1-1 Rassal Blokları Deney Tasarımı Örneği

1. Makine	2. Makine	3. Makine	I. Blok
2. Makine	3. Makine	1. Makine	II. Blok
3. Makine	1. Makine	2. Makine	III. Blok

1.6.3. Latin Karesi Deney Tasarımı

Latin karesi tasarımı da yine bloklama ilkesine dayanmaktadır. Ancak burada farklı olarak, deney birimleri arasındaki heterojenlik bir tane bloklama değişkeni ile giderilemiyorsa iki farklı bloklama değişkeni kullanılır. Bu tasarım türünde, satır

sayısı, sütun sayısı ve deneme sayıları birbirine eşittir. (Lee, 1935: 211). Her bir deneme her satır ve sütunda birer kere bulunmalıdır.

Satır sayısı : r

Sütun sayısı : c

Deneme sayısı : a

Bu tasarım türünde $r = c = a$ olduğundan r^2 'dir. Tasarımın boyutlarını ifade etmek için $r \times r$ Latin Karesi deyimini kullanılmaktadır. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 97).

Tablo 1-2 Latin Karesi Tasarımı Örnekleri (Montgomery, 2005: 136).

4 X 4	5 X 5	6 X 6
A B D C	A D B E C	A D C E B F
B C A D	D A C B E	B A E C F D
C D B A	C B E D A	C E D F A B
D A C B	B E A C D	D C F B E A
	E C D A B	F B A D C E
		E F B A D C

McGehee ve Gardner (1949; alıntıyı yapan Cochran ve Cox, 1957: 119) çalışmalarında bir halı fabrikasında, bayan çalışanlar üzerinde farklı müzik programlarının etkisini ölçmek üzere örnek vermişlerdir. A, B, C, D farklı müzik programları olsun, E ise müziksiz çalışma durumunu göstere. 5 x 5 latin karesi tasarımında, haftanın 5 ayrı gününde 5 hafta boyunca bu müzik programlarının uygulandığı durumu ele alırsak, deney planı aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 1-3 5 X 5 Latin Karesi Tasarımı Örneği (Cochran ve Cox, 1957: 119).

Haftalar	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
1	A	B	C	D	E
2	B	C	D	E	A
3	C	A	E	B	D
4	D	E	A	C	B
5	E	D	B	A	C

1.6.4. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

Faktöriyel deney tasarımları, birden fazla seviye ve birden fazla sayıdaki faktörlerin deney materyali üzerindeki etkilerinin ele alındığı deney tasarımı türüdür. Faktöriyel tasarım, deneylerdeki her bir faktörün tüm seviyelerinin diğer faktörlerin her bir seviyesini içeren, mümkün olan bütün kombinasyonlarının yapılması ile oluşur. (Morris, 2011: 143).

Bu yöntem, Fisher ve Yates tarafından önerilmiş olup, ekonomiklik açısından her seferinde bir faktörün etkisini araştıran geleneksel tasarımlara göre çok daha avantajlıdır. Burada amaç, iki ya da daha fazla faktörün ana etkilerini ve etkileşim etkilerini aynı anda incelemektir. Bu tür tasarımlar özellikle mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 147).

Örnek vermek gerekirse, 2 seviyeli, 7 faktörlü bir deneyde yapılması gereken deney sayısı, bütün faktör seviyelerinin çarpımına eşit olmaktadır. Yani $2^7 = 128$ deney yapılması gerekmektedir.

Tablo 1-4 Tam Faktöriyel Deney Tasarımı Örneği (Antony, 2003: 55).

Proses Parametreleri	Etiket	Düşük Seviye	Yüksek Seviye
Kaplama Süresi	A	4 saniye	12 saniye
Kaplama Solüsyon Sıcaklığı	B	16 °C	32 °C

Bu deneyde 2 faktör ve bu faktörlerin 2 seviyesi vardır. Bu nedenle $2^2 = 4$ farklı deney yapmak gerekmektedir.

1.6.5. Kesirli Faktöriyel Deney Tasarımı

Bu tür tasarımlar hem işletmelerde hem de mühendislik alanlarında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Kesirli faktöriyel deney tasarımı, tam faktöriyel tasarımdaki zaman ve maliyet kaybını azaltmak amacıyla kullanılan bir deney

tasarım yöntemidir. Bu yöntemde amaç, deney sayısının azaltılmasıdır. Bu tür tasarımlarda ortogonal dizinler kullanılmaktadır. (Antony, 2003: 73).

Bunu yaparken, faktörler arasındaki etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapmak suretiyle deney sayısı azaltılabilmektedir. Kesirli faktöriyel deney tasarımında deney sayısının azaltılmasında kullanılan diğer bir yöntem de faktör seviyelerini belirlerken “alt değer” ve “üst değer” gibi iki farklı seviye kullanmaktır. Üç seviye kullanıldığında deney sayısı da artacaktır.

1.7. Deney Tasarım Metodolojisi

Deney tasarımı metodolojisi temel olarak 4 bölüme ayrılabilir. Bunlar ;

- Planlama Aşaması
- Tasarım Aşaması
- Yürütme Aşaması
- Analiz Aşaması’dır.

1.7.1. Planlama Aşaması :

Planlama aşaması aşağıdaki temel aşamalardan oluşmaktadır.

- Problemin ortaya konularak formülasyonun oluşturulması,
- Bağımlı değişkenin diğer bir deyişle ölçülecek kalite özelliğinin seçilmesi,
- Proses değişkenlerinin veya tasarım parametrelerinin seçilmesi,
- Proses değişkenlerinin sınıflandırılması ve gerekli ise bloklanması,
- Proses değişkenlerinin seviyelerinin belirlenmesi,
- Etkileşim etkilerinin ortaya konulması adımlarından oluşmaktadır. (Antony, 2003: 31).

Bu aşamada en önemli noktalardan biri problem hakkında genel bilgiye sahip olunmasıdır. Deneyi yapacak kişi, her bir değişkenin kaynağını ve kaç seviye olması gerektiğini ortaya koymalıdır. Proses hakkında sahip olunan bilgi ile pratik

tecrübenin birleşmesi planlama aşamasının sağlıklı bir şekilde ortaya konulmasında etkilidir.

Bu aşamada, problemin doğru tespit edilmesinde sebep-sonuç diyagramlarından yararlanıldığı sıklıkla gözlenmektedir. (Montgomery, 2005: 16).

1.7.2. Tasarım Aşaması

Tasarım aşaması iki adımdan oluşmaktadır. Birincisi, deneyin karakteristiğine göre en uygun deney tasarım yöntemini seçerek deney planının oluşturulmasıdır. Seçilecek tasarım türü bölünmüş parseller tasarımı, rassal blokları tasarımı, latin karesi tasarımı, tam faktöriyel tasarım veya kesirli faktöriyel tasarım olabilir.

İkinci aşama ise deney planına göre faktörlerin atanmasıdır. Planı yapılmış olan deneyde tasarımcı, her gözlem için faktörlere değerler atamalıdır. Bu değerlerin birkaç seviyeleri olabilmektedir. (Rekab ve Shaikh, 2005: 8).

1.7.3. Yürütme Aşaması

Bu aşama, planlanan deneylerin yapıldığı ve sonuçların değerlendirildiği aşamadır. Analiz edilecek verilerin sağlandığı aşama olup, bu aşamada kullanılabilecek çeşitli istatistik yazılım programları bulunmaktadır. (Berger ve Maurer, 2002: 7).

Takip edilecek adımlar aşağıdaki gibi olmalıdır.

- Deneyin yapılacağı en uygun yer seçilerek, olası dış etmenlerin deneyi etkilemesinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Ortam sıcaklığı, ortamın nemi, gürültü seviyesi gibi faktörler dış etmenlere örnek olarak verilebilir.
- Deney için uygun malzeme, operatör, makine gibi gerekliliklerin belirlenmesi bu aşamada tamamlanmalıdır.
- Sürdürülebilir fayda-maliyet analizi yapmak gerekmektedir.

Bu adımlar sürdürülürken, aşağıdaki noktalara da dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Deneyden sorumlu çalışanın deney boyunca sabit tutulması izlenecek en iyi yoldur. Böylece çalışan operatör kaynaklı değişkenlikler ortadan kaldırılmış olmaktadır.
- Deneyin izlenmesi yolu ile ortaya çıkabilecek çeşitli farklılıkları gözlemlemek gerekmektedir.
- Sonuçların bilgisayar ortamına veya yazılı olarak kaydedilmesi gerekmektedir. (Antony, 2003: 33).

1.7.4. Analiz Aşaması

Deneyin yapılması tamamlandıktan sonra, sıra sonuçların yorumlanmasına gelmektedir. Deney tasarımının bu aşamasında aşağıdaki adımların izlenmesi uygun olacaktır.

- Bu aşamada, proses parametrelerinin ortalama süreç performansına etkisinin belirlenmesi gerekmektedir.
- Proses parametrelerinin performans değişimine olan etkisinin belirlenmesi gerekmektedir.
- Optimum performans verimini veren deney parametre seviyelerinin belirlenmesi gereklidir.
- Konu ile ilgili olarak gelecek araştırmaların mümkün olup olmayacağını belirlenmesi gerekmektedir. (Antony, 2003: 34).

1.8. Deneysel Hata

Deneyler genellikle iki veya daha fazla tekrarlı olarak yapılırlar. Aynı deneyin birinci ve ikinci tekrarı arasındaki değişkenliğin ölçüsüne deneysel hata denilmektedir. Diğer bir deyişle, kontrol altında bulunan bir deneyde kontrol edilemeyen değişkenliğin ölçüsüne deneysel hata da denilmektedir. (Çömlekçi, 2003: 10).

Deneylerde, hatalar kontrol altına alınmalıdır. Aksi durumlarda deney sonuçlarının güvenilirliği azalır. Deneysel hatanın azaltılması için kontrol edilemeyen parametreler göz önüne alınmak durumundadır. Örnek olarak ortam sıcaklığı, nem, mevsim etkisi gibi faktörlerin etkisi göz önüne alınmalıdır. Bu faktörlerin deneyi etkilediği sonucuna varıldığında mutlaka aynı mevsim, aynı ortam sıcaklığı veya nem değerlerinin olduğu koşullarda deney tamamlanmalıdır.

Deneysel hatayı iki temel başlıkta incelemek mümkündür. Birincisi rassal hatalar, ikincisi ise sistematik hatalardır.

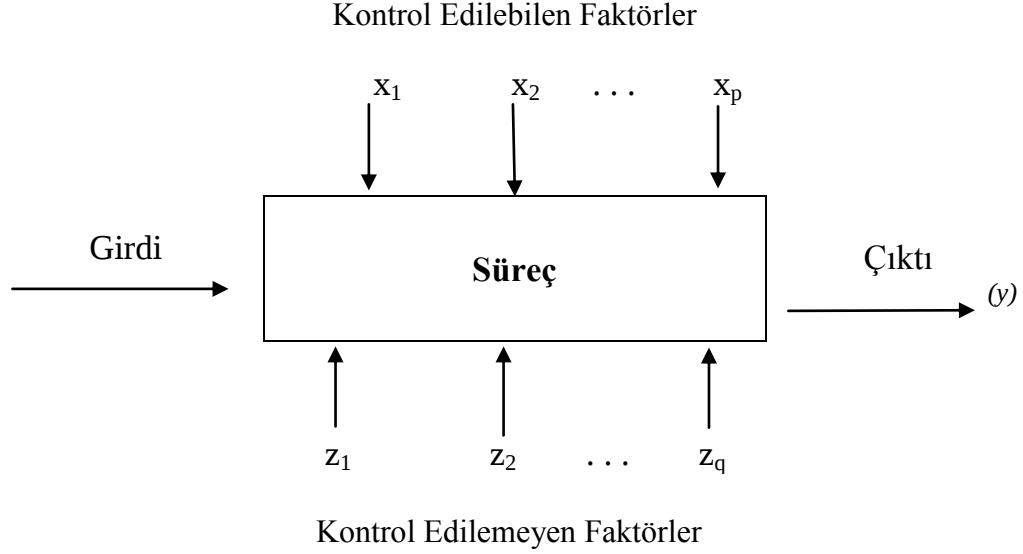
- **Rassal Hatalar** : Farkında olunmayan ancak deneyi etkileyen sıcaklık, nem, gürültü gibi faktörlerin etkisi ile oluşan hatalardır. Bunun önlenmesi için deney boyunca oluşan koşulların sabit tutulması gerekmektedir.
- **Sistematik Hatalar** : Genellikle kullanılan yöntemden kaynaklanan hatalar olup, deney sonuçlarının olması gerekenden fazlasıyla sapması şeklinde kendini göstermektedir. Sistematik hatalar genellikle, faktör seçiminde, deney tasarım yönteminin seçiminde veya değerlendirme aşamasında yapılan hatalardan kaynaklanmaktadır. (Goupy ve Creighton, 2007: 210).

1.9. Deney Tasarımında Maliyetlerin Göz Önüne Alınması

Deney tasarımının işletmelerde uygulanmasında, çalışmaların işletmeye maliyeti önem kazanmaktadır. Bu nedenle deney sayısının azaltılması istenmektedir. Özellikle makinelerin durdurulmasını gerektiren deneyler söz konusu olduğunda bazı sektörlerde bunun çok zor olduğu görülmektedir. Örneğin metal sektöründe, ergitme ocaklarının durdurulması büyük maliyet kaybına neden olabilmektedir.

Deney maliyeti planlama aşamasında belirlenirken, makineye ait kayıplar, işçilik maliyeti ve diğer tüm maliyetler göz önüne alınmalıdır. Bunun yanı sıra üretim yapılamamasından kaynaklanan kayıp zaman maliyeti de tespit edilmeli ve deney maliyetine ilave edilmelidir.

Deneyler, çoğunlukla bir sistemin ya da sürecin performansını ölçmek için kullanılmaktadırlar. Örnek bir deney modeli Şekil 1-2 'de gösterilmiştir. Deneyin gerçekleştirilmesi esnasında kullanılacak girdiler insan, makine ve hammadde olabilir.



Şekil 1-2 Bir Sistem ya da Sürecin Genel Modeli (Montgomery, 2005: 2).

Deney tasarımı, maliyeti etkileyecek temel unsurlar tekrar sayısı, faktör sayısı ve faktörlerin seviye sayılarıdır. Planlama aşamasında belirlenecek bu unsurlar, tasarımcıya deney maliyeti hakkında bilgi vermektedir.

1.10. Deney Tasarımında Bulunması İstenen Özellikler

Deney tasarımı, bir sürecin gösterdiği davranışlar hakkında bilgi toplanmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Sürece ait kalite spesifikasyonlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve ilgili sürecin iyileştirilmesinde seçilen faktörlerden hangilerinin hangi seviyede olması gerektiğinin tespiti amacıyla yapılır.

Deney tasarımı yapılırken bir kontrol çizelgesi oluşturulması, yapılan işi kolaylaştıracaktır. Dean ve Voss 'a (1999) göre örnek bir kontrol listesi aşağıdaki gibi olabilir.

1. Deneyin amaç ve hedeflerinin belirlenmesi,
2. Değişkenliği yaratan aşağıdaki tüm nedenlerin,
 - 2.1. Tüm faktörlerin ve bunların seviyelerinin,
 - 2.2. Deneysel birimlerin,
 - 2.3. Bloklanmış faktörler, gürültü faktörleri ve ortak değişkenlerin belirlenmesi,
3. Deney birimleri için kural belirlenmesi,
4. Yapılacak ölçümlerin, deney prosedürlerinin ve öngörülen sorunların belirlenmesi,
5. Pilot bir deneme yapılması,
6. Pilot denemenin ardından modelin oluşturulması,
7. Analizin ana hatlarının belirlenmesi,
8. Gözlem sayısının hesaplanması,

Yukarıdaki adımların gözden geçirilmesi ve gerekli ise gereken düzeltmelerin yapılması sağlanmalıdır. (Dean ve Voss, 1999:8).

Bu adımlar göz önüne alınarak yapılan bir deney, aşağıdaki sorulara cevap verilebilecek şekilde tasarlanmalıdır. (Lazic, 2004: 158).

- Sonuçların ve parametrelerin etkisi hesaplanabiliyor mu ?
- Sonucu kaç parametre etkiliyor ?
- Eş zamanlı olarak kaç parametre hesaba katılmalıdır ?
- Kaç tane deney yapılması gerekiyor ?
- Ne türde bir veri analizi (Regresyon, ANOVA) kullanılmalıdır ?
- Etkiler üzerinde hangi seviye farklılıkları ne kadar önemlidir ?

1.11. Deney Tasarımı Sürecinde Kullanılan Genel Kavramlar

Kalite (Sonuç) Değişkeni : Üzerinde hangi kriterlerin etkili olduğu tespit edilmeye çalışılan değişkendir. Kalite değişkeni ya da sonuç değişkeni iyileştirilmesi hedeflenen değerdir. Deney tasarımı uygulanarak hangi parametrelerin bu değişkeni hangi düzeyde etkilediği bulunmaya çalışılmaktadır.

Faktör : Kalite değişkeni üzerindeki etkisinin ölçülmeye çalışıldığı parametrelere, faktör denilmektedir. Bu faktörler kontrol edilebilen veya kontrol edilemeyen faktörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Faktörler, ısı, basınç, süre gibi ölçülebilir parametreler olabileceği gibi, farklı ilaçların veya farklı kişilerin etkileri gibi ölçülemeyen değişkenler de olabilmektedir.

Seviye : Sonuç değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin farklı değerlerine faktörlerin seviyeleri denilmektedir. Örnek olarak bir hasta üzerinde farklı ilaçların etkisinin ölçülmesi istenildiğinde bu ilaçların farklı dozlarına (30 miligram veya 40 miligram) faktör seviyeleri adı verilmektedir.

Etkileşim : Bir faktörün sonuca olan etkisi, diğer faktörün hangi değerde olduğuna bağlı ve ona göre değişkenlik gösteriyorsa, bu iki faktör arasında etkileşim var denilmektedir. (Şirvancı, 1997: 23).

1.12. Deney Tasarımında Hesap Tablolarının Kullanımı

Deney tasarımı uygulanmasında ve sonuçların yorumlanmasında istatistiksel paket programlardan yararlanılabildiği gibi, özellikle işletme ortamında sonuçların çok daha kolay yorumlanabildiği hesap tablolarından da yararlanılabilmektedir.

Hesap tablolarının anlatımını kolaylaştırmak amacıyla, konu bir örnek üzerinde anlatılmış olup, bu örnekte L8 deneyi kullanılmıştır.

L8 deneyinde A, B ve C olarak tanımlanan 3 faktörün olduğunu ve bu üç faktörün iki farklı seviyesinin olduğunu varsayalım. Bu durumda $2 \times 2 \times 2 = 8$ farklı kombinasyon oluşmaktadır. Bu nedenle deneyin adı, L8 deneyi olmaktadır. Tablo 1-5 'de bu iki düzey “+” ve “-” işaretleri ile gösterilmektedir.

Tablo 1-5 Örnek Veri Değerleri (Şirvancı, 1997: 28).

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

Tam eşlendirmeli olarak yapılacak bu deneyde 8 kombinasyon da denenmektedir. Tablo 1-5 'deki deneyde her üç faktörün “-” seviyeleri için bulunan gözlem değeri 25 ‘dir. Deneyde tekrar sayısının bir olduğu varsayılmıştır. Yani her bir deney sadece bir kez tekrarlanacaktır.

Hesap tablosunun doldurulması için tüm sekiz deney tamamlanır. Bulunan sonuçlar faktör sütunlarındaki boş hücrelere aynen yazılır. Sonuç olarak sütun toplamaları toplam satırına girilir ve eleman sayısına bölünerek ortalama satırına yazılır. Etki değerlerinin bulunmasında, faktörün yüksek seviyesindeki ortalama değeri, düşük seviyesindeki ortalama değerinden çıkarılır. Sıra satırına faktör etki değerleri büyükten küçüğe doğru numaralandırılır.

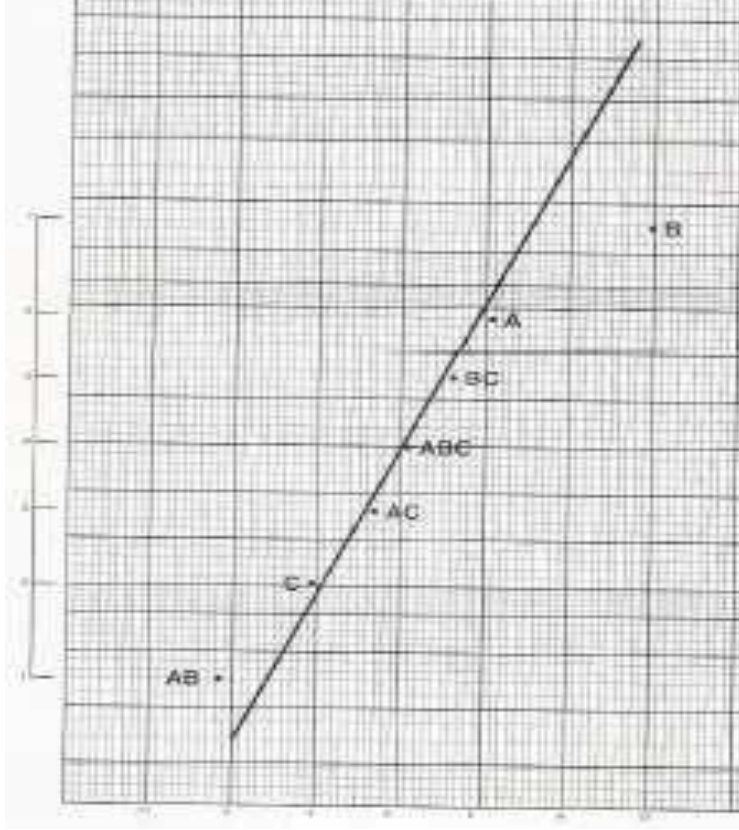
Faktör sayısının az olduğu bu örnekte, varyans analizi yerine etki değerlerinin hangilerinin daha önemli olduğunu tespit edebilmek amacıyla “Normal Olasılık Grafiği” (NOG) çizilir.

Tablo 1-6 Hesap Tablosu (Şirvancı, 1997: 31).

Standart Sıra	Gözlem Değeri	A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	25	25		25		25			25		25		25	25	
2	21	21		21			21		21	21		21			21
3	44	44			44	44		44			44	44			44
4	43	43			43		43	43		43			43	43	
5	38		38	38		38		38		38			38		38
6	31		31	31			31	31			31	31		31	
7	40		40		40	40			40	40		40		40	
8	36		36		36		36		36		36		36		36
Toplam	278	133	145	115	163	147	131	156	122	142	136	136	142	139	139
Sayı	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Ortalama	34,75	33,25	36,25	28,75	40,75	36,75	32,75	39,00	30,50	35,50	34,00	34,00	35,50	34,75	34,75
Etki		3,00		12,00		-4,00		-8,50		-1,50		1,50		0,00	
Sıra		6		7		2		1		3		5		4	

NOG yönteminde, kullanılan normal olasılık grafik kağıdının yatay eksenini etki değerleri için, dikey eksenini ise sıra numaraları için kullanılmaktadır. Hesap tablosunda bulunan 7 nokta grafiğe işlenir. Etkilerin istatistiksel önemi, çizilen doğrulara göre belirlenir.

Önemli noktalar ya grafiğin alt tarafında doğrunun solunda, ya da grafiğin üst tarafında doğrunun sağında kalan noktalardır. Bu kriterlere göre verdiğimiz örnek için B ve AB etkileri istatistiksel olarak önemlidir denilebilir. (Şirvancı, 1997: 32).



Şekil 1-3 Normal Olasılık Grafiği (Şirvancı, 1997: 34).

Öte yandan, A ve C noktaları doğrunun tam üstünde yer almamakta ancak doğruya çok yakın bir noktada bulunmaktadır. Dolayısıyla bu iki faktörün önemi yoktur denilebilir.

NOG yönteminde doğrunun çizimi ve önemli parametrelerin belirlenmesi subjektivite içerdiğinden faktör sayısının fazla ve etkileşimlerin olduğu durumlarda bu yöntem tercih edilmez. Daha karmaşık uygulamalarda hesap tablosu yöntemi yerine varyans analizi kullanılmalıdır.

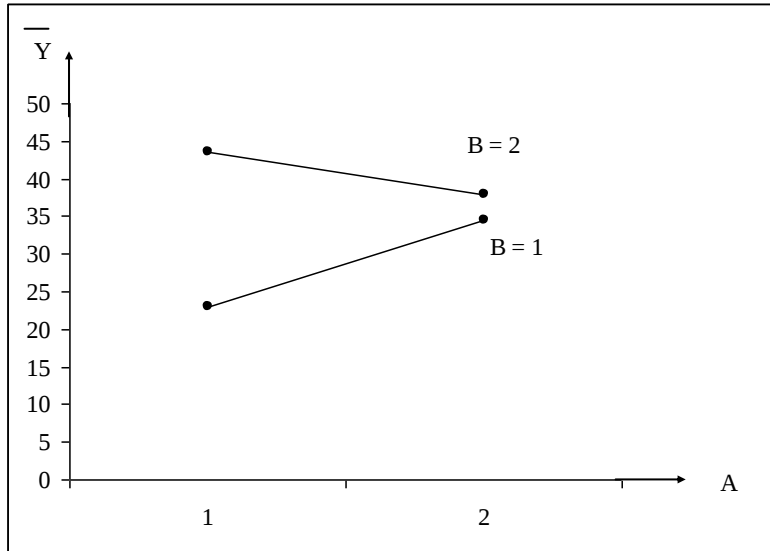
Burada B ana etkisinin ve AB etkileşim etkisinin önemli bulunması, A ve B faktörlerinin birlikte dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle AB etkileşiminin yorumunu yapmak üzere AB etkileşim tablosunun oluşturulması

gerekmektedir. Bu tablo oluşturulurken, A ve B etkilerinin alt ve üst değerleri için hesap tablosunda aldığı değerlere bakılır ve bu değerlerin ortalaması alınır.

Tablo 1-7 AB Etkileşimi (Şirvancı, 1997: 35).

A	B	
	1	2
1	25;21 23	44;43 43.5
2	38;31 <u>34.5</u>	40;36 <u>38</u>

- Problem “en küçük en iyi” problemi ise en uygun sonuç 23 olacağı için A=1 ve B=1 değerleridir.
- Problem “en büyük en iyi” problemi ise en uygun sonuç 43,5 olacağı için A=1 ve B=2 değerleridir.
- Problem “hedef değer en iyi” problemi ise bu durumda Y’nin hedef değeri 36 ise iki şekilde yaklaşılabılır. A=2, B=1 kombinasyonu yaklaşık 34,5 değerini verecek, A=2, B=2 ise yaklaşık 38 değerini verecektir.



Şekil 1-4 AB Etkileşim Grafiği (Şirvancı, 1997: 36).

1.13. Tasarımda Uygulanacak Temel Adımlar

Deney tasarımı uygulamasında izlenmesi gereken adımlar aşağıda verilmektedir.

- Problemin Tanımlanması : Deneyin çıktısı adı verilen ve ölçülmek istenilen kalite değişkeninin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu değişken, iyileştirilmesi hedeflenen değişken olup, alacağı değer nitel ya da nicel olabilmektedir.
- Faktörlerin Belirlenmesi : Sonucu etkilediği düşünülen tüm faktörler veya en önemli faktörler deneye katılmalıdır. Bu faktörlerin tespitinde gerekirse sebep-sonuç diyagramlarından faydalanılabilir.
- Deneyde kullanılmasına karar verilen faktörlerin seçimi yapılmalıdır. Bu faktörler kontrol edilebilir yani değiştirilebilir olmalıdır. Deneyde bu faktörler birbirlerinden bağımsız bir biçimde değiştirilecektir. Ayrıca deneye dahil edilmeyen faktörlerin neden dışarıda tutuldukları da açıklanmalıdır.
- Belirlenen faktörler içerisinde birbirleri arasında etkileşim olma ihtimali olanlar tespit edilmelidir.
- Faktörler ve bunların etkileşimleri dikkate alınarak uygulanacak deney tasarım türü seçilir.
- Faktör Seviyelerinin Tespiti : Deneye katılacak her faktör için seviye tespiti yapılmalıdır. Faktör seviye aralıkları ne çok küçük ne de çok büyük olmalıdır. Burada önemli bir nokta, deneye alınmayan faktörlerin değerleri deney sonuna kadar sabit olmalıdır.
- Deneyde uygulanacak faktör düzey kombinasyonları belirlenir.
- Deneyin yapılış sırası belirlenirken rassal sayılar tablosu kullanılır.
- Deneyde kullanılacak personel, makine ve teçhizat belirlenir.
- Deney yapılır ve sonuç değişkeninin aldığı tüm değerler tespit edilir.
- Özellikle işletmelerde yapılan uygulamalarda kullanılan hesap tabloları doldurulur.
- Normal Olasılık Grafiği çizilerek etkilerin hangilerinin önemli olduğu tespit edilir.
- Bu grafikte tespit edilen önemli etkileşimler grafik çizilerek yorumlanır.

- Etkisi tespit edilen faktör ve etkileşimlerin düzeyleri belirlenerek kalite değişkeninin değeri hesaplanır.
- Doğrulama deneyleri yapılarak bulunan sonuçlardan emin olunur. (Şirvancı, 1997: 51).

BÖLÜM 2 İSTATİSTİKSEL DENEY TASARIMI

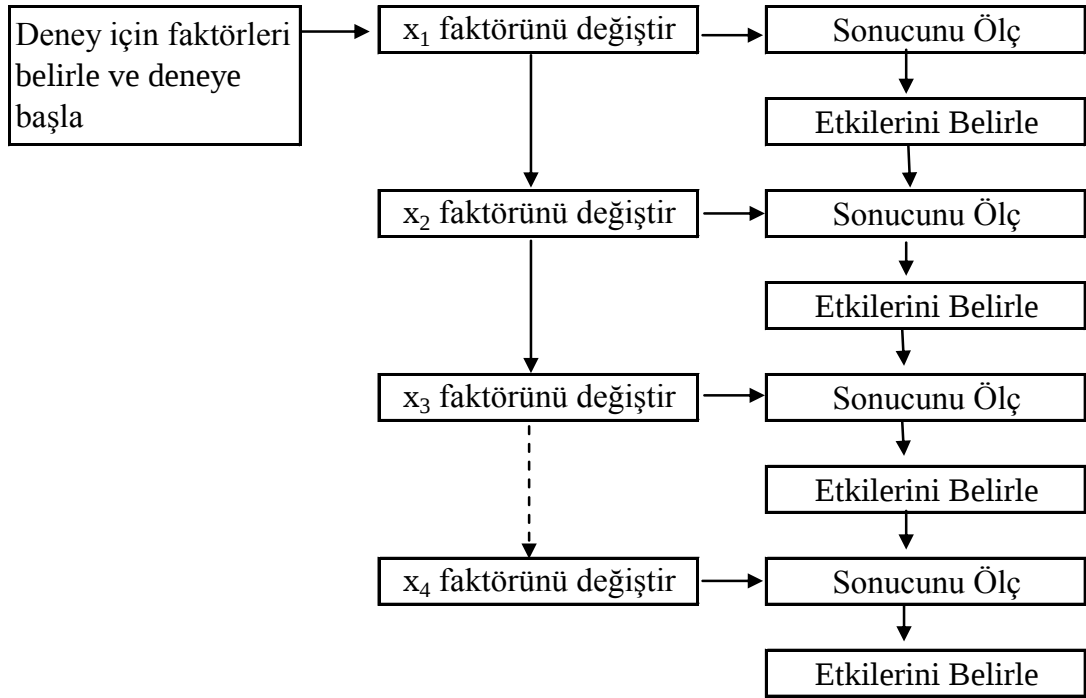
Deney tasarımı, kullanım alanına ve ihtiyaçlara göre farklı şekillerde uygulanmaktadır. Bu çerçevede deney tasarımı çeşitlerini sınıflandırmak gerektiğinde bunları aşağıda belirtilen iki bölümde toplamak mümkündür.

- Klasik (Pasif) Deney Tasarımı Yaklaşımı
- İstatistiksel (Etkin) Deney Tasarımı Yaklaşımı

Klasik deney tasarımı, her seferinde bir faktör değiştirilerek diğerlerinin sabit tutulması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Değişiklik yapılan faktörün sisteme etkisi ölçülmeye çalışılmaktadır.

Klasik deney tasarımında, parametreler arasındaki etkileşim göz ardı edilmektedir. Tüm etkiler faktör ve diğerleri şeklinde bölümlendirilir. Bu yöntem, istatistiksel yöntemlere göre daha fazla zaman ve maliyet gerektirmektedir.

Yeni bir ürün geliştirme veya mevcut bir sürecin iyileştirmesinde Şekil 2-1’de görülen klasik metodoloji ile deney tasarımı uygulaması yapılabilir. Bu tür bir tasarımda parametreler belirlenir ve deneyde x_1 faktörü değiştirilir, deneyin sonucu ölçülür ve etkisi belirlenir. Bu işlem tüm faktörler için tek tek yapılmaktadır. Ayrıca klasik yöntemde kontrol edilemeyen dış faktörlerin etkisi göz ardı edilmektedir. (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 74).



Şekil 2-1 Klasik Yöntemle Faktörlerin Sınanması (Gökçe ve Taşgetiren, 2009: 74).

Tek faktörlü deneylerde her seferinde sadece bir faktör ele alınır ve seçilen faktörün ürün veya süreç performansına etkisi incelenir. A, B ve C gibi üç faktörün ölçülmeye çalışıldığını varsayalım. Burada öncelikle A faktörünün her bir seviyesi için ölçüm yapılır ve en iyi değer tespit edilir. Sonrasında aynı işlem B ve C faktörlerinin her bir seviyesi için teker teker denir. Bu yöntem bize en iyi sonucu garanti etmemekle birlikte, en iyi kombinasyonu verir. Ancak her bir faktörün kendi ortalama etkilerinin sonuç değişkenine etkisini ve faktörlerin birlikte olan (etkileşim) etkilerini vermemektedir. (Tamhane, 2009: 225).

Bu tür tasarımların dezavantajlarından biri, faktörlerin tüm sınır değerlerinin tanımlanmış olmasının sağlanmasıdır. Tek faktörlü deneylerin diğer bir dezavantajı ise faktörler arasındaki etkileşimlerin göz ardı ediliyor olmasıdır. (Rekab ve Shaikh, 2005: 14).

Bu yöntemde, tüm faktörlerin sonuç üzerindeki etkileri tek tek incelendiğinden, deney sayısı artmakta ve buna bağlı olarak deney maliyetleri yükselmektedir. Bu nedenle pratik uygulamalarda deney sayısının azaltılması ve dolayısıyla maliyetlerin düşürülmesi bizi istatistiksel deney tasarım yöntemlerini kullanmaya yöneltmektedir.

2.1. Literatür Taraması

Deney tasarımı ilk olarak 1920'li yıllarda Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem Fisher 'in Rothamsted Deneysel Tarım İstasyonun'da çalıştığı yıllarda, tarım ürünlerinin verimliliğini arttırmak için farklı gübre çeşitlerinin ürün üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla kullanılmıştır.

Fisher 'in tasarımsal alanda yaptığı uygulamalarda, yılda iki kez ürün alınmakta idi. Ancak endüstri uygulamalarında çok daha kısa zamanda veri toplanabilmektedir. Dolayısı ile tarımsal uygulamalarda az sayıda sonuç alınmakta ancak büyük miktarlarda deneyler yapılabilmekte iken, endüstriyel uygulamalarda daha sık ve küçük partiler için sonuçlar alınabilmektedir. Pek çok endüstriyel uygulamada veriler çalışan makineler ve süreçler üzerinden alınmaktadır. Böylece sık tekrarlanabilen veriler ile daha doğru sonuçlara ulaşılabilmektedir.

Fisher, ilerleyen dönemdeki çalışmalarında, deney tasarımının temel ilkelerinden olan rassallık ilkesini ortaya koymuş, 1935 yılında yazdığı kitabında ise varyans analizi ve latin karesi deney tasarım metodunu açıklamıştır.

Fisher'i ilerleyen yıllarda Yates izlemiştir. Yates çalışmasında blok tasarımlar ve faktöriyel deneyler üzerinde metod analizleri yapmıştır. Kendi adı ile kullanılan "Yates Sıralaması" deney tasarımının temellerini oluşturmaktadır.

1940 'lı yıllarda Sir George Box, istatistiksel metodlardan biri olan proses optimizasyonu üzerindeki çalışmaları esnasında çıktı yüzey metodolojisini geliştirmiştir.

1946 yılında Plackett ve Burman kendi isimleri ile adlandırılan metodu geliştirmişlerdir. Bu deney tasarım metodunda, ana etkiler göz önüne alınmış ve etkileşim etkileri ihmal edilmiştir.

1947 yılında Cochran tarafından değişkenliğin homojenliği varsayımı ve normallik varsayımı ortaya konulmuştur.

1950'li yıllarda deneysel tasarımın matematiksel temellerinin atıldığı, kombinasyonel analiz ve grup teorisi Raj Chandra Bose ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir.

Yine 1950 ve 1960 'lı yıllarda A. Bradford Hill tarafından rassallaştırılmış atama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem psikoloji, eğitim, pazarlama ve diğer disiplinlerdeki deney tasarımı uygulamalarında kullanılmıştır.

1963 yılında Donald Campbell ve Julian Stanley, yarı deneyler metodunu geliştirmiş olup, psikoloji ve eğitim alanlarındaki uygulamalarında kullanmışlardır.

İlerleyen yıllarda ise Jack Keifer tarafından optimal tasarım metodu ortaya konulmuştur.

Japon Genichi Taguchi deney tasarımına yeni yaklaşımlar geliştirmiştir. Ürün ve süreç performansı konusunda çalışmalar yapmış, kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini azaltacak şekilde deney tasarımı ve kayıp fonksiyonu kavramını geliştirmiştir.

2.1.1. Deney Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Deney tasarımı konusunda özellikle son yıllarda yapılmış çalışmalar taranmıştır. Yapılan çalışmalar, deney tasarımı konusunda yapılanlar, plackett-burman deney tasarımı konusunda yapılanlar ve enjeksiyon proses parametre belirleme konusunda

yapılanlar şeklinde sınıflandırılmış olup, deney tasarımı konusunda yapılanlar aşağıda sunulmuştur.

Yang ve arkadaşları (2007), kesirli faktöriyel deneylerin bir türü olan bölünmüş parsel tasarımı konusunda çalışma yapmış olup, minimum sapma ile endüstriyel deneyler yapmışlardır. Çalışmalarını, tamamlayıcı tasarım teorisi üzerine kurmuşlardır.

Li ve Jacroux (2006), bloklanmış 2^{m-k} kesirli faktöriyel tasarımda en uygun katlamalı tasarım üzerine çalışmışlardır. İki seviyeli katlamalı tasarımlarda birbirleri ile etkileşim içerisinde olan faktörlerin etkisi araştırılmaktadır.

Yu ve arkadaşları (2007), iki seviyeli kesirli faktöriyel deney tasarımı uygulaması yapmış olup, önemli faktörleri ve bu faktörlerin birbirleri ile ilişkilerini test etmişlerdir.

Monness ve arkadaşları (2006), çalışmalarında çeşitli deney tasarım metodlarını birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Altı faktörlü iki seviyeli bir deneyde tam faktöriyel tasarım, 1/2 kesirli tasarım, plackett-burman tasarımı ve 1/2 kesirli faktöriyel tasarım karşılaştırmalı olarak çözümleme yapmışlardır.

Jacroux (2006:a), çalışmasında 2^{m-k} kesirli faktöriyel deneyde maksimum seviye minimum sapma ile katlamalı tasarım üzerine karma tasarım çalışmaları yapmıştır.

Puentes ve arkadaşları (2009), proses parametrelerinin belirlenmesinde ardışık deneyler kullanarak varyans analizi uygulamışlardır. Çalışmalarında yedi parametre içerisinde etkileşim etkileri ile birlikte önemli parametreleri tespit etmiştir.

McLeod (2007), kesirli faktöriyel deney tasarımında bölünmüş parseller yöntemini kullanarak ardışık optimal bloklama üzerine çalışma yapmıştır. Uygulama çalışmasında bloklama yapılmış bir 2^{n-k} tasarımı kullanmıştır.

Nair ve arkadaşları (2008), tarama deneylerinde kesirli faktöriyel deney kullanımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında tam faktöriyel deneyler ile kesirli faktöriyel deneyleri karşılaştırmış, 6 faktörlü deneyde uygulama sonuçlarını vermişlerdir.

Kannan ve arkadaşları (2008), 2^{7-3} kesirli faktöriyel deney optimizasyonu yapmışlardır. Bu çalışma, faktör sayısının fazla olması açısından önemli bir yer teşkil etmektedir.

Lin ve Sitter (2007), 2 seviyeli kesirli faktöriyel deneylerde izomorfizm konusunu ele almış, bunu hamming uzaklıkları metodunu kullanarak geliştirmişlerdir. Çözünürlük 4 deneylerinde 2^{k-p} tasarımında uygulamışlardır.

Pistone ve Rogantin (2008), kesirli faktöriyel tasarımlar için seviye kodlama cebirsel istatistik uygulamaları yapmışlardır.

Besseris (2008:a), çalışmasında parametrik olmayan tekrarsız kesirli faktöriyel deney tasarım analizleri yapmıştır. Yedi faktörlü ve iki seviyeli örnek bir deneyde minitab paket programı yardımı ile deneyin analizi yapılmıştır.

Ai ve arkadaşları (2008), normal s-seviyeli kesirli faktöriyel tasarımda katlamalı tasarım üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında üç seviyeli 27 tekrarlı bir deney kullanmışlardır.

Aggarwal ve arkadaşları (2008), çalışmalarında en uygun kesirli faktöriyel tasarımında sonlu projektif geometri yöntemini kullanmışlardır.

Yang ve arkadaşları (2009), çok seviyeli faktörler için bölünmüş parsel kesirli faktöriyel deney tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bunun için maksimum çözünürlük ve minimum sapma ile deneylerini çözümlemişlerdir.

Besseris (2009:b), çalışmasında iki seviyeli yedi faktörlü bir kesirli deneyde doymuş ve tekrarsız bir tasarım uygulaması yapmıştır. Bu tasarım türünde Wilcoxon-Mann-Whitney testi uygulanmıştır.

Gunst ve Mason (2009), çalışmalarını kesirli faktöriyel deneyler üzerinde yapmış olup, hedefe ulaşmak için kaynakların ekonomik kullanımı ile kritik faktörlerin belirlenmesi konusuna ağırlık vermişlerdir.

Jacroux (2009:b), bloklanmış iki seviyeli ve düzensiz kesirli faktöriyel tasarımlar üzerine çalışmış olup, katlamalı tasarım ve ortogonal çözünürlük 4 tasarımlar ile ilgili yayınları bulunmaktadır.

Cheng ve Tsai (2009), bölünmüş parsel tasarımı ile iki seviyeli ve düzenli kesirli faktöriyel tasarım üzerinde çalışmış olup, rastgele blok tasarımı konusunda yeni kriterler geliştirmişlerdir.

Naugraiya ve Drury (2009), çalışmalarında, proses kontrolünü etkileyen kritik faktörlerin belirlenmesi üzerinde durmuşlardır. Bunun için kesirli faktöriyel tasarım yöntemini uygulamışlardır.

Jacroux (2009:c), başka bir çalışmasında değiştirilmesi zor faktörler için minimum sapma ile iki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımında bölünmüş parseller yöntemini uygulamıştır.

Guo ve arkadaşları (2009), karma seviyeli kesirli faktöriyel deneylerde en uygun katlamalı tasarım üzerinde çalışmışlardır. Bu konunun minitab ile çözümü üzerinde durmuşlardır.

Wilmot ve Zhou (2011), minimal D-optimal tasarım türünde iki seviyeli kesirli deney uygulaması üzerinde çalışmışlardır.

Aoki (2010), iki seviyeli düzensiz kesirli faktöriyel tasarımlarda sağlamlık testleri yapmış olup, optimum kriterleri belirlemiştir.

Besseris (2010:c), çalışmasında ürün güvenilirliğinin geliştirilmesi amacıyla doymuş tekrarsız kesirli faktöriyel tasarım uygulaması yapmıştır.

Wang ve arkadaşları (2010), optimal katlamalı tasarım seçimi için 16 ve 32 tekrarlı kesirli faktöriyel deney uygulaması yapmıştır.

Jacroux (2010:d), iki seviyeli kesirli faktöriyel deneylerde ikili bloklama üzerinde çalışmış olup, her bir ikili etkileşimler için ortogonal tahminlerde bulunmuştur.

Ting (2010), D-optimal tasarım yöntemini kullanarak iki seviyeli çözünürlük III tipinde kesirli faktöriyel deneyi yapmış olup, bu deneyinde dağılım faktörleri üzerine çalışmalar yapmıştır.

Shrivastava ve Ding (2010), çalışmalarında grafik tabanlı serbest izomorf yapıda iki seviyeli faktöriyel deneyler üzerinde durmuşlardır.

Dasgupta ve arkadaşları (2010), kısmi tekrarlı kesirli faktöriyel deneyler üzerinde çalışmışlardır. Kısmi tekrarlı deneyleri diğer tasarım türleri ile karşılaştırmışlardır.

Lakho, (2010), 23 faktörlü bir deneyde hadamard matris yardımı ile kesirli faktöriyel deneylere yaklaşım geliştirmiştir.

Jacroux (2011:e), bloklanmış kesirli tasarımlar üzerinde çalışmış olup, katlamalı tasarım yardımı ile ana etki ve etkileşim etkilerini araştırmıştır.

Rajeev (2011), çalışmasında beş faktörlü ve iki sonuç değişkenli bir deneyde kesirli faktöriyel deneyler yardımı ile çözümleme yapmışlardır.

Chang ve Ting (2011), iki seviyeli kesirli faktöriyel deneylerde ana etkilerin yerlerini ve faktörlerin dağılımını incelemişlerdir.

Yumiba ve Hyodo (2011), çalışmalarında çözünürlük III tipinde 3^m kesirli faktöriyel deneyinde denge karakteristiklerini incelemişlerdir.

2.1.2. Plackett-Burman Deney Tasarımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Plackett Burman deney tasarımı konusunda son yıllarda yapılmış çalışmalar taranmış olup, aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

Delgado ve arkadaşları (2013), çalışmalarında sekiz faktörlü bir plackett burman tasarım uygulaması yapmış, 12 deney ile çözümleme geliştirmişlerdir. Öncelikle sekiz faktörün önemli olanlarını tespit ettikten sonra, bloklama yaparak etki derecelerini hesaplamışlardır.

Patil ve arkadaşları (2013), çalışmalarında onbir faktörlü bir deneyde iki farklı çıktının etkisini ölçmüşlerdir. Sonrasında bulunan önemli faktörler için Box-Behnken tasarımı kullanarak çözümleme yapmışlardır.

Ramezani ve arkadaşları (2013), altı faktörlü ve iki seviyeli bir deneyde plackett burman tasarımı uygulamışlardır. Deney sonucunda bulunan on iki ayrı formülasyonu yorumlamışlardır.

Shah ve arkadaşları (2013), çalışmalarında beş faktörlü ve iki seviyeli bir deneyde iki ayrı bağımlı değişkenin etkisini ölçmeye çalışmışlar ve bunun için plackett burman deney tasarımını kullanmışlardır.

Manivasagan ve arkadaşları (2013), yaptıkları çalışmalarında sekiz faktörlü ve üç seviyeli bir deneyde faktör etkilerini ölçerek Anova tablosunu oluşturmuşlardır.

Bafana (2013), polimerler konusunda plackett burman tasarımı kullanmış ve altı faktörün etkisini incelemiştir. Bu tasarım için sekiz deney yaparak çıktı üzerindeki etkilerini ölçmüştür.

Zhu ve arkadaşları (2013), çalışmalarında dokuz faktörlü, iki seviyeli bir deneyde plackett burman deney tasarımı uygulaması yapmış, bu dokuz faktör içerisinde dördü için üç seviyeli box-behnken tasarımı kullanmışlardır.

Anastacio ve Carvalho (2013), onbir faktörlü bir plackett burman deney tasarımı uygulamış olup, on iki deney ile iki farklı çıktının etkisi ölçülmüştür.

Rossi ve arkadaşları (2013), çalışmalarında on bir faktörlü bir deneyde plackett burman deney tasarımı ile kesirli faktöriyel deney tasarımı karşılaştırılarak analiz etmişlerdir.

Karemore ve arkadaşları (2013), faktör sayısı en fazla olan çalışmalardan birini yapmışlardır. Plackett burman deney tasarımı on dokuz faktörlü bir deneyde kullanarak yirmi deneme yapmış olup sonuçların üzerindeki etkisini ölçmeye çalışmışlardır.

Beres ve Hawkins (2001), çalışmalarında çok faktörlü deneyler için duyarlılık analizinde plackett burman deney tasarımı kullanarak altı faktörlü bir deneyde çıktıların etkisini analiz etmişlerdir.

Naveena ve arkadaşları (2004), faktör sayısının fazla olması bakımından çalışmaları önemlidir. Onbeş faktörün etkisi analiz edilmiş olup, toplam 16 deney ile çözümleme yapılmıştır.

Zhou ve arkadaşları (2011), çalışmalarında on bir faktörlü bir deneyde plackett burman tasarımı ve sonuç yüzey metodolojisi kullanarak toplam on iki deney ile çalışma yapmış olup, sonuçları Anova tablosunu oluşturarak analiz etmişlerdir.

Dejaegher ve arkadaşları (2007), plackett burman deney tasarımı ile doymuş tasarımların sağlamlığını karşılaştırmışlardır. Bunun için altı faktörlü bir deney kullanarak sonuçları karşılaştırmışlardır.

Li ve Rasmussen (2003), çalışmalarında dokuz faktörlü ve üç seviyeli deney tasarımı çalışmasında, plackett burman tasarım türünü kullanarak optimizasyon yapmışlardır. Deneyin sonuçlarında duyarlılık analizi ve doğrulama deneyleri ile deneyin güvenilirliğini arttırarak, ana ve etkileşim etkilerini incelemişlerdir.

Loukas (2001), on bir faktörlü bir plackett burman deney tasarımı çalışması yapmış, etkili olduğu tespit edilen faktörler için pareto ve histogram grafiklerinin kullanımı yolu ile sonuçları analiz etmiştir.

Giordano ve arkadaşları (2011), çalışmalarında kritik faktörlerin tespitinde genetik algoritma analizi ile plackett burman deney tasarımı uygulamalarını karşılaştırmışlardır.

Wang ve arkadaşları (2012), plackett burman deney tasarımı kullanarak on iki faktörlü bir deneyde iki farklı seviye kullanarak, toplam üç farklı çıktı üzerindeki etki derecelerini ölçmeye çalışmışlardır.

Olivieri ve Magallanes (2012), çalışmalarında analitik sistemlere uyulanabilen plackett burman tasarımı ile etkileşimleri ortaya çıkarmak amacıyla Monte Carlo karınca koloni optimizasyon çalışması yapmışlardır.

Bell ve arkadaşları (2006), fazla sayıda faktör kullanarak yapılan bir plackett burman deney tasarımı olması açısından önemlidir. Toplam on dokuz faktörün yüksek ve düşük düzeyli etkilerini araştırmak üzere plackett burman tasarımı uygulamışlardır. Etkili olduğu tespit edilen dört faktör için tam faktöriyel deney tasarımı yaparak etkileşim etkilerini de incelemesi bakımından önemlidir.

Guha ve arkadaşları (2003), çalışmalarında ekstrüzyon teknolojisinde plackett burman deney tasarımını kullanarak on adet faktör içerisinde etkili faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Bunu yapabilmek için toplam oniki deney yapmışlardır.

Yoon (2007), tam faktöriyel tasarım, kesirli faktöriyel tasarım, plackett burman tasarımı, merkezi karma tasarımları birbirleri ile karşılaştırarak ortak ve ayrı noktalarını belirlemiştir. Bu sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını araştırmıştır.

Lin ve Draper (1993), iki seviyeli plackett burman tasarımında eşad yapısı oluşturulması ve ilişkileri üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Valentine (2012), plackett burman deney tasarımını kullanarak deneysel tasarım çalışmalarında proses kontrol konusundaki sorunların giderilmesi üzerinde çalışmalar yapmıştır.

2.1.3. Enjeksiyon Proses Parametre Belirleme Konusunda Yapılan Çalışmalar

Literatürde, üretim sektöründe proses parametrelerinin belirleme konusunda daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş olup, genellikle daha az sayıda faktörün incelendiği görülmüştür. Bu çalışmalar aşağıda verilmektedir.

Chen ve arkadaşları (2009), enjeksiyon proses parametre belirleme konusunda deneysel bir çalışma yapmışlardır. Toplam yedi farklı parametre içerisinde kritik olan dört faktörün üç farklı seviyesi için deney tasarımı uygulamışlardır.

Song ve arkadaşları (2007), çalışmalarında enjeksiyon prosesinde ultra ince et kalınlıklarındaki plastik parçaların parametrelerinin belirlemesi konusu ile ilgilenmişlerdir. Beş farklı proses parametresinin üç farklı düzeyi için deney tasarımı uygulaması yapmışlardır.

Chen ve arkadaşları (2009), enjeksiyon prosesinde parametre belirleme çalışması yapmış olup, verimliliği etkileyen faktörlerin belirlenmesinde deneysel tasarım uygulaması yapmışlardır. Altı farklı parametrenin beş farklı seviyesi için deneyler yapılmış olup, sonuçları yorumlamışlardır.

Özçelik ve arkadaşları (2010), enjeksiyon parametreleri ve kalıp malzemelerinin mekanik özelliklerinin etkilerinin belirlenmesinde deney tasarımından yararlanmışlardır. Dört farklı proses parametresinin üç farklı seviyesi için deney tasarlanmış olup, Anova tablosu ile sonuçları analiz etmişlerdir.

Chen ve arkadaşları (2008), plastik enjeksiyon prosesinde dinamik kalite süreçleri takibinde sinir ağları tabanlı yaklaşım geliştirmişleridir. Bu çalışmalarına, deney tasarımı yaklaşımını da birleştirmişlerdir.

Zeaiter ve arkadaşları (2011), enjeksiyon bileşenlerini kalıp göz içerisine yerleştirilen sensörler yolu ile ürünün kalitesini etkileyen proses parametrelerini tespit etmeye çalışmışlardır. Bunun için ürün üzerindeki altı farklı noktanın ölçüleri ve ayrıca altı farklı proses parametresi olmak üzere toplam on iki faktörden oluşan bir deney tasarlamışlardır. Bu faktörlerin ürünün kalitesine olan etkilerini değerlendirmek üzere deney tasarımı çalışması yapmışlardır.

Chiang ve Chang (2006), çalışmalarında bulanık mantık kullanarak enjeksiyon ile üretilmiş ürünlerin kalitesini etkileyen süreçlerin belirlenmesi amacıyla kritik olduğu düşünülen dört faktörün üç farklı seviyesi için deney tasarımı çalışması yapmışlardır. Deney tasarımı ile bulanık mantık yöntemleri karşılaştırılmış ve sonuçları Anova tablosu kullanılarak açıklanmıştır.

Huanh ve Lin (2008), enjeksiyon proses parametrelerinin etkilediği çoklu kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde regresyon modelin simülasyonunu yapmışlardır. Deney tasarımında 2^3 tam faktöriyel deney kullanmışlardır. Çalışmalarında sekiz farklı parametrenin üç farklı seviyesi için deneyler yapılmıştır. Yapılan toplam on

sekiz deney ile altı farklı faktör için gözlem değerleri elde edilerek deney tasarım analizini yapmışlardır. Sonrasında sonuçları Taguchi yöntemi ile karşılaştırmış, bunun için yirmi yedi farklı deney yapılarak her iki analiz, birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2.2. Tam Faktöriyel Deneyler

İki veya daha fazla sayıda faktörün etkisi araştırıldığında akla gelen yöntemlerin başında faktöriyel deneyler gelmektedir. Tam faktöriyel deneylerde, mümkün olan bütün kombinasyonlar denenmektedir. Her seferinde bir faktörün etkisinin incelendiği deneylere göre daha etkilidirler. (Hicks ve Turner, 1999: 135).

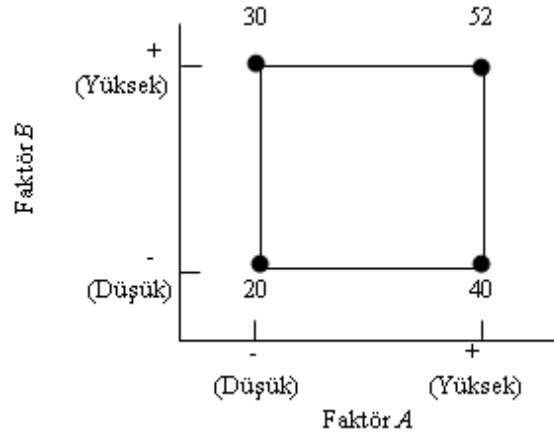
Sonuç değişkenindeki bir değişim, bir faktörün seviyelerinde değişiklik meydana getiriyorsa bu faktörün etkisi ana etki olarak tanımlanmaktadır. Bu kavramı anlatmak amacıyla aşağıda bir örnek verilmektedir.

2 faktörlü faktöriyel bir deneyde faktör seviyelerini 2 olarak alalım. Bu seviyeleri “düşük” ve “yüksek” olarak adlandırmakla beraber düşük seviye “-“, yüksek seviye ise “+” işaretleri ile gösterilir. Bu iki seviyeli tasarımda, faktör A’nın ana etkisi, yüksek seviyelerin ortalaması ile düşük seviyelerin ortalaması arasındaki farka eşit olmaktadır.

$$A = \frac{40 + 52}{2} - \frac{20 + 30}{2} = 21$$

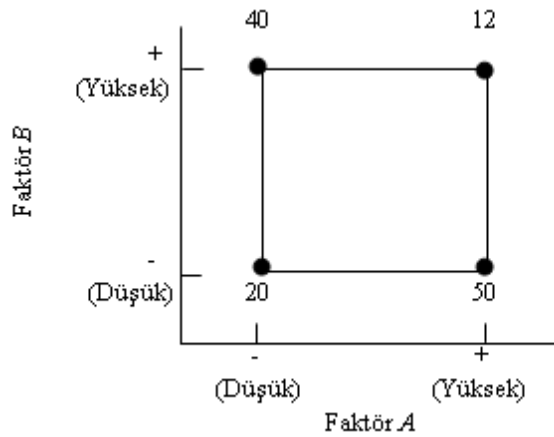
A faktörünün düşük seviyesinden yüksek seviyesine ortalama sonuç değişkeni artışı 21 birimdir. Benzer şekilde B faktörünün etkisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Montgomery, 2005: 160).

$$B = \frac{30 + 52}{2} - \frac{20 + 40}{2} = 11$$



Şekil 2-2 2 Faktörlü Faktöriyel Deney, Sonuç Değişkeni (y) Köşelerde Gösterilmiş (Montgomery, 2005: 161).

Bazı deneylerde sonuç değişkeni, bir faktörün seviyeleri ve diğer faktörlerin seviyeleri arasında farklılıklar gözlenebilir. Bu durumda faktörler arasında etkileşim var denilebilir. Şekil 2-3 'de bu durum açıklanmıştır.

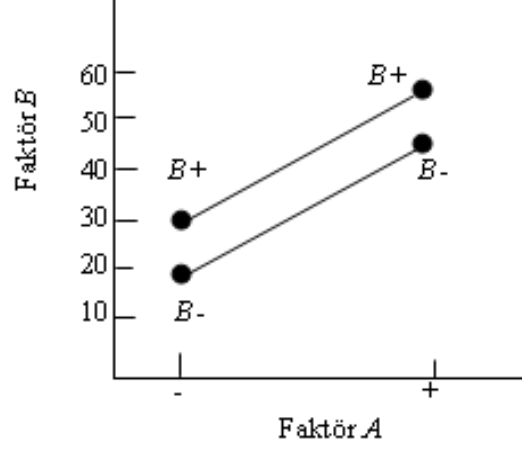


Şekil 2-3 2 Faktörlü Faktöriyel Deney, Etkileşimler ile Gösterim (Montgomery, 2005: 161).

B faktörünün düşük seviyesinde A faktörünün etkisi ; $A = 50 - 20 = 30$

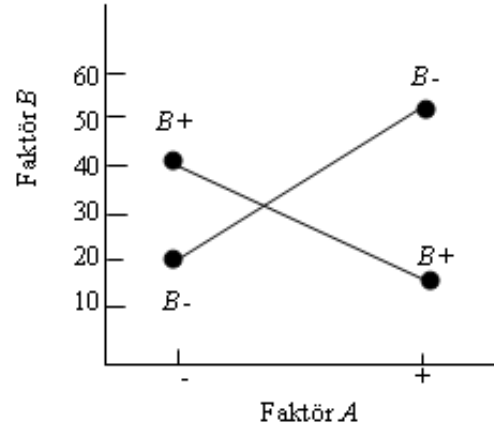
B faktörünün yüksek seviyesinde A faktörünün etkisi ; $A = 12 - 40 = -28$

Bunun nedeni, A 'nın etkisi B'nin düşük ve yüksek seviyelerinin seçilmesine göre değişmektedir.



Şekil 2-4 Etkileşimsiz A Faktöriyel Deneyi (Montgomery, 2005: 161).

Şekil 2-4 'de A faktörü, B faktörünün her iki düzeyi içinde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi B^- ve B^+ faktörlerinin ikisi içinde çizgi paralel olup A ve B faktörü arasında etkileşim yoktur.



Şekil 2-5 Etkileşimli A Faktöriyel Deneyi (Montgomery, 2005: 161).

Şekil 2-5 'de ise B^- ve B^+ faktör çizgileri paralel değildir. A ve B faktörü arasında etkileşim vardır.

Etkileşimleri göstermenin diğer bir yolu da regresyon model oluşturmaktır. Tüm faktörlerin sayısal olduğunu varsayalım. Bu durumda iki faktörlü faktöriyel deneyin regresyon modeli aşağıdaki gibi olmaktadır.

- y : Sonuç değişkeni
 β_0 : A ve B faktörlerinin etki değerlerinin ortalaması
 β_1 : A faktörünün etki değerinin yarısı
 x_1 : A faktörünü temsil eden değişken
 β_2 : B faktörünün etki değerinin yarısı
 x_2 : B faktörünü temsil eden değişken
 β_{12} : AB etkileşiminin etki değerinin yarısı
 x_1x_2 : x_1 ve x_2 arasındaki etkileşim
 ε : Rassal hata terimi. (Montgomery, 2005: 162).

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \quad (2.1)$$

İki faktörlü bir deneyde bir faktörün 2, diğer faktörün 3 seviyeli olduğu durumda regresyon modeli şöyle olacaktır.

$$y = \beta_0 + \underbrace{\beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_2^2}_{\text{Ana etkiler}} + \underbrace{\beta_4x_1x_2 + \beta_5x_1x_2^2}_{\text{Etkileşimler}} + \varepsilon \quad (2.2)$$

Yine 2^3 faktöriyel deneyde, (üç faktörlü her biri iki seviyeli) regresyon modeli aşağıdaki gibi olmaktadır. (Mendenhall, 1968: 94).

$$y = \beta_0 + \underbrace{\beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3}_{\text{Ana Etkiler}} + \underbrace{\beta_4x_1x_2 + \beta_5x_1x_3 + \beta_6x_2x_3}_{\text{İki yönlü Etkileşimler}} + \underbrace{\beta_7x_1x_2x_3}_{\text{Üç yönlü Etkileşimler}} + \varepsilon \quad (2.3)$$

2.2.1. İki Faktörlü Deneyler

İki seviyeli deneyler, genellikle faktöriyel deneyler arasında en basitleridir. Ancak düşük maliyetle çok sayıda faktörün aynı anda incelenmesi yönüyle avantajlıdır. Bu bakımdan deney tasarımında çok önemli bir paya sahiptirler. (Anderson ve McLean, 1974: 227).

İnceleyeceğimiz deneyde, adları A, B ve C olan üç faktör bulunduğunu düşünelim. Tam eşlendirme yapılması sonucunda, $axbxc = 2 \times 2 \times 2 = 8$ kombinasyon oluşmakta olup, L8 deneyleri olarak adlandırılırlar.

Faktör sayısı 4 olduğu durumlarda, denenecek kombinasyon sayısı $axbxcx d = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ olur. Deneyin düzey kombinasyonlarını gösteren bu matrise, L16 dizayn matrisi denir. Genellikle L8 ve L16 deneyleri yaygın kullanım alanına sahiptir. (Şirvancı, 1997: 26).

Tablo 2-1 L8 Deneyi Düzey Kombinasyonları (Şirvancı, 1997: 26).

A	B	C
-	-	-
-	-	+
-	+	-
-	+	+
+	-	-
+	-	+
+	+	-
+	+	+

İki faktörlü bir deneyde oluşturulacak ANOVA tablosu Tablo 2-2 'de verilmiştir. (Anderson ve McLean, 1974: 228).

Burada serbestlik derecesi kavramını açıklamak gerekmektedir. İstatistiksel olarak serbestlik derecesi, data setinden oluşturulan bağımsız karşılaştırmaların sayısı olarak ifade edilir. Deney tasarımı açısından serbestlik derecesi ise prosesin değişkenliğinin ilgili faktörün seviye sayısının bir eksiği ile ilişkilidir.

$$\text{Ana etki için serbestlik derecesi} = \text{Seviye sayısı} - 1 \quad (2.4)$$

Örnek olarak, 8 denemeli tasarlanmış bir deneyi iki tekrarlı yaptığımızı varsayalım. Bu durumda toplam gözlem sayısı 16 olmaktadır. Serbestlik derecesi ise $16-1 = 15$ olmaktadır. (Antony, 2003: 10).

Tablo 2-2 2^2 Faktöriyel Deneyde ANOVA Tablosu (Anderson ve McLean, 1974: 228)

Kaynak	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler Toplamı (SS)
A	1	$[a + ab - (1) - b]^2 / 4$
B	1	$[b + ab - (1) - a]^2 / 4$
AB	1	$[ab + (1) - a - b]^2 / 4$

Toplam etkiler ise aşağıdaki gibi şekilde tanımlanmaktadır.

$$[A] = [ab - b + a - (1)] \quad (2.5)$$

$$[B] = [ab + b - a - (1)] \quad (2.6)$$

$$[AB] = [ab - b - a + (1)] \quad (2.7)$$

2^2 Faktöriyel deneyde faktörler arası etkileşimler ve ilişkiler Tablo 2-3 'de gösterilmektedir.

Tablo 2-3 2^2 Faktöriyel Deneyde Faktör Kombinasyonları ve Etkileri (Anderson ve McLean, 1974: 229)

Etkiler	Faktör Kombinasyonları				Ortalama Etki Bölünü
	(1)	a	b	ab	
A	-	+	-	+	2
B	-	-	+	+	2
AB	+	-	-	+	2
Ortalama	+	+	+	+	4

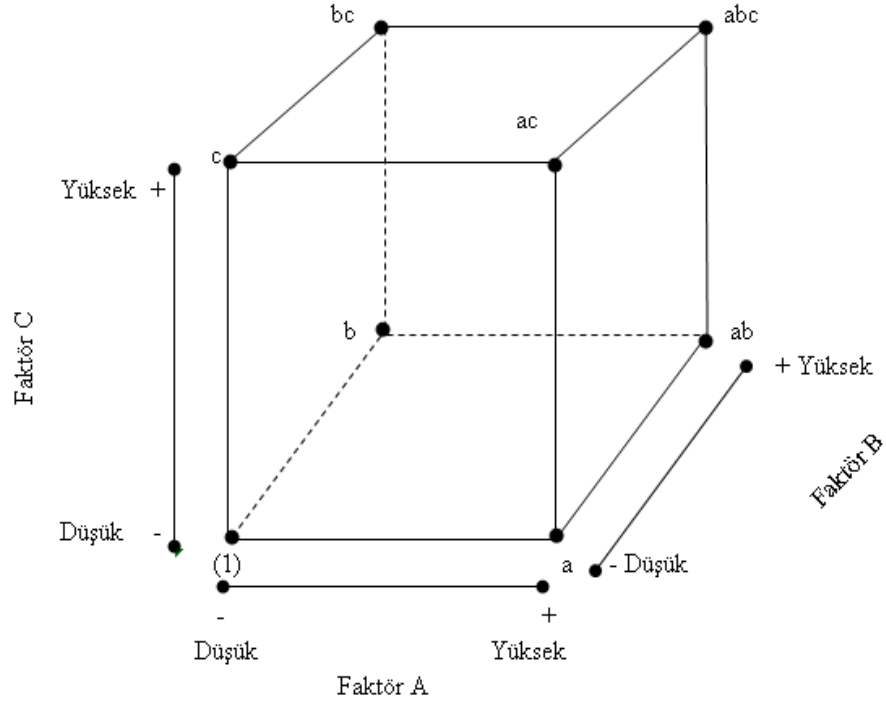
2.2.2. 2ⁿ Faktörlü Deneyler

İkiden fazla faktörlü olan deneylerde örneğin üç faktörlü iki seviyeli bir L8 deneyinin incelenmesinde Tablo 2-4' deki tasarım matrisi kullanılır. Burada A, B ve C ana faktörleri; AB, AC ve BC ikili etkileşimleri ve ABC de faktörlerin birlikte etkileşimlerini göstermektedir. (Şirvancı, 1997: 25).

Tablo 2-4 L8 Dizayn Matrisi (Şirvancı, 1997: 27).

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

Şekil 2-6 'da ise 2³ faktöriyel tasarımın grafiksel gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 2-6 2^3 Faktöriyel Tasarım (Montgomery, 2005: 211).

Tablo 2-5 2^3 Faktöriyel Deneyde Faktör Kombinasyonları ve Etkileri (Anderson ve McLean, 1974: 230)

Etkiler	Faktör Kombinasyonları								Bölen
	(1)	a	b	ab	c	ac	bc	abc	
A	-	+	-	+	-	+	-	+	4
B	-	-	+	+	-	-	+	+	4
AB	+	-	-	+	+	-	-	+	4
C	-	-	-	-	+	+	+	+	4
AC	+	-	+	-	-	+	-	+	4
BC	+	+	-	-	-	-	+	+	4
ABC	-	+	+	-	+	-	-	+	4
Ortalama	+	+	+	+	+	+	+	+	8

2^n faktöriyel deneylerde, ortalama etkileri belirlemenin diğer bir yolu da aşağıdaki gibidir. (Anderson ve McLean, 1974: 231)

$$A = \frac{1}{2^{n-1}} [(a-1)(b+1)(c+1)(d+1)(e+1) \dots] \quad (2.8)$$

$$AB = \frac{1}{2^{n-1}} [(a-1)(b-1)(c+1)(d+1)(e+1) \dots] \quad (2.9)$$

$$ABD = \frac{1}{2^{n-1}} [(a-1)(b-1)(c+1)(d-1)(e+1) \dots] \quad (2.10)$$

Tablo 2-6 Faktöriyel Deneyde ANOVA Tablosu (Anderson ve McLean, 1974: 231).

Kaynak	Serbestlik Derecesi (df)
Ana etkiler	n
2 faktör etkileşimleri	$\frac{n(n-1)}{2}$
3 faktör etkileşimleri	$\frac{n(n-1)(n-2)}{3}$
.	.
.	.
.	.
n faktör etkileşimleri	1
Toplam	$2^n - 1$

2^n tasarımlarda, birden fazla değişken aynı anda incelenmektedir. Bu aşamada "Yates Tekniği" adı verilen ve işlemleri kısaltan bir teknik uygulanmaktadır. Bu teknik sayesinde basit işlemler ile hassas bir şekilde sonuca ulaşılmaktadır. Yates tekniğinde, faktörlerin değerinden kaynaklanan etkiler önceden hesaplanabilmektedir. DeneySEL hata deney sırasında tespit edilebilmekte olup, gerektiğinde her bir test bölümlere ayrılabilir. (Özensoy, 1982: 26).

Konuyu açıklamak üzere bir örnek verilmektedir. Bir tel erezyon tezgahında, ilerleme hızı ve kesme derinliği faktörlerinin işlenen çelik parçanın kalınlık ölçüsüne olan etkisi incelenmek istenmektedir. Bu deney 2 faktörlü olup, 4 tekrarlı yapılması

tasarlanmaktadır. Burada çıktı faktörü parçanın kalınlık ölçüsü olup, çıktı miktarı azaldıkça sonuç iyileşmektedir. Yani deney en küçük en iyi problemidir. Amaçlanan, 0,05 anlamlılık düzeyinde bu sistem için A ve B faktörlerinin etkisinin ölçülmesidir.

Öncelikle deneyin faktör düzey kombinasyonlarını belirlemek gerekmektedir.

Tablo 2-7 Örnek Deneyde Faktör Düzey Kombinasyonu

Faktör Düzey Kombinasyonu	Tasarım Faktörleri			Çıktı Kalınlık (mm)				Toplam	Ortalama
	A	B	AB						
(1)	-	-	+	14,037	14,165	13,972	13,907	56,081	14,020
A	+	-	-	14,821	14,757	14,843	14,878	59,299	14,825
B	-	+	-	13,880	13,860	14,032	13,914	55,686	13,922
AB	+	+	+	14,888	14,921	14,415	14,932	59,156	14,789

Bu aşamada Etki Tahminlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

r = Tekrar Sayısı = 4

A'nın Etkisi :

$$A = \frac{1}{2 \cdot r} [a + ab - b - (1)] \quad (2.11)$$

$$A = \frac{1}{2 \times 4} [\underbrace{59,299 + 59,156 - 55,686 - 56,081}_{(A'nın kontrastı)}] = 0.836 \quad (2.12)$$

B'nin Etkisi :

$$B = \frac{1}{2 \cdot r} [b + ab - a - (1)] \quad (2.13)$$

$$B = \frac{1}{2 \times 4} [\underbrace{55,686 + 59,156 - 59,299 - 56,081}_{(B'nin kontrastı)}] = - 0,07 \quad (2.14)$$

AB'nin Etkisi :

$$AB = \frac{1}{2 \cdot r} [ab + (1) - a - b] \quad (2.15)$$

$$AB = \frac{1}{2 \times 4} [\underbrace{59,299 + 56,081 - 59,299 - 55,686}_{(AB'nin kontrastı)}] = 0,031 \quad (2.16)$$

(Shalabh, 2009: 288). Bu aşamada kareler toplamı (SS) hesaplanması gerekmektedir.

$$SS_A = \frac{\text{kontrast}^2}{r \cdot 2^k} \quad (2.17)$$

A'nın Kareler Toplamı :

$$SS_A = \frac{6,688^2}{4 \cdot 2^2} = 2,7956 \quad (2.18)$$

B'nin Kareler Toplamı :

$$SS_B = \frac{-0,538^2}{4 \cdot 2^2} = 0,0181 \quad (2.19)$$

AB'nin Kareler Toplamı :

$$SS_{AB} = \frac{-0,252^2}{4 \cdot 2^2} = 0,0040 \quad (2.20)$$

$$\text{Toplam SS} = (14,037 - 14,389)^2 + (14,821 - 14,389)^2 + \dots + (14,821 - 14,389)^2 = 3,0672 \quad (2.21)$$

$$\text{Hata SS (ESS)} = 3,0672 - (2,7956 + 0,0181 + 0,0040) = 0,2495 \quad (2.22)$$

Tablo 2-8 Örnek Deneyde ANOVA Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	Test İstatistiği
İlerleme Hızı (A)	2,7956	1	2,7956	134,404
Kesme Değlinliği (B)	0,0181	1	0,0181	0,870
Etkileşim (AxB)	0,0040	1	0,0040	0,192
Hata	0,2495	12	0,0208	

Hata'nın serbestlik derecesi aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

$$A'nın\ düzey\ sayısı\ (2) \times B'nin\ düzey\ sayısı\ (2) \times r-1\ (4-1) = 2 \times 2 \times 3 = 12$$

Tablo 2-8 'deki test istatistiği şöyle hesaplanmaktadır.

$$A\ faktörü\ için\ test\ istatistiği = Karelerin\ Ortalaması / Hata\ Karelerinin\ Ortalaması$$

$$A'nın\ Test\ İstatistiği = 2,7956 / 0,0208 = 134,404\ olarak\ bulunmaktadır.$$

Bulunan test istatistiği F Testi tablosundan bulunan değer ile karşılaştırılır. Şöyleki;

$$F_{0,05 ; 1 ; 12} = 4,75\ olarak\ tablodan\ bulunur.$$

Tablo 2-9 Örnek Deneyde F Test İstatistiği

Varyasyon Kaynağı	Test İstatistiği	Test Tablo Değeri	Değerlendirme
İlerleme Hızı (A)	134,404	≤ 4,75	? H ₀ red, A önemli
Kesme Değlinliği (B)	0,870	≤ 4,75	? H ₀ kabul, B önemli değil
Etkileşim (AxB)	0,192	≤ 4,75	? H ₀ kabul, AB önemli değil

Tablo 2-9'da görüldüğü gibi sonucu etkileyen tek faktör A yani ilerleme hızı faktörüdür. A'nın etki tahmininin yönü artı olduğuna göre (0,836) , A arttıkça çıktı da iyileşecektir.

2.2.2.1. Yates Sıralaması

İki seviyeli tam faktöriyel deneylerde, faktör sayısı 2'nin katı olacak şekilde deney sayısı hesaplanır. Yani 5 faktörlü 2 seviyeli bir deneyde $2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$ adet deney yapmak gerekmektedir. Deney sayısının fazlalığı nedeniyle deneyin özel bir sıralama tekniği ile yapılmasına yates tekniği denilmektedir. Frank Yates'in geliştirdiği bu teknikte kullanılan (1) sembolü, değişkenlerin tamamının düşük değerde olduğunu, "ab" sembolü "A" ve "B" değişkenlerinin yüksek değerlerinde, diğer değişkenlerin ise düşük değerinde olduğunu göstermektedir. (Özensoy, 1982: 27).

Örnek olarak 2^2 faktöriyel tasarım için yates sıralaması şöyle olacaktır.

Tablo 2-10 2^2 Tasarım için Yates Sıralaması

Değişkenler	Seviyeler			Basınç	Sıcaklık
	Düşük	Yüksek			
			(1)	10	50
Basınç (a)	10 atm	20 atm	a	20	50
Sıcaklık (b)	50 °C	60 °C	b	10	60
			ab	20	60

Üç bağımsız değişkenli bir deneyde Yates sıralaması aşağıdaki gibidir.

a	(Temel etki)	a. (1) = a
b	(Temel etki)	b. (1) = b
ab	(İç etkileşim)	a.b = ab
c	(Temel etki)	c. (1) = c
ac	(İç etkileşim)	a.c = ac
ab	(İç etkileşim)	b.c. = bc
abc	(İç etkileşim)	a.b.c = abc

Yine 2^4 faktöriyel tasarım için yates sıralaması şöyle olacaktır.

Tablo 2-11 2^4 Tasarım için Yates Sıralaması (Özensoy, 1982: 28).

Yates Kodu	A	B	C	D
(1)	-	-	-	-
a	+	-	-	-
b	-	+	-	-
ab	+	+	-	-
c	-	-	+	-
ac	+	-	+	-
bc	-	+	+	-
abc	+	+	+	-
d	-	-	-	+
ad	+	-	-	+
bd	-	+	-	+
abd	+	+	-	+
cd	-	-	+	+
acd	+	-	+	+
bcd	-	+	+	+
Abcd	+	+	+	+

2.2.2.2. Deney Sırası

Deneyler tasarlanırken, dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri deneylerin rassal bir sıra ile yapılması gerekliliğidir. Deneyler yapılırken sıralaması rassal sayılar tablosundan bakılarak seçilir. Bunun nedeni, deney esnasında kontrol edilemeyen parametrelerin sonuç üzerindeki etkisini azaltmaktır. Böylece deney sonuçları daha doğru bir şekilde yorumlanabilecektir.

2^n faktöriyel tasarımlarda deneysel hatanın bulunabilmesi amacıyla deneyin tekrarlanması gerekmektedir. Buna tekrarlama ilkesi denilmektedir. Rassal bir sıra ile yapılmış olan bu tür tasarımlara tam faktöriyel tasarım adı verilir.

Örnek olarak 2^4 faktöriyel tasarıma örnek vermek gerekirse, aşağıdaki durum ortaya çıkmaktadır.

Tablo 2-12 2^4 Tasarım için Deney Sayısı (Özensoy, 1982: 30).

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
(1)	A	b	ab	c	ac	bc	abc	d	ad	bd	abd	cd	acd	bcd	abcd
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32

16 deney yapılacak olup, 2 tekrarlı yapılması tasarlandığından yapılacak toplam deney sayısı 32 olacaktır. Rassal sayılar tablosundan yararlanılarak deney sırası aşağıdaki gibi yapılabilir. (Özensoy, 1982: 30).

Tablo 2-13 2^4 Tasarım için Deney Sırası (Özensoy, 1982: 30).

1- ac	9- bcd	17- d	25- abcd
2- ac	10- ab	18- abd	26- bd
3- abd	11- bc	19- bc	27- cd
4- acd	12- abc	20- abcd	28- bcd
5- b	13- d	21- (1)	29- abc
6- acd	14- a	22- (1)	30- a
7- b	15- c	23- ad	31- cd
8- bd	16- c	24- ad	32- ab

2.3. Kesirli Faktöriyel Deneyler

Bazı durumlarda yapılacak deney için ayrılan bütçe ve kaynaklar, tam faktöriyel deney yapmak için elverişli olmayabilir. Kesirli deneyler genellikle fazla sayıda faktörün olduğu durumlarda kullanılmaktadır. (Bailey, 2008:259). Bu durumda, yüksek dereceli etkileşimlerin önemli olmadığı varsayılmakta olup, tasarımcı yarı ($1/2$), dörtte bir ($1/4$) tekrar v.b. yapma alternatiflerinden birini seçer. Böyle bir durumda yapılacak en optimum çözüm, kesirli faktöriyel tasarımlardan yararlanmaktır. Bu tür tasarımlarda ana etkiler ve yüksek dereceden etkileşimler dikkate alınır fakat düşük dereceden etkileşimler göz ardı edilir. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 186).

Örnek olarak 7 faktörlü, 2 seviyeli bir deney için gereken gözlem sayısı şöyle olacaktır.

$n=2.2.2.2.2.2.2 = 2^7 = 128$ 'dir. Bu durumda $n-1 = 127$ farklı etki hesaplanabilmektedir. Bu 127 etkinin 7 adedi ana etki, kalan 120 adedi ise etkileşimlerdir.

Etkileşimlerin hesaplanmasında kullanılacak binom katsayısı formülü aşağıdaki gibidir.

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n-k)!} \quad (2.23)$$

Tablo 2-14 2^7 Tam Eşleştirmeli Bir Deneyde Ana ve Etkileşim Etkileri (Şirvancı, 1997: 56).

Kaynağı	Adet
2'li	$\binom{7}{2} = 7! / (2!5!) = 21$
3'lü	$\binom{7}{3} = 7! / (3!4!) = 35$
4'lü	$\binom{7}{4} = 7! / (4!3!) = 35$
5'li	$\binom{7}{5} = 7! / (5!2!) = 21$
6'lı	$\binom{7}{6} = 7! / (6!1!) = 7$
7'li	$\binom{7}{7} = 7! / (7!0!) = 1$
Toplam	120

Tablo 2-14 'de görüldüğü gibi 7 faktörlü bir deneyi tam eşlendirmeli olarak tasarladığımızda 128 gözlem bulunmaktadır. Toplam etki sayısı 127 olan bir deneyde, 7 etki ana etki, 120 etki ise etkileşim etkileridir. Bu deneyde harcanan eforun büyük bölümü etkileşimler için olmaktadır. Pratik uygulamalarda görülmektedir ki ikili etkileşimlerden daha yüksek dereceli (üçlü, dördü veya daha yüksek) etkileşimlere rastlanmamaktadır. Bu nedenle genellikle ikili etkileşimlerin üzerindeki etkiler ihmal edilebilir. Tablo 2-14'de görülmektedir ki 2 'li etkileşimin üstünde 99 adet etkileşim bulunmaktadır. (Şirvancı, 1997: 56).

2.3.1. 2 Seviyeli Kesirli Faktöriyel Deneyler

Deney tasarımında sıklıkla kullanılan deneyler 2 seviyeli deneyler olup, pratik uygulamalarda oldukça yaygındır. 2 seviyeli kesirli deneyler genellikle üç sınıfta incelenir.

1. 2^{k-1} Deneyler (Yarım Kesirli Deneyler)
2. 2^{k-2} Deneyler (Çeyrek Kesirli Deneyler)
3. 2^{k-p} Deneyler

k : Faktör Sayısı

2 : Faktör Düzey Sayısı

p : Göz Önüne Alınmayacak Etkileşim Düzeyi

Örneğimizde 2^7 faktör bulunmakta ve tam eşlendirme için 128 gözlem gerekmekte idi. Halbuki 2^{7-1} yarım kesirli tasarladığımızda $2^6 = 64$ gözlem yeterli olacaktır. Çeyrek kesirli deneyde ise $2^{7-2} = 2^5 = 32$ deney yapılması yeterli olacaktır. Notasyonda 2^{7-1} şeklinde belirtilen deneyler, 7 faktörlü yarım kesirli deneyi ifade etmekte olup 2^6 şeklinde gösterilmezler.

Yarım kesirli bir 2^k deneyinde 2^{k-1} tane deney yapılır. Deney yapılacak faktör düzey kombinasyonlarını belirtmek için tanımlı kontrast veya jeneratör kullanmamız gerekmektedir. Jeneratörler genellikle tahmini ile ilgilenmediğimiz, ihmal edilebilen

veya önemsiz görülen yüksek mertebeden bir etkileşimle temsil edilirler. Örneğin, A, B ve C faktörlü 2^3 faktör tasarımını ve buna bağlı olarak da Tablo 2-15’de verilen ortogonal kontrast katsayılarını ele aldığımızı düşünelim. I jeneratörü olarak ABC üçlü etkileşimini seçmiş olalım. Bu durumda $I = ABC$ olmaktadır. Bir 2^3 kesirli deneyi için sadece jeneratördeki artı işaretli faktör düzey kombinasyonlarını seçebiliriz. (Montgomery, 2005: 283).

Tablo 2-15 2^3 Faktöriyel Deneyinde Artı ve Eksi İşaretler (Montgomery, 2005: 283).

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

Tablo 2-15’de görüldüğü gibi artı işaretli faktör düzey kombinasyonlarının a,b,c ve abc olduğu görülmektedir. Dolayısı ile burada 4 deney söz konusu olmaktadır. Alternatif olarak 4 tane eksi işaretli faktör düzey kombinasyonu da seçilebilir. (ab, ac, bc, (1)). Bu takdirde $I = ABC$ olacaktır. Jeneratördeki artı işaretli kısım temel kesir, diğeri ise alternatif kesir olarak anılır. Bir tam faktöriyel deneyin kesirli tekrarının sakıncası belirli etkilerin ayrı olarak tahmin edilemeyeşidir. Örnek olarak $I = ABC$ jeneratörlü bir 2^{3-1} deneyini ele alalım. Ana etkiyi tahmin etmek üzere serbestlik derecesi 3 olacak ve a, b, c ve abc olmak üzere 4 deney yapılması gerekecektir. Tablo 2-15 ‘i kullanarak 8 olası faktör düzey kombinasyonunun 4’ünü kullanarak ana etki tahminlerini aşağıdaki gibi yapmamız mümkün olmaktadır. (Montgomery, 2005:284).

$$A = \frac{1}{2} (a + abc - b - c) \quad (2.24)$$

$$B = \frac{1}{2} (b + abc - a - c) \quad (2.25)$$

$$C = \frac{1}{2} (c + abc - a - b) \quad (2.26)$$

$$AB = \frac{1}{2} (a + abc - b - c) \quad (2.27)$$

$$AC = \frac{1}{2} (a + abc - b - c) \quad (2.28)$$

$$BC = \frac{1}{2} (a + abc - b - c) \quad (2.29)$$

Yukarıdaki bu ifadeler aynı zamanda birleşik faktör etkilerini göstermektedirler. A ana etkisinin tahminini gösteren faktör düzey kombinasyonlarının birleşimi aynı zamanda BC etkileşimi ile de aynıdır. Bu durumda A ile BC ‘nin eşadlı oldukları söylenir. Kontrast etkisi önemli ise bunun A’dan mı BC’den mi yoksa her ikisinden mi olduğu sonucunu çıkaramayız. Benzer şekilde B ile AC, C ile de AB eşadlıdır.

Bu noktada “eşad” kavramını açıklamak gerekmektedir. Özellikle L8 ve L16 deneylerde Tablo 2-16 ‘da görüldüğü gibi matrisin etkileşim kolonuna diğer faktörler atanmaktadır. L8 tasarım matrisi, 3 ile 7 arasındaki sayıda faktör için kullanılabilir. Eğer faktör sayısı 3 ise deney tam eşleştirmeli, 3’ten fazla ise kesirli olmaktadır. (Şirvancı, 1997: 57).

Tablo 2-16 L8 Kesirli Deneylerinde Faktörlerin Kolonlara Atanması (Şirvancı, 1997: 58).

Faktör Sayısı	Kolon No.						
	1	2	3	4	5	6	7
3	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	AB	AC	BC	ABC
4	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	AB CD	AC BD	AD BC	<u>D</u>
5	<u>A</u> BD CE	<u>B</u> AD	<u>C</u> AE	<u>D</u> AB	<u>E</u> AC	BC DE	BE CD
6	<u>A</u> BD CE	<u>B</u> AD CF	<u>C</u> AE BF	<u>D</u> AB EF	<u>E</u> AC DF	<u>F</u> BC DE	AF BE CD
7	<u>A</u> BD CE FG	<u>B</u> AD CF EG	<u>C</u> AE BF DG	<u>D</u> AB EF CG	<u>E</u> AC BG DF	<u>F</u> AG BC DE	<u>G</u> AF BE CD

Eşad kavramını incelemek üzere Tablo 2-16’da bulunan 4 faktörlü bir deneyi inceleyelim. Dördüncü faktör olan D, adı ABC olan kolon 7’ye atanmıştır. Bu durumda kolon 7’nin D ve ABC olmak üzere iki adı vardır.

$$D=ABC \quad (2.30)$$

Bu eşitliğe tasarım jeneratörü denilmektedir. Bu denklemin her iki tarafında faktörlerin birbiri ile çarpılması ile diğer kolanların eşadları bulunmuş olmaktadır.

Tasarım matrisinde $A.A = C.C = AB.AB = BC.BC = I$ formülüne göre herhangi bir kolonun kendisi ile çarpımı adına identite kolonu denilen ve tamamını artı işaretlerin oluşturduğu kolona eşit olmaktadır. Bunun yanında herhangi bir kolonun I ile çarpımı kendisine eşit olmaktadır.

$$A.I = I.A = A \text{ veya } I.BC = BC.I = BC \quad (2.31)$$

D = ABC formülünde, tasarım jeneratör denklemi A ile çarpıldığında,

$$A.D = A.ABC = I.BC = BC \quad (2.32)$$

Formülde A.A=I olduğundan altıncı kolonun eşadları, BC = AD olmaktadır.

Yine tasarım jeneratörü denklemi B ile çarpıldığında ,

B.D = B.ABC = ABBC = A.I.C = AC olmakta ve kolon 5 için AC = BD eşadı elde edilmektedir.

Aynı şekilde tasarım jeneratörü denklemi C ile çarpıldığında ,

C.D = C.ABC = AB.C = A.B olmakta ve kolon 4 için AB = CD eşadı elde edilmektedir. (Şirvancı, 1997: 59).

Tüm bu verilen etkileşimler Tablo 2-17’de gösterilmektedir.

Eşad hesaplamasının diğer bir yolu ise $A^2=1$ kabul edilerek eşadları bulmaktır. Aşağıda örnek olarak yukarıdaki gibi L8 deneyinde 3 faktörlü bir deneyde eşadların hesaplanması gösterilmiştir. Burada faktör ve tanımlayıcı formülü 2 modülüne göre çarpılmaktadır. (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010: 189).

$$I=ABC \text{ idi, } A \times ABC = A^2 .B.C. = BC \quad \text{mod}2 \quad (2.33)$$

$$B \times ABC = A.B^2.C. = AC \quad \text{mod}2 \quad (2.34)$$

$$C \times ABC = A.B. C^2 = AB \quad \text{mod}2 \quad (2.35)$$

$$AB = ABC = A^2.B^2.C = C \quad \text{mod}2 \quad (2.36)$$

Görüldüğü gibi A ‘nın eşadı BC, B’nin eşadı AC, C’nin eşadı AB olarak bulunmuştur.

Eşad kavramı ile ilgili olarak Tablo 2-17 'de $2^{(4-1)}$ kesirli deney için oluşturulan eşad tablosu bulunmaktadır.

Tablo 2-17 $2^{(4-1)}$ Kesirli Faktöriyel Deneylerde Eşad Tablosu (Antony, 2003: 75).

Etkiler	Eşadlar
A	BCD
B	ACD
C	ABD
D	ABC
AB	CD
AC	BD
BC	CD
AD	BC
BD	AC
CD	AB
ABC	D
ABD	C
ACD	B
BCD	A

Yine farklı olarak $2^{5 \frac{1}{2}}$ kesirli bir deneyde ana etkiler ve eşadları Tablo 2-18'de gösterilmiştir.

Tasarlanan bir deneyde, faktör deneyleri tam olarak tekrarlanamıyorsa, küçük deney dizinleri ile devam ederek elde ettiğimiz bilgileri, deneyleri yaptıkça birleştirebiliriz. Deneyler devam ederken biriken bilgi, deneyler yapıldıkça güncellenip düzenlenebilir. Örneğin, kesirli tekrarlar da belli faktörlerin anlamsızlığı ortaya çıkmışsa, gelecek deneylerde bu faktörleri dikkate almayarak, kalan faktörler ile tam faktöriyel bir deney yapmanın yolu açılabilir.

Tablo 2-18 $2^{(5-1)}$ Kesirli Faktöriyel Deneylerde Eşad Tablosu (Antony, 2003: 135).

Ana Etkiler	Eşadlar	İki-Faktör Etkileşimleri	Eşadlar
A	BCDE	AB	CDE
B	ACDE	AC	BDE
C	ABDE	AD	BCE
D	ABCE	AE	BCD
E	ABCD	BC	ADE
		BD	ACE
		BE	ACD
		CD	ABE
		CE	ABD
		DE	ABC

2^3 faktöriyel deneylerde, çeyrek kesirli ($1/4$ tekrarlı) bir örnek vermek gerekirse, PVC Boru imalatında prosesi etkileyen üç faktör olduğu düşünülmektedir. Bunlar ;

A : Extruder Hızı

B : Extruder Basıncı

C : Vida Dönme Hızı

faktörleridir. A, B, C faktörlerinin her birinin düşük (0) ve yüksek (1) olarak adlandırılan iki düzeyinin olduğu varsayılmaktadır. Yapılan deney sonucunda bir vardiyada ortaya fire miktarları kilogram olarak Tablo 2-19 'da gösterilmiştir.

Tablo 2-19 'daki verileri kullanarak $\alpha = 0,05$ anlamlılık düzeyinde,

- Faktörlerin ana etkilerinin (A, B, C) anlamlı olup olmadığını,
- Etkileşim etkilerinin (AB, AC, BC, ABC) anlamlı olup olmadığını sınamaya çalışacağız.

Tablo 2-19 Örnek Deney Sonuçları

Faktörler			Tekrarlar			Deneme	Fire
A	B	C	1	2	3	Kombinasyonları	Miktarları (Kg)
0	0	0	57,56	70,35	68,34	(1)	196,25
1	0	0	43,20	37,01	43,53	a	123,74
0	1	0	38,76	60,89	63,83	b	163,48
1	1	0	64,48	49,59	81,69	ab	195,76
0	0	1	76,59	68,66	85,32	c	230,57
1	0	1	56,89	71,22	70,23	ac	198,34
0	1	1	70,24	54,06	69,90	bc	194,20
1	1	1	57,28	51,55	46,95	abc	155,78

Deney, 2^3 faktöriyel tasarım örneği olup, faktörlere ve etkileşimlere ait serbestlik derecesi 1, hataya ait serbestlik derecesi ise $2^3 \cdot (3-1) = 16$ olmaktadır.

r = Tekrar Sayısı = 3 olup, her bir faktör ve etkileşimlere ait etkiler aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A'nın Etkisi : abc + ac + ab + a - bc - c - b - (1) = - 110,88 \quad (2.37)$$

$$B'nin Etkisi : abc + bc + ab + b - ac - a - c - (1) = - 39,68 \quad (2.38)$$

$$AB'nin Etkisi : abc + ab + c + (1) - bc - ac - a - b = 98,60 \quad (2.39)$$

$$C'nin Etkisi : abc + bc + ac + c - a - b - ab - (1) = 99,66 \quad (2.40)$$

$$AC'nin Etkisi : abc + ac + b + (1) - bc - ab - a - c = - 30,42 \quad (2.41)$$

$$BC'nin Etkisi : abc + bc + a + (1) - ac - ab - b - c = - 118,18 \quad (2.42)$$

$$ABC'nin Etkisi : abc + a + b + c - bc - ac - ab - (1) = - 110,98 \quad (2.43)$$

Karelerin toplamaları ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$SS_{Toplam} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^3 (y_{ijkl} - \bar{y} \dots)^2 = 4035,28 \quad (2.44)$$

$$SS_A = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_A]^2 = 512,27 \quad (2.45)$$

$$SS_B = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_B]^2 = 65,6 \quad (2.46)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_{AB}]^2 = 405,08 \quad (2.47)$$

$$SS_C = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_C]^2 = 413,84 \quad (2.48)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_{AC}]^2 = 38,56 \quad (2.49)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_{BC}]^2 = 581,94 \quad (2.50)$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{2^3 \cdot 3} [Etki_{ABC}]^2 = 513,19 \quad (2.51)$$

$$SS_{Hata} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^3 (y_{ijkl} - \bar{y}_{ijll})^2 = 1504,80 \quad (2.52)$$

2^3 faktöriyel tasarımda, her bir faktöre ve etkileşim etkisine ait serbestlik derecesi 1 olduğundan kareler ortalamaları, kareler toplamlarına eşittir. Hata kareler ortalaması ise ;

$$MS_{Hata} = \frac{1504,8}{16} = 94,05 \quad (2.53)$$

olarak elde edilir. Buradan test istatistiklerinin değeri ;

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{Hata}} = \frac{512,27}{94,05} = 5,45 \quad (2.54)$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_{Hata}} = \frac{65,6}{94,05} = 0,70 \quad (2.55)$$

$$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_{Hata}} = \frac{405.08}{94.05} = 4.31 \quad (2.56)$$

$$F_C = \frac{MS_C}{MS_{Hata}} = \frac{413.84}{94.05} = 4.40 \quad (2.57)$$

$$F_{AC} = \frac{MS_{AC}}{MS_{Hata}} = \frac{38.56}{94.05} = 0.41 \quad (2.58)$$

$$F_{BC} = \frac{MS_{BC}}{MS_{Hata}} = \frac{581.94}{94.05} = 6.19 \quad (2.59)$$

$$F_{ABC} = \frac{MS_{ABC}}{MS_{Hata}} = \frac{513.19}{94.05} = 5.46 \quad (2.60)$$

olarak bulunur. Bu örnek için ANOVA tablosu Tablo 2-20 'de görülmektedir.

Tablo 2-20 Örnek Deney için ANOVA Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Toplamı	Karelerin Ortalaması	Test İstatistiği
A	1	512.27	512.27	5.45
B	1	65.60	65.60	0.70
AB	1	405.08	405.08	4.31
C	1	413.84	413.84	4.40
AC	1	38.56	38.56	0.41
BC	1	581.94	581.94	6.19
ABC	1	513.19	513.19	5.46
Hata	16	1504.80	94.05	
Genel	23	4035.28		

F_A istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilir. Başka bir deyişle,

$$F_A = 5,45 > F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.61)$$

olduğundan “A’nın etkisi anlamlıdır” denir.

F_B istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmez. Başka bir deyişle,

$$F_B = 0,70 < F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.62)$$

olduğundan “B’nin etkisi anlamlı değildir” denir.

F_{AB} istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmez. Başka bir deyişle,

$$F_{AB} = 4,31 < F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.63)$$

olduğundan “AB etkileşim etkisi anlamlı değildir” denir.

F_C istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmez. Başka bir deyişle,

$$F_C = 4,40 < F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.64)$$

olduğundan “C etkileşim etkisi anlamlı değildir” denir.

F_{AC} istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha küçük olduğundan sıfır hipotezi reddedilmez. Başka bir deyişle,

$$F_{AC} = 0,41 < F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.65)$$

olduğundan “AC etkileşim etkisi anlamlı değildir” denir.

F_{BC} istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilir. Başka bir deyişle,

$$F_{BC} = 6,19 > F_{0,05 ; 1 ; 16} = 4,49 \quad (2.66)$$

olduğundan “BC etkileşim etkisi anlamlıdır” denir.

F_{ABC} istatistiğinin değeri, 1 ve 16 serbestlik dereceli F tablo değerinden daha büyük olduğundan sıfır hipotezi reddedilir. Başka bir deyişle,

$$F_{ABC} = 5,46 > F_{0,05; 1; 16} = 4,49 \quad (2.67)$$

olduğundan “ABC etkileşim etkisi anlamlıdır” denir.

Kesirli faktör deneylerini kategorize etmenin bir yolu üretilen eşad şablonlarını esas almaktır. Ana etkileri eşadlandırmadan birbirlerinden bağımsız olarak tahmin edebilmek tercih edilen bir durumdur. Ana etkilerin etkileşim terimleri ile eşadlandırılma dereceleri tasarıma karşılık gelen çözünürlük kelimesi ile ifade edilirler. Özellikle III, IV ve V çözünürlükleri önemlidir.

2.3.1.1. Çözünürlük III Deneyleri

Çözünürlük III olarak adlandırılan bu deney tasarımı türünde, ana etkiler birbirleri ile değil ama ikili etkileşimleri ile eşadlıdır. Aynı zamanda ikili etkileşimler de birbirleri ile eşadlı olabilirler.

I = ABC jeneratörü 2^{3-1} tasarımı, çözünürlük III ‘e örnektir. Böyle bir tasarımda eşad yapısı A=BC, B=AC ve C=AB şeklindedir. Ana etkiler sadece ikili ve daha yüksek mertebeden etkileşimlerin olmadığı durumlarda tahmin edilebilirler.

2.3.1.2. Çözünürlük IV Deneyleri

Bu tür tasarımlarda ana etkiler birbirleri ile ya da herhangi bir ikili etkileşim ile eşadlı değildirler. İkili etkileşimler birbirleri ile eşadlıdır. Dolayısı ile 3 ‘lü veya daha yüksek mertebeden etkileşimler mevcut olmadığı sürece 2’li etkileşimlerin önemine bakmaksızın ana etkiler tahmin edilebilirler.

I = ABCD tasarım jeneratörü 2^{4-1} tasarımı çözünürlük IV ‘e örnektir. Burada eşad yapısı A=BCD, B=ACD, C=ABD, D=ABC, AB=CD, AC=BD ve AD=BC şeklindedir.

2.3.1.3. Çözünürlük V Deneyleri

Bu tür tasarımlarda ise ikili etkileşimle eşadlı bir ana etki ya da ikili etkileşim yoktur. Ama ikili etkileşimler 3'lü etkileşimlerle eşadlıdır.

I = ABCDE tasarım jeneratörü 2^{5-1} tasarımı çözünürlük V'e örnektir. (Montgomery, 2005: 286).

Tablo 2-21 Kesirli Faktöriyel Deneylerde Çözünürlük Sayıları (Dean ve Voss, 1999:488).

Çözünürlük	Ana Etkiler Eşadlar İle	2 Faktör Etkileşimleri Eşadlar İle
III	2-faktör etkileşimleri veya daha yüksek	Ana etkiler ve etkileşimler
IV	3-faktör etkileşimleri veya daha yüksek	2-faktör etkileşimleri veya daha yüksek
V	4-faktör etkileşimleri veya daha yüksek	3-faktör etkileşimleri veya daha yüksek

2.3.2. Bloklama

Deney tasarımında bloklamanın temel ilkesi, deneysel birimleri homojen birimlerden oluşmuş bloklar halinde gruplamaktır. Böylelikle faktör düzey kombinasyonları, bloklardaki deneysel birimlere rastgele atanmış olacaklardır. Bloklamanın amacı, bloklar içindeki varyasyonu minimize ederek, faktör düzey kombinasyonlarının mümkün olduğu kadar eş koşullarda karşılaştırmasını sağlamaktır. Deneysel hata, genellikle blok hacmi arttıkça artar. Çok faktörün olduğu deneylerde, faktör düzey kombinasyonu sayısı faktör sayısı ile birlikte dramatik olarak artar. Genellikle bir blokta tüm faktör düzey kombinasyonlarını homojen bir şekilde oluşturmak zordur.

Bloklama ile deneyin hassasiyetini arttırmak için blok hacminin olabildiğince küçük olması gerekir. Bunu başarmanın tek yolu ise karıştırarak eşleştirmektir. Böylelikle, belirli bir faktör düzey kombinasyonunun etkisi bloklama suretiyle bölümlere ayrılmış olacaktır. (Montgomery, 2005: 266). Eşleştirmede tüm faktör düzey kombinasyonları her blokta tekrarlanmamaktadır. Bu durumda blok kontrastı da eşleştirilmiş olan faktör düzey kontrastına eşdeğer olacaktır. Doğal olarak, bir faktör düzey kombinasyonunun etki tahmininde bu eşleştirme nedeniyle de bloklar arası

etkileşimlerin tahmini olanaksız hale gelecektir. Bu durumda blokların çıktıları arasında izlenen gözlem farklılıklarının sadece blokların farklılığından mı kaynaklandığını anlamak olanaksızdır.

2^3 faktör deneyini ele alarak bir örnek vermek gerekirse, tam tekrar için 8 deneye gereksinim olmaktadır. Bu deneyde hammaddeyi, blok hacmini etkileyen tedarikçilerine göre bloklama yapmak istediğimizi varsayalım. Her tedarikçiden sınırlı miktarda hammadde geldiğinden tam tekrar için gereksinim duyduğumuz 8 deney yerine, her tedarikçi için sadece 4 deney yapabildiğimizi varsayalım. Burada sorulacak olan soru, bir tedarikçiden sadece 4 deney çıkarabildiğimize göre 8 deneyi boyutu 4 olan iki bloğa nasıl ayırmalıyız ?

Bu soruya cevap verebilmek için Tablo 2-22 'de gösterilen bir 2^3 faktör deneyindeki ortogonal kontrast katsayılarını referans olarak almamız gerekmektedir. Eşleştirme kontrastları tipik olarak yüksek mertebeden seçilirler. Tabloda ABC sütununa bakıldığında, ABC'nin kontrastı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\text{Kontrast (ABC)} = a + b + c + abc - (1) - ab - ac - bc \quad (2.68)$$

Tablo 2-22 2^3 Tasarım için Artı ve Eksi İşaret Tablosu (Montgomery, 2005: 268).

İşlem Kombinasyonları	Faktöriyel Etkiler								Blok
	I	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-	1
a	+	+	-	-	-	-	+	+	2
b	+	-	+	-	-	+	-	+	2
ab	+	+	+	+	-	-	-	-	1
c	+	-	-	+	+	-	-	+	2
ac	+	+	-	-	+	+	-	-	1
bc	+	-	+	-	+	-	+	-	1
abc	+	+	+	+	+	+	+	+	2

Buradaki artı işaretliler bir grup (a, b, c, abc) ve eksi işaretlileri ise başka bir grup (1), ab, ac, bc) olarak ayrılabilir. Ardından da her birinin hacmi 4 olan iki blok oluşturulur.

Tablo 2-23 8 Deneyin İki Bloğa Atanması (Montgomery, 2005: 269).

Blok 1	Blok 2
(1)	a
ab	b
ac	c
bc	abc

Tablo 2-23 'de görüldüğü gibi, blok 1'de a, b, c ve abc faktör düzey kombinasyonları, blok 2 'de ise (1), ab, ac ve bc faktör düzey kombinasyonları bulunmaktadır.

Blok etkisinin tahmini için iki bloktan elde edilen ortalama çıktılarıdaki farka bakılmaktadır. Bu ABC faktör düzey kombinasyonunun etkisini tahmin etmekle aynı şeydir. ABC'deki kontrast katsayılarının pozitif 4 adedi blok 1'e ve negatif 4 adedi ise blok 2'ye atanmıştır. Dolayısı ile blok etkisi ile ABC etkileşim etkisinin etkisi aynı şey olmuştur. Yani ABC bloklarla eşleşmiştir. ABC'nin kontrastı da eşleşmiş bir kontrasttır.

2.3.3. Hata Tahmini

Değişken sayısının iki ya da üç gibi küçük olduğu durumlarda hata tahminini elde etmek için genelde deneyi tekrarlamak gerekmektedir. Örneğin, ABC eşleşmeli iki bloklu bir 2^3 tasarımında, tasarım yapan kişinin tasarımı 4 kez tekrarlamaya karar verdiğini varsayalım. Sonuç Tablo 2-24 'de görülmekte olup, burada her tekrar ABC ile eşleşmektedir. (Montgomery, 2005: 270).

Tablo 2-24 ABC Eşleşmeli Dört Tekrarlı Bir 2^3 Tasarımı (Montgomery, 2005: 270).

Tekrar 1		Tekrar 2		Tekrar 3		Tekrar 4	
Blok 1	Blok2	Blok 1	Blok2	Blok 1	Blok2	Blok 1	Blok2
(1)	abc	(1)	abc	(1)	abc	(1)	abc
ac	a	ac	a	ac	a	ac	A
ab	b	ab	b	ab	b	ab	b
bc	c	bc	c	bc	c	bc	c

Bu tasarımın varyans analizi Tablo 2-25 'de görülmekte olup, 32 gözlem ve 31 serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bunun yanı sıra 8 blok olması nedeniyle bu bloklarla ilgili serbestlik derecesi 7 'dir. Hata kareleri toplamı aslında tekrarlar ile etkilerin (A, B, C, AB, AC, BC) her biri arasındaki ikili etkileşimlerden ibarettirler. Genelde hata tahmini olarak etkileşimler için sıfır, faktör düzeyleri için de ortalama kare sonucunu almak emniyetli olacaktır. Ana etkilerle ikili etkileşimler ortalama hata karesine karşılık test edilmişlerdir.

Tablo 2-25 ABC Eşleşmeli Dört Tekrarlı Bir 2^3 Tasarım için Varyans Analizi (Montgomery, 2005: 271).

Varyasyonun Kaynağı	Serbestlik Derecesi
Tekrarlar	3
Bloklar (ABC)	1
ABC İçin Hata (tekrarlar x bloklar)	3
A	1
B	1
C	1
AB	1
AC	1
BC	1
Hata (ya da tekrarlar x etkiler)	18
Toplam	31

Kaynakların eşleştirmeli tasarımların tekrarına izin verecek kadar bol olması durumunda, her tekrarda blok tasarımında biraz farklı bir yöntem kullanmak genelde

daha iyidir. Bu yaklaşım, tüm etkilere bağlı bilgilerin elde edilmesi için her tekrarda farklı bir etkinin eşleştirmesinden ibarettir. Bu prosedür “Kısmi Eşleştirme” olarak adlandırılır. Değişken sayısının yeterince büyük olduğu durumlarda ($k \geq 4$ olması gibi) çoğunlukla tek bir tekrara gücümüz yetecektir. Deneyi yapan kişi genellikle yüksek mertebeden etkileşimlerin ihmal edileceğini varsayar ve bunların hata karelerinin toplamalarını birleştirir. (Montgomery, 2005: 270).

Hata tahmininin diğer bir ifade biçimi ise kalıntıların analizidir. Kalıntı analizi aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$\hat{y} = \bar{x} + \frac{(A'nın etkisi)}{2} x_1 \quad (2.69)$$

$\hat{y}$: Tahmin değeri

$\bar{x}$: Ortalama

x_1 : x 'in etkisi

A'nın etkisinin yarısının alınıyor olmasının nedeni, regresyon katsayısının y 'nin ortalaması üzerinde x_1 'deki bir birim değişimin etkisinin ölçülüyor olmasıdır. x_1 'in değeri -1 ile +1 arasında olduğundan değişim aslında iki birimlidir. Dolayısıyla ortalama olarak bir birimlik değişimin ölçüsüne bakılmaktadır.

Yukarıdaki (2.69) formülü ile tahmin değerleri hesaplandıktan sonra kalıntı değerleri hesaplanmalıdır. Kalıntı ise gerçekleşen değer ile tahmin değeri arasındaki farka eşittir.

$$e_i = (y_i - \hat{y}_i) \quad (2.70)$$

e_i : Kalıntı değeri

y_i : Gerçekleşen değer

$\hat{y}_i$: Tahmin değeri

2.4. Doğrulama Deneyleri

Doğrulama deneylerinde amaç, tasarım uzayında üzerinde durulan bir noktadaki çıktıyı öngörmek üzere modelin denklemini kullanarak, bu noktadaki faktör düzey kombinasyonlarında yapılan deney sonuçları ile karşılaştırmaktır. Doğrulama deneylerinde, asıl deneydeki ayrıntılara gerek duyulmadan modelin daha basit bir şekli ile deney yapılmaktadır.

Birbirine yakın sonuçlar kesirli deneylerin yorumlarının doğruluğunu gösterirken, arada doğacak büyük farklar ise yorumların problemli olduğu sonucuna götürmektedir. Bu durum, belirsizlikleri çözmek için ilave deneye gerek olup olmadığı konusunda bir gösterge olacaktır.

Tahmin edilen ile gözlenen değer arasındaki farkların yakın çıkmadığı durumlarda, bu iki değer yeterince yakın olup olmadığı kesirli deneylerin sonuçlarının ve yorumlarının doğru çıkması açısından önemlidir. Bu soruya cevap vermenin bir yolu doğrulama deneylerinin sonuçları için bir tahmin aralığı oluşturmaktır. (Montgomery, 2005: 296).

2.5. Plackett-Burman Deney Tasarımı

Plackett-Burman tasarımı, çözünürlük III tasarımların bir türü olup, onlarla aynı amacı taşırlar. Bu amaç, hangi faktörlerin önemli olduğunun tespitidir. Diğer tasarım türlerine göre daha az sayıda deneme gerektirmesi avantajlı yönleri iken, yapılarının kompleksli olması bakımından ise dezavantajlı bir yöntemdir. (Rekab ve Shaikh, 2005:31).

1946 'da Plackett ve Burman tarafından geliştirilen bu tasarım türü, 2 seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlar olup, N sayıda deneyde , $k=N-1$ değişken olduğunda ve deney sayısı N 4 'ün katı olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu tasarımlar, geometrik olmayan tasarımlar olarak adlandırılırlar. (Montgomery, 2005: 319).

n : Faktör Sayısı

N_R : Deney Tekrar Sayısı

Plackett-Burman tasarımı deney tekrar sayısı, 4'ün katları şeklinde belirlenmektedir. $N_R = 8, 12, 16, 20, 24, 32, 36, 40$ olabilmektedir. (Gustafsson, Herrmann ve Huber, 2007: 78). n ile N_R arasındaki bağıntı ise şöyledir :

$N_R > n$ olmaktadır. N_R 4 'ün katları şeklinde başlamaktadır.

$N_R = 8$ en küçük değerdir.

Örnek olarak, 32 tane faktör olduğunu varsayalım. Plackett-Burman tasarımı 36 deney yapılmasını gerektirmekte, buna karşılık çözünürlük III tipindeki kesirli faktöriyel deneyler 64 deney gerektirmektedir. Tablo 2-26 'da Plackett-Burman tasarımı ve çözünürlük III sınıfındaki kesirli faktöriyel deneylerin deney tekrar sayıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2-26 Plackett-Burman ile 2^{n-p}_{III} Karşılaştırması (Rekab ve Shaikh, 2005: 32).

Faktör Sayısı	Plackett-Burman	Çözünürlük III Kesirli Faktöriyel
$4 \leq n \leq 7$	8	8
$8 \leq n \leq 11$	12	16
$12 \leq n \leq 15$	16	16
$16 \leq n \leq 19$	20	32
$20 \leq n \leq 23$	24	32
$24 \leq n \leq 27$	28	32
$28 \leq n \leq 31$	32	32
$32 \leq n \leq 35$	36	64
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$64 \leq n \leq 67$	68	128

Bu tasarımlar, 2 seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlar olup, N sayıda deneyde $k=N-1$ değişken olduğunda ve deney sayısı N 4 'ün katı ise Plackett-Burman olarak

adlandırılır. Bu tasarımlar, kübik olup, geometrik olmayan tasarımlar olarak adlandırılırlar.

Tablo 2-27 'nın üst yarısındaki artı ve eksi olan satırlar, Plackett-Burman 'ın yapısını $N=12, 20, 24$ ve 36 sayıda deney için gösterirler oysa tablonun alt yarısında bloklardaki artı ve eksi işaretler $N=28$ tasarımının yapısını göstermektedir. $N=12, 20, 24$ ve 36 için Tablo 2-27 'de uygun sıra ile yazılımından elde edilir. İkinci sıra, ilk satırdaki dizilimin bir satır aşağıya alınarak, son ögenin ilk sıraya yerleştirilmesi ile oluşturulur. Üçüncü satır da ikinci satırdakine benzer şekilde, ikinci sıranın bir satır aşağıya alınıp, ilk ögenin son sıraya yerleştirilmesi ile oluşturulur. Son satır ise tamamen eksi işaretlerden oluşur. $N=28$ için, X, Y ve Z gibi 3 blok oluşturulmak istenirse aşağıdaki gibi yazılır ve eksi işaretler 27 satırın sonuna eklenir. (Montgomery, 2005: 319).

X Y Z
Z X Y
Y Z X

Bu tasarımlar, $N=12$ için ve $k=11$ faktör için Tablo 2-27 'de gösterilmiştir.

Geometrik olmayan Plackett-Burman tasarımları $N=12, 20, 24, 28$ ve 36 için oldukça dağınık eşad yapısına sahiptir. Örneğin, 12 deneyli bir tasarımda her ana etki, her ikili etkileşim ile kısmen eşadlıdır. Örneğin AB etkileşimi 9 ana etki C, D, ..., K ile eşadlıdır. Dahası her ana etki, 45 adet ikili etkileşim ile kısmen eşad oluşturur. Daha büyük tasarımlarda, durum daha da karmaşık olabilmektedir. Tasarımcının bu deneylerde çok dikkatli olması gerekmektedir.

Tablo 2-27 Plackett-Burman Tasarımında Artı ve Eksi İşaretlemeler (Montgomery, 2005: 319).

k=11, N=12	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			</
------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Tablo 2-28 $N=12, k=11$ için Plackett-Burman Tasarımı (Montgomery, 2005: 320).

[illegible]

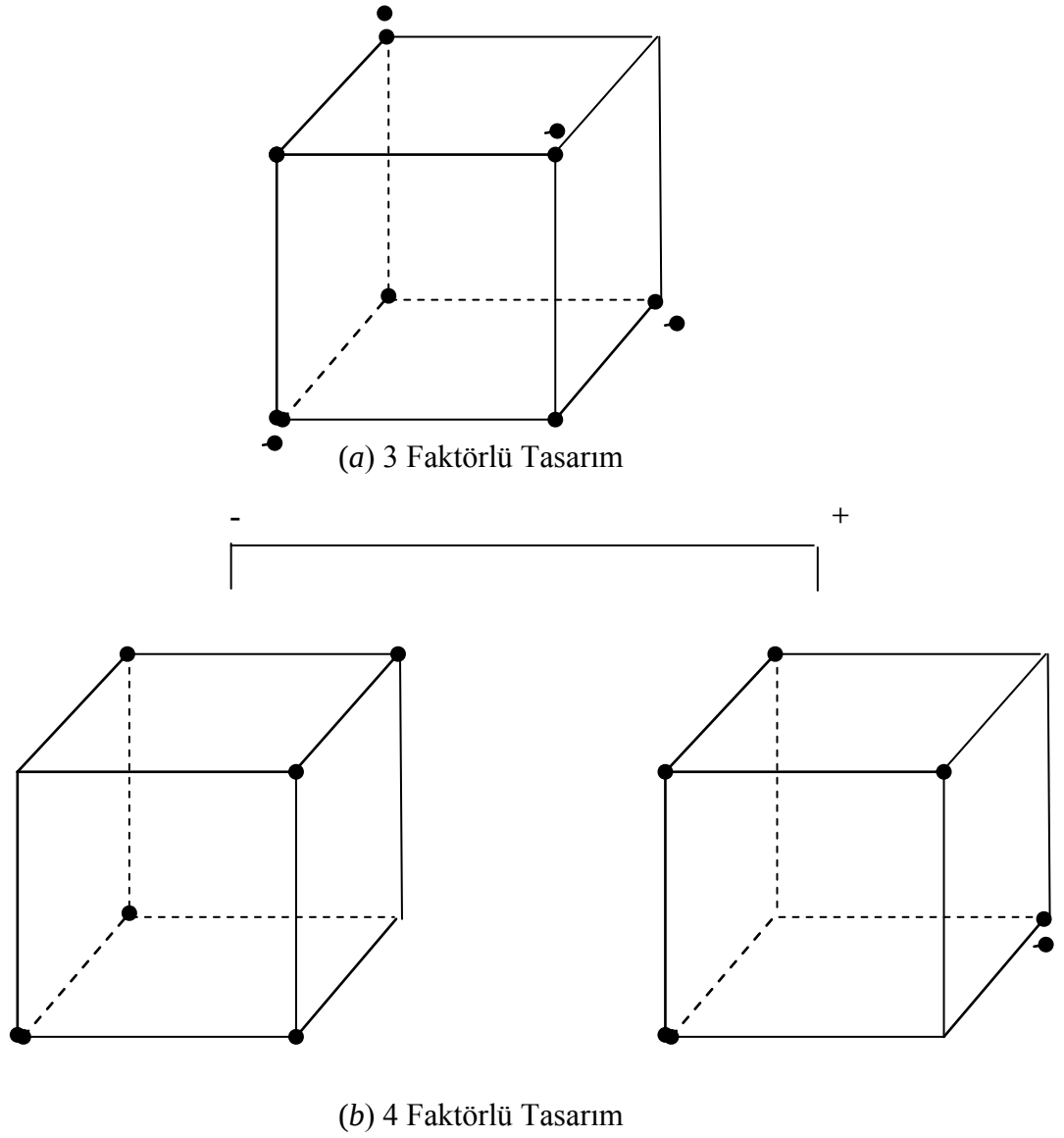
Plackett-Burman tasarımları geometrik olmayan özellikte olup, aşağıda belirtilen durumlarda kullanışlıdır. Örneğin, Tablo 2-28 'de ele alınan 12 tekrarlı bir deneyi ele alalım. Bu tasarım, 2^2 tam tasarımın 3 tekrarlı deneyi olup, 11 orijinal faktörlü bir deneye göre planlanmıştır. Her ne kadar 3 faktörde 2^3 tam faktörlü tasarlanmış olsa

da, 2_{III}^{3-1} kesirli deneyidir. Bu, çözünürlük III Plackett-Burman tasarımı olarak tasarım 3 sınıfında olup, demektir ki herhangi 3 alt faktör, tam faktöriyel deneye dönüşecektir. 2_{III}^{k-p} tasarımı sadece tasarım 2 türündedir. (Montgomery, 2005: 320).

Plackett-Burman tasarımlar, çözünürlük III tasarımlarının bir sınıfı olup, iki seviyeli faktöriyel tasarımlarda genellikle ana etkiler incelenmektedir. Çözünürlük III tasarımlarda, ana etkiler ikili etkileşimler ile etkileşimdedir. Eğer ikili etkileşimlerin etkisini ihmal etmeyi kabul ediyorsak, yalnızca PB tasarımları kullanmalıyız.

Minitab 16 paket programı en fazla 47 faktör için tasarım üretir. 8 'den 48 'e kadar olan her tasarım, 4'ün katıdır. Faktörlerin sayısı, deneylerin sayısından daha az olmalıdır. Örneğin, 20 deney ile bir tasarım, 19 faktörün ana etkileri tahmin etmek için izin vermektedir.

Minitab sadece eşad tablosunda 8 ve 16 deney tasarımlarını görüntüler. 12, 20 ve 24 sayıda deney için her bir ana etki, kısmen birden fazla yönlü etkileşim sağlar, böylece eşad yapısının belirlenmesi zorlaşır.



Şekil 2-7 12 Tekrarlı Plackett-Burman Tasarımının 3 ve 4 Faktörlü Tasarımları (Montgomery, 2005: 320).

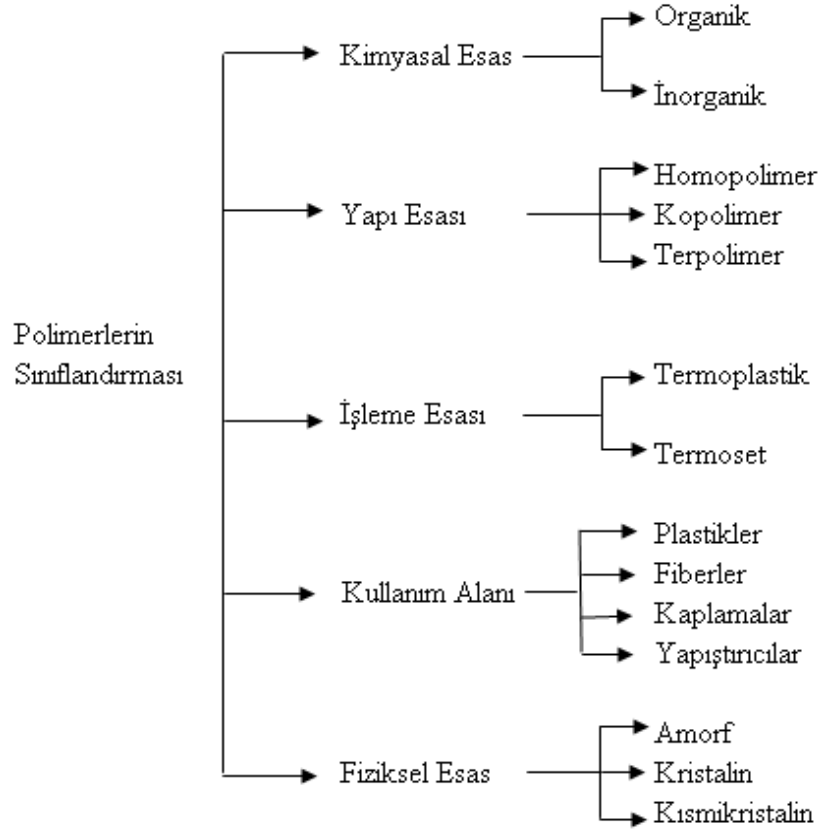
BÖLÜM 3 ENJEKSİYON PROSESİ VE PARAMETRELERİN ÖNEMİ

Günümüzde plastik malzemeler hayatımızın her alanında kullanılmaktadırlar. Plastik sektörü yüksek teknolojiye sahip makinelerinin geliştirilmesi ve kalıp teknolojisindeki ilerlemeler ile oldukça önemli sektörlerden biri haline gelmiştir. Bu sektörün gelişimi ile plastik malzemeler, hem fiziksel işlenebilme kolaylığı hem de sağladığı maliyet avantajı nedeniyle metaller ve diğer birçok farklı malzemelere göre daha fazla kullanım alanı bulmaktadır.

Kullanılan tüm termoplastik malzemelerin üçte biri enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş ürünlerdir. Kullandığımız polimer esaslı proses ekipmanlarının yarısından fazlası enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünlerdir. Bu da bize sektörün büyüklüğü hakkında bilgi vermektedir. (Osswald ve Hernandez-Ortiz, 2006: 1).

Plastiklerin yeniden işlenebilme özelliği nedeniyle sektör önemli gelişmeler sağlamakta, kullanılan plastiklerin toplanarak yeniden sanayiye geri kazandırılması da üreticilere maliyet avantajı getirmektedir. Aynı zamanda doğada uzun yıllar bozulmadan kalabilen bu malzemenin yeniden toplanarak kullanımı sayesinde çevrenin korunması da sağlanabilmektedir.

Endüstride kullanılan plastikler genel olarak sentetik polimerlerdir. Bu malzemeler kimyasal adının başına “poli” sözcüğü konularak adlandırılırlar. Polimerleri pek çok farklı özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Kimyasal içeriklerine göre ele alırsak, polimerleri organik ve inorganik polimerler olmak üzere iki ana grupta incelemek mümkündür. Polimerler olarak da adlandırılan plastik malzemeler, işleme esasına göre ise termosetler ve termoplastikler olarak iki sınıfta incelenebilir. Konu ile ilgili pek çok farklı şekilde sınıflandırma yapılabilmektedir. Şekil 3-1 ‘de örnek bir sınıflandırma verilmektedir. (Akkurt, 2007: 7).



Şekil 3-1 Polimerlerin Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması. (Akkurt, 2007: 7).

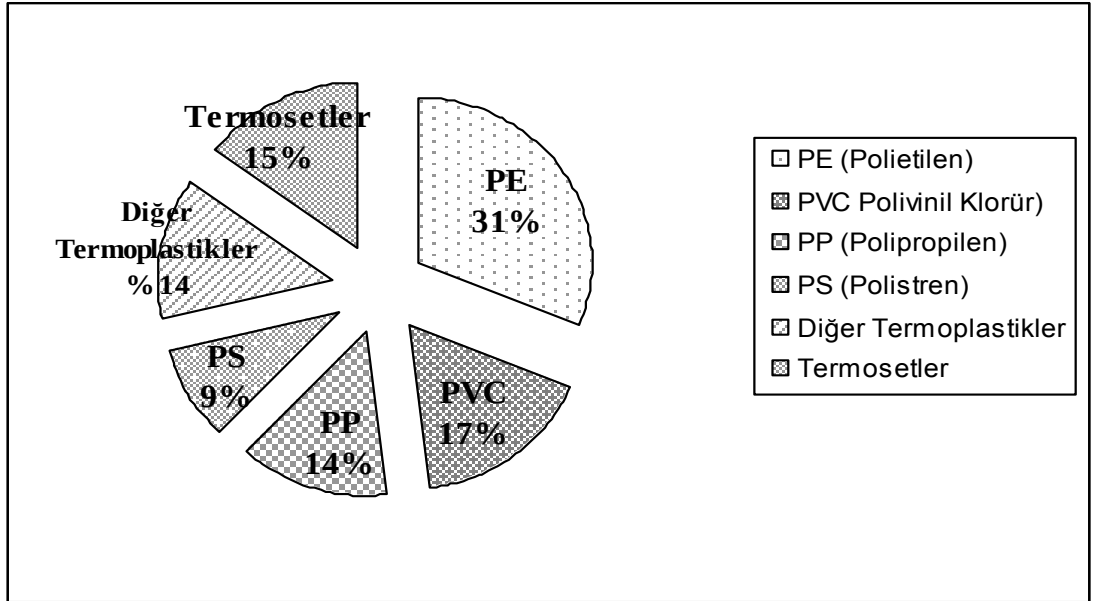
Termosetler belirli bir sıcaklığın üzerinde sertleşmekte olup, bu sertleşme moleküllerin çapraz bağlanma reaksiyonu ile bağlanmasından sonra meydana gelmektedir. Termoset malzemelere şekil verme işleminin bu ağ yapısının oluşmasından daha önce gerçekleşmesi gerekmektedir. Termoset malzemelere örnek olarak poliüretan, melamin, epoksi poliüretan malzemeler verilebilir. Bu bahsedilen reaksiyonlar tersinmez reaksiyonlar olduğu için termoset malzemeler tekrar ısıtılarak şekillendirilemezler. (Arburg,2004: 17: a)

Termoplastikler, belirli bir sıcaklığın üzerinde yüksek akışkanlığa sahip malzemelerdir. Yumuşak bir yapıya sahip olan termoplastik malzemeleri şekillendirmek oldukça kolaydır. Termoplastik malzemeler soğuduklarında katılaşır ve şekillendirilmeleri güçleşir. Ancak yeniden belirli bir sıcaklığın üzerinde hamur haline gelirler ve farklı bir formda tekrar şekillendirilmeleri mümkündür. Özetle, termoplastik malzemeler tersinir yapıya sahip olduklarından dolayı yeniden

şekillendirilebilen malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı termoplastik malzemelerin geri dönüşüm olanağı da mevcuttur.

Termoplastik malzemeler, morfolojik olarak, katı haldedirler. Bu malzemeler amorf ya da kristal olabilirler. Amorf polimerler olarak da adlandırılan acrylonitrile butadien styrene (ABS), acrylic (PMMA), polycarbonate (PC), polystyrene (PS) ve polyvinylchloride (PVC) gibi malzemeler, yapı itibariyle düzensiz ve rastgele olup, karışık polimer zincirlerinden meydana gelmektedirler. (Savaşçı, v.d., 2008: 17). Yarı kristalize plastikler ise tam tersine düzenli molekül yapısına sahiptirler. Yarı kristalize plastiklere örnek olarak, acetal (POM), nylon (PA) polyester terephthalate (PETP), alçak yoğunluklu polietilen (PE-LD) ve polypropylene (PP) verilebilir. Uygulaması yapılan işletmede bu malzemelerden ABS, PVC ve PP hammaddeleri kullanılmaktadır. (Rauwendaal, 2008: 53)

Bu çeşitli plastik malzemeler, endüstride pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Dünyada kullanım miktarları yönüyle bu hammaddelerin sınıflandırması ve kullanım yüzdeleri üzerine bir takım araştırmalar mevcuttur. Bunlardan biri Şekil 3-2 'de gösterilmektedir. (Savaşçı, v.d., 2008: 455).



Şekil 3-2 Bazı Plastiklerin Toplam Dünya Üretimindeki Payları. (Savaşçı, v.d., 2008: 455).

PVC, amorf yapıya sahip bir plastiktir. Yeniden şekillendirilebilir, yüksek ışık geçirgenliğine ve parlaklığa sahip, ısı ile şekillendirme özelliği çok iyi olan bir malzemedir. Bütün bu özelliklerinden dolayı tesisat borusu ve ek parçaları üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, amorf yapısı nedeniyle molekül yapısının düzensiz ve rastgele olması PVC ‘nin üretim esnasındaki davranışlarının kontrol altında tutulmasını zorlaştırmaktadır. (Savaşçı, v.d., 2008: 311). Uygulama bölümünde yapılan deneyde bu hammadde kullanılmıştır.

PVC, sektörde plastik boru, profil, film ve levha üretiminde kullanılmaktadır. (Leadbitter, v.d. 1994: 6). PVC, proses esnasında stabilizatör, proses yardımcısı, cam elyaf, bazı kimyasal ajanlar ve impact modifier denilen yardımcı malzemeler ile birlikte kullanılır. Bu malzemeler sayesinde ısıl dayanım artırılır, güneş ışınlarına karşı koruyucu etkisi kazandırılır ve darbe mukavemeti artırılır. Ayrıca çeşitli renklendiriciler ile termal dayanım ve parlaklık sağlanabilmektedir. (Leadbitter, v.d. 1994: 25).

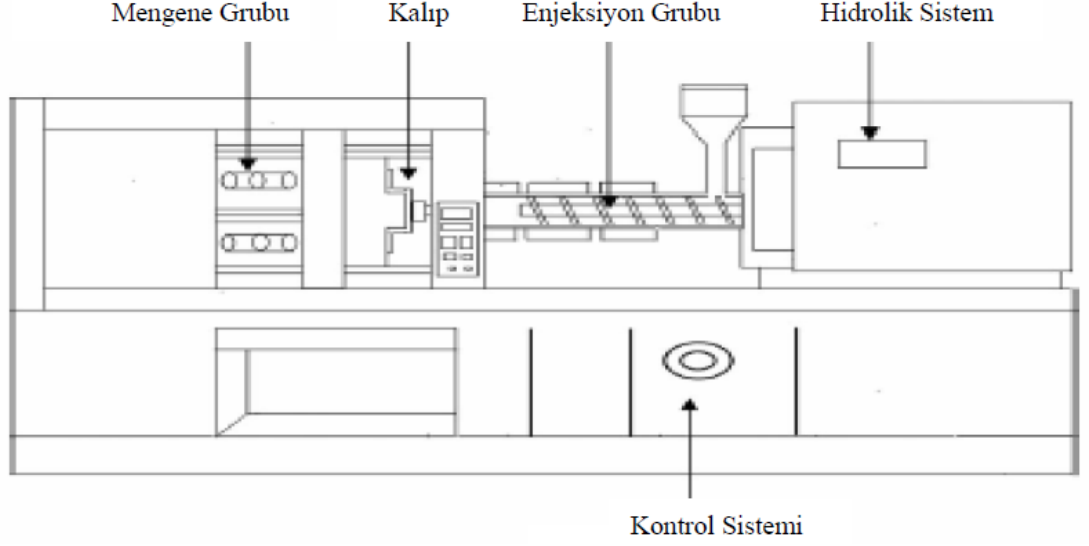
3.1. Plastik Enjeksiyon Prosesi

Enjeksiyon yöntemi ile üretim, sadece plastik değil aynı zamanda alüminyum, seramik, bakır, magnezyum ve çinko gibi metal malzemeler ile de mümkündür. (Rosato v.d., 2000: 1266). Bu yöntem, seri imalat için en uygun yöntemlerden biri olup, genellikle termoplastik malzemelere uygulanabilir. Üretim işletmelerinde PE, PP, PVC ve ABS gibi pek çok polimer bu yöntem ile üretilebilmektedir. (Akkurt, 2007: 289).

Bir enjeksiyon makinesi Şekil 3-3 ’de görüldüğü gibi beş ayrı bölümden meydana gelmektedir. (Saraç ve Sipahioğlu, 2008: 5). Bunlar, hidrolik sistem, enjeksiyon grubu, kalıp bölgesi, mengene grubu ve kontrol sistemidir.

Hidrolik sistem, enjeksiyon grubunda bulunan vidanın ileri geri hareketini sağlamaktadır. Enjeksiyon grubunda hammaddenin içerisinde ısınarak ilerlediği vida sistemi mevcuttur. Mengene grubu, kalıbın bağlandığı bölgedir. Kalıp bu üniteye

bağlanır. Kontrol sistemi ise bütün bu hareketi yöneten elektronik sistemlerden oluşan bölgedir.



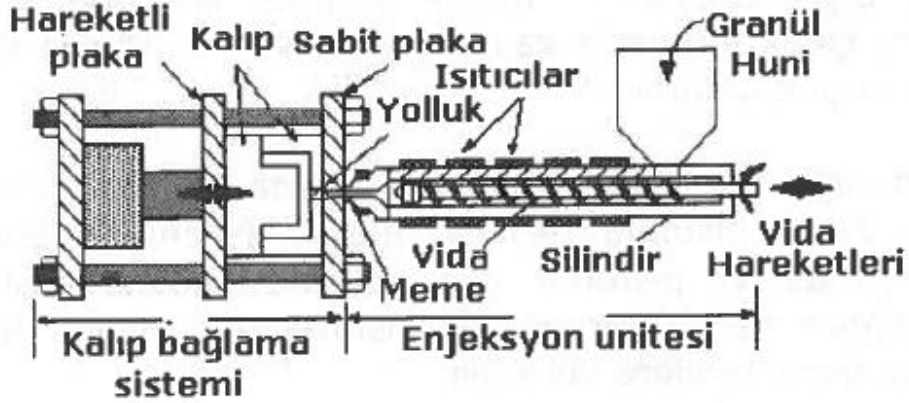
Şekil 3-3 Enjeksiyon Makinesinin Şematik Gösterimi. (Saraç ve Sipahioğlu, 2008: 5).

Plastik enjeksiyon üretimi dört ana aşamada yapılmaktadır.

- Plastik malzeme granül veya toz halinde olabilir. Bu malzemeler ısıtıcılar vasıtasıyla belirli bir sıcaklıkta eriyik hale gelinceye kadar ısıtılır.
- Eriyik haldeki bu plastik malzeme, basınç etkisi ile bir kanaldan kalıbın içerisine girmesi için zorlanmaktadır. Şekil 3-3 'de görülen bu kanala meme adı verilir.
- Bu basıncın uygulanma süreci, kalıp içerisindeki hammaddenin katı hale gelmesine kadar sürmektedir.
- Belirli bir süre sonunda kalıbın sabit ve hareketli tarafları birbirinden ayrılarak açılır. Sonrasında ise pim şeklinde olan iticiler ile ürün dışarı çıkarılır. (Akkurt, 2007: 289).

Enjeksiyon prosesi, Şekil 3-4 'de görüldüğü gibi iki ana üniteden oluşmaktadır. Enjeksiyon ünitesi, hammaddenin içerisine konulduğu huni bölgesi ve vida bölgesinden meydana gelir. Kalıp bağlama ünitesi ise sabit ve hareketli olmak üzere

iki plakadan oluşmaktadır. Kalıbın yarısı sabit plakaya, diğer yarısı ise hareketli plakaya takılmaktadır. (Akkurt, 2007: 290).



Şekil 3-4 Enjeksiyon Prosesini Gösteren Makine Şeması. (Akkurt, 2007: 290).

3.2. Enjeksiyon Proses Parametrelerinin Proses Üzerindeki Etkileri

Enjeksiyon üretimi birçok aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar, plastikleşme, enjeksiyon, art basınç uygulanan aşama, soğuma, çıkarma aşamalarıdır. Pötsch ve Michaeli (2007) çalışmalarında, bir enjeksiyon çevriminin aşağıdaki aşamalardan meydana geldiğini söylemektedirler.

- **Plastifikasyonun Başlaması** : Vida dönerek huniden granül haldeki hammaddeyi alır ve ısı vererek eriyik hale getirir. Dönme işlemi ile eriyik malzemeyi meme bölgesine iletir. Bu işlem meydana gelirken vida aksel olarak geriye doğru hareket etmektedir.
- **Plastikleşmenin Bitişi** : Vidanın dönüşü tamamlanır. Vidanın hatveleri içerisinde enjeksiyon işlemi için yeterli malzeme bulunmaktadır.
- **Kalıbın Kapanması** : Mengene grubu kalıbın sabit ve hareketli kısmı birbiri ile tam olarak üst üste gelecek şekilde hareket eder.

- **Enjeksiyonun Başlaması** : Vida aksenal olarak ileri hareket eder ve eriyik malzeme kalıbın gözlerine iletilir.
- **Enjeksiyonun Bitmesi** : Eriyik malzeme kalıp gözlerini doldurmuştur. Kalıba enjekte edilen plastik malzeme ısısı daha düşük olan kalıba değdiğinde soğuma başlamış olur. Bu esnada plastik malzemede çökme meydana gelir. Bunu engellemek amacıyla bir miktar daha eriyik malzeme kalıba gönderilir. (Zheng v.d., 2011: 2). Bu aşamaya ütüleme, tutma ya da diğer bir ifade ile art basınç safhası da denilmektedir.
- **Soğumanın Aşaması** : Kalıp volumetrik olarak sıcak malzeme ile dolmaktadır. Kalıp gözlerine dolan malzeme soğumaya başlar. Nihai şeklini alan ürünün kalıp içinden çıkarılabilmesi için art basınç aşamasından sonra bir süre daha soğumaya devam etmesi gerekmektedir. Soğuma aşaması başladığında ikinci çevrim için vida içine hammadde almaya da başlamaktadır.
- **Kalıptan Çıkarma** : Kalıplanmış olan malzeme, yeterli soğukluğa ulaştığında kalıp açılır ve nihai şeklini almış ürün, itici adı verilen sistem yoluyla kalıbın dışına çıkarılır. Bu aşamada ürün ya makineden hazneye düşer ya da enjeksiyon makinesine adapte edilen bir robot tarafından makineden alınarak istenilen bölgeye konulması sağlanır.

Enjeksiyon üretimi esnasında bazen istenilen kalite elde edilemez ve problemler meydana gelebilir. Bu problemler genellikle ürünün yüzeyinde oluşan problemlerdir. Kalıp, ürün ve proses arasında oldukça karmaşık bir ilişki bulunmakta olduğundan, problemin kaynağını tespit etmek güç olabilmektedir. Makine parametreleri ve proses parametreleri ürünün kalitesinde kritik faktörlerdir. (Arburg, 2004: 5: b).

Ürünün kalitesini ve tolerans değerlerini etkileyen bir takım unsurlar mevcuttur. Bunlar, ürünün tasarımı, kullanılan plastik malzemenin cinsi, kalıbın tasarımı, enjeksiyon makinesinin kapasitesi ve kalıbın çevrim zamanıdır. Bu parametreler

prosesin kontrolünde etkili parametreler olup, değişimleri üretilen ürünün kalite spesifikasyonlarını etkileyebilmektedir. (Rosato v.d., 2000: 18)

Enjeksiyon proses parametreleri ile ilgili olarak, Megap, Akkurt, Greener ve Friedl, çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Aşağıda tüm bu enjeksiyon proses parametreleri maddeler halinde açıklanmaktadır.

Enjeksiyon Zamanı : Vidanın hatvelerinden eriyik haldeki plastik malzemenin kalıba aktarılırken geçirdiği süreyi ifade etmektedir. Enjeksiyon işlemi, kalıbın içerisine eriyik'in dolmaya başladığı an ile art basınç 'ın oluşmaya başladığı an arasındaki süreci ifade etmektedir.

Enjeksiyon Basıncı : Enjeksiyon basıncı, enjeksiyona başlandığında vida içerisinde oluşan basıncı ifade etmektedir. Vidadın eriyik haldeki hammaddeyi kalıbın içerisine iterken uygulanan kuvvettir.

Enjeksiyon Hızı : Birimi milimetre/saniye olup, vidadın hareketi ile eriyik malzemenin meme bölgesinden çıkış hızının maksimum değerini ifade etmektedir.

Art (Ütöleme veya Tutma) Basıncı Süresi : Art basınç aşaması, enjeksiyon işlemi bittiği anda başlar ve eriyik hammaddenin soğumaya başlamasından önce sona erer. Bu aşamada uygulanan basınç sayesinde üründe plastik malzemenin çekme özelliğı nedeniyle çarpılmalar önlenir, hava boşluğu ve iz oluşumu engellenmiş olmaktadır.

Art (Ütöleme veya Tutma) Basıncı : Enjeksiyon basıncının ardından uygulanan basınçtır. Eriyik haldeki plastik malzemenin kalıbın içerisinde soğuma süreci bu art basınç altında tamamlanacaktır. Art basınç çevrimin son aşamasında bir miktar düşürölür. Bunun nedeni kalıp boşluğundaki malzemenin katılaşmaya başlaması ile fazla basınca gerek duyulmamasıdır. Diğer bir nedeni ise ütöleme işlemi sonunda vidadın ikinci çevrim için mal alma işleminin başlamasıdır. Bu nedenle makinenin zorlanması azaltılmaktadır.

Vidanın Mal Alma Hızı : Enjeksiyon esnasında vidanın içerisine hammaddeyi aldığı esnada sahip olduğu hız değerini ifade etmektedir. Vida, granül formundaki plastik malzemeyi belirli ısı değeri altında ergiterek meme kısmına doğru itmektedir.

Geri Basınç : Enjeksiyon işlemi bittiğinde geri basınç uygulanmaktadır. Art basınç tamamlandıktan sonra vidanın dönüş hareketi başlar ve malzeme vidanın meme bölgesine itilir. Malzeme meme bölgesinde biriktikçe, vidayı geriye doğru iter ve vida geri hareketini yapar.

Mal Alma Mesafesi (Stroğu) : Vidanın her çevrimde içerisine alması gereken hammadde miktarına karşılık gelen milimetre cinsinden ifade edilen mesafedir. Bu mesafenin hesabı yapılırken ürünün kalıba bir çevrim için alınması gereken hammadde miktarına ilave olarak, yolluk adı verilen hammaddenin kalıbın içerisine aktarılmasını sağlayan kanallarda kalacak hammadde miktarı da hesaplanmalıdır.

Soğuma Süresi : Enjeksiyon prosesinin iki amacı vardır. İlki üretilen ürüne istenilen şekli vermek, ikincisi ise malzemeden ısıyı olabildiğince hızlı bir şekilde uzaklaştırmaktır. Isı malzemeden ne kadar hızlı uzaklaşır ise ürün, nihai şeklini o kadar çabuk alacak ve ürünün çevrim süresi kısalmış olacaktır. Böylece üretim hızı artacaktır. Bu parametre eriyik malzemenin kalıbın içine dolduğu anda başlar. Ürünün nihai şeklini alarak, kalıbın içerisinden çıkarılabilecek sertliğe ulaşması, soğuma süresinin doğru ayarlandığını göstermektedir. Kalıpların içerisinde soğuma kanalları bulunmakta olup, bu kanallardan dolaşan soğuk su sayesinde kalıp içerisindeki eriyik malzeme şekillenerek katılaşır. Kalıp tasarımı yapılırken soğuma süresinin kısalmaması için soğutma kanallarının olabildiği kadar kalıbın gözlerine yakın geçmesi istenmektedir.

Kapama Tonajı : Kapama tonajı üretim yapılacak makinenin uygulayabildiği maksimum gücü ifade eder. Üretilen ürüne uygun kapama gücünde makine seçilmezse üründe çapak ve kalıp gözlerinin tam olarak doldurulamaması problemleri görülebilmektedir.

Kalıp Sıcaklığı : Vidanın etrafında ısıtıcı üniteler mevcuttur. Bu ısıtıcılar hammaddenin granül halde vidaya girdiği noktadan, eriyik hale gelip kanala gireceği meme bölgesine kadar devam eder. Bu noktalarda bulunan rezistanslar sayesinde belirli sıcaklıklara ayarlanarak sıcaklık proses parametresi belirlenmiş olur.

Kalıp ısılarının olması gereken değerlerden ne düşük ne de yüksek olması istenir. Kalıp ısılarının olması gerektiğinden düşük ayarlanması durumunda eriyik akışkanlığı düşük olmakta, parça düşürme zorluğu meydana gelmekte ve mekanik özellikler olumsuz olmaktadır. Yüksek ayarlanması durumunda ise daha yüksek parlaklık sağlanmakta, daha iyi art basınç aktarımı yapılabilmekte ve eşit dağılım sağlanmaktadır. (Engel, 2005: 4).

Proses parametrelerinin belirlenmesi malzemenin cinsi, ürünün ölçü ve şekli, makine ve kalıbın özelliklerine göre yapılabilmektedir. Bu ayarlar işletmelerde genellikle bilimsel temellere dayalı olarak tespit edilebilen değerler değildir. Çoğunlukla bilgi ve tecrübeye dayalı olarak yapılmaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalarda bazı makine üretici firmaların bu değerler için tam değer yerine aralık değerler verdikleri de görülmektedir.

3.3. Önemli Enjeksiyon Proses Parametreleri

Sanayide bir çok alanda plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilmiş ürünler kullanılmaktadır. Üretim kolaylığı ve ileri teknoloji ile donatılmış otomatik makinelerin geliştirilmiş olması üreticiye kolaylıklar sağlamaktadır. Özellikle otomotiv, havacılık ve elektronik cihaz üretiminde plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilen ürünlerin kullanıldığı görülmektedir. (Farshi, v.d., 2011: 414)

Enjeksiyon yöntemi ile üretim alanı, geniş bir ürün çeşitliliğine sahiptir. Bu yöntem, plastik ürünler üreten bir üreticiye çeşitli şekil, ölçü ve büyüklüklerde ürün üretebilme açısından çok yönlü bir üretim yöntemidir. (Kamal v.d.: 6) . Bu yöntemin oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olmasının nedeni karmaşık yapıya sahip plastik parçaları üretmenin ekonomik yollarından biri olmasıdır. (Sin, v.d., 2012: 8).

Bu üretim yönteminde çeşitli aşamalar bulunmaktadır. Enjeksiyon kalıplama proses çevrimi kendi içinde üç aşamada incelenebilir. Bunlar, besleme, tutma ve soğuma aşamalarıdır. (Tsai, v.d., 2007: 3469).

Plastik enjeksiyon üretim yöntemi, ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın, yüksek üretim adetlerinde en ekonomik yöntem olarak bilinmektedir. (Savaşçı, v.d., 2008: 203). Makine ve kalıp fiyatlarının yüksek olmasına karşılık, özellikle kısa çevrim sürelerine sahip çok gözlü kalıplar ile üretimde, çok yüksek üretim miktarları elde etmek mümkün olabilmektedir.

Tablo 3-1 'de plastik işlemede seçilen yönteme göre en ekonomik olan minimum üretim adetleri verilmektedir. (Savaşçı, v.d., 1998: 248).

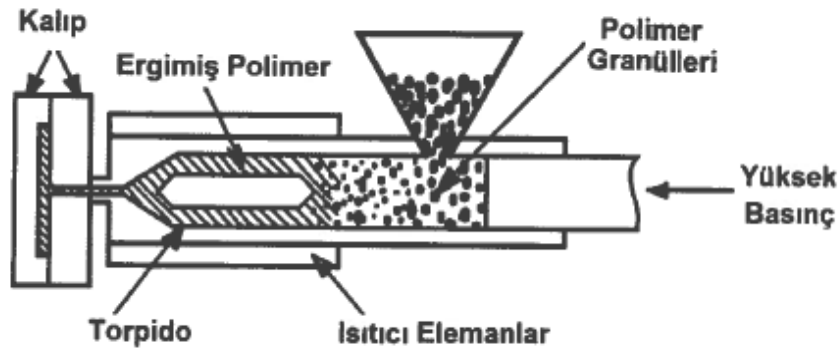
Tablo 3-1 Üretim Adetlerine Göre En Ekonomik Plastik Üretim Yöntemi. (Savaşçı, v.d., 1998: 248).

İşleme Yöntemi	Üretim Alt Sınırı (Adet)
Isıl Şekillendirme	100-1.000
Döndürme Kalıplama	100-1.000
Şişirme Kalıplama	1.000-10.000
Enjeksiyonla Kalıplama	10.000-100.000

Plastik enjeksiyon ürünlerinin kalitesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar çeşitli kaynaklara göre kullanılan malzeme, ürünün yapısı, kalıbın tasarımı veya üretim için gerekli proses parametreleri olabilmektedir. (Oktem, Erzurumlu ve Uzman, 2005: 1271) . Enjeksiyon üretiminde kullanılan pek çok farklı plastik malzeme bulunmaktadır. Bunlar PVC (polivinil klorür), PP (Polipropilen) veya PE (Polietilen) olabilir. Kullanılan bu malzemeler ürünün özelliklerini etkileyebildiği gibi, üretim esnasında oluşan proses şartlarının da ürün üzerinde etkili olduğunu söylemek mümkündür. (Arburg, 2004: 140)

Üretim esnasında önceden tahmin edilemeyen bazı problemler ortaya çıkabilmektedir. Enjeksiyon prosesinde meydana gelebilecek problemler genellikle ürünün yüzeyinde gözle görünür şekilde olmaktadır. Bunlar, yüzey lekeleri, dalgalanma veya yanma izleri olabildiği gibi, bazen de proses kaynaklı boş baskı denilen ve kalıbın içerisinde ürünün çıkmaması veya eksik baskı denilen ürünün tam şeklini alamadan çıkması şeklinde kendini gösterebilmektedir. (Lau ve Tse, 1997: 55) . Ozcelik ve Sonat (2009: 367) da çalışmasında benzer görüşleri savunmuşlardır. Üründe meydana gelebilecek problemlerinin kaynağının genellikle hammadde ve enjeksiyon parametreleri kaynaklı olduğunu, bunların düzgün seçimi ile giderilmesinin mümkün olabileceğini belirtmişlerdir.

Enjeksiyon yöntemi, termoplastiklerin işlenerek üretilmek istenen ürüne kalıplama teknolojisi ile ulaşılmasını sağlamaktadır. Enjeksiyon sistemi, hammaddenin içerisine konulduğu huni bölgesi, eriyik haldeki plastik hammaddenin içerisinde ilerlediği vida sistemi ve ürüne şeklini verecek olan kalıp sistemi olmak üzere üç ayrı bölümden oluşmaktadır. (Savaşçı, v.d., 2008: 199).



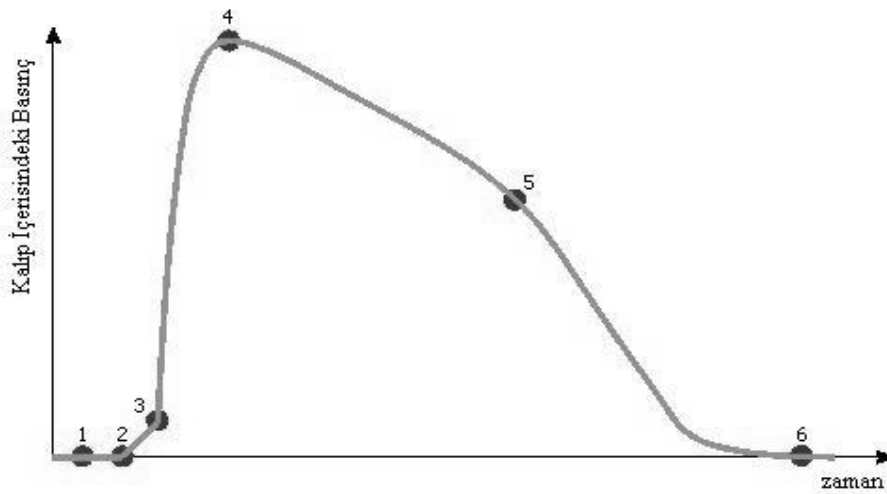
Şekil 3-5 Pistonlu (Torpidolu) Bir Enjeksiyon Kalıplama Sistemi. (Savaşçı, v.d., 2008: 199).

Şekil 3-5 'de görüldüğü gibi makinenin huni bölgesine konulan plastik hammadde granülleri, yüksek basıncın da etkisi ile vida bölgesine doğru ilerler. Isıtıcı elemanlar sayesinde eriyik haldeki plastik granüller vida bölgesinden itilerek geçmesi ile kalıp

bölgesine ulaşır ve sıvı halde enjekte edilir. Yüksek basıncın etkisi ile kalıp içerisinde kalan plastik malzeme soğutulmaya başlanır ve kalıbın açılması ile nihai şeklini almış ürün olarak çıkar. Bu arada vida geri çekilerek sonraki çevrim için hazır hale getirilir. (Savaşçı, v.d., 2008: 199).

Enjeksiyon prosesinde basınç, en önemli parametrelerden biridir. Üç farklı basınçtan bahsetmek gerekmektedir. Bunlar, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı (art basınç veya tutma basıncı) ve geri basınçtır. Enjeksiyon makinelerinde enjeksiyon basıncı, makine enjeksiyona başladığı anda, vida da oluşan basınçtır. Diğer bir deyişle vidanın erimiş haldeki plastik malzemeyi kalıba aktarırken uygulamış olduğu kuvvettir. Enjeksiyon prosesi, eriyik haldeki plastik hammaddenin makinenin vida bölgesine iletilmesi ile başlar. Vidanın hatvelerinden ilerleyen hammadde, kalıp boşluğunu doldurur. Bu aşamada kalıp içindeki basınca ütüleme basıncı veya art basınç adı verilir. Basınç maksimum düzeyde iken kalıp içi soğutma devam eder ve yavaş yavaş basınç düşmeye başlar. Sonraki aşamada ise kalıp açılır ve basınç çok daha hızlı bir şekilde düşmeye başlar. Ürünün çıkarılması ile enjeksiyon prosesi tamamlanmış olmaktadır. (Akkurt, 2007: 302).

İşlem adımları Şekil 3-6 'da şematik olarak anlatılmıştır.



Şekil 3-6 Enjeksiyon Prosesinde Basınç-Zaman Grafiği (Kurt v.d., 2006: 8)

Şekil 3-6 'daki grafikte, zaman ile kalıp içerisinde uygulanan basınç değişimi gösterilmektedir. Her bir noktanın ne ifade ettiği şöyle açıklanabilir.

1. Nokta : Enjeksiyon basıncını ifade etmektedir. Bu esnada proseste hidrolik basıncın artışı meydana gelmekte ve vidanın ileri hareketi yapılmaktadır.

1-2. Noktalar Arasında : Eriyik haldeki malzemenin göz boşluğuna enjekte edilmesi anlatılmaktadır. Proseste kalıbın göz basıncı 1 bar olarak gözlemlenmektedir.

2. Nokta : Kalıp içerisindeki basıncın artmaya başladığı noktadır.

2-3. Noktalar Arasında : Kalıp gözü eriyik malzeme ile dolmaya başlar. Akış direncine bağlı olarak doldurma basıncı gerçekleşir.

3. Nokta : Kalıp gözleri hacimsel olarak malzeme ile dolar. Proseste hacim-basınç sıkıştırması devam etmektedir.

3-4. Noktalar Arası : Eriyik sıkıştırılmaktadır. Plastik malzemenin hacimsel olarak çekmesi dengelenmektedir.

4. Nokta : Maksimum göz basıncına ulaşıldığı noktayı göstermektedir. Bu aşamada enjeksiyon basıncının sabitlenmesi söz konusu olup, malzemenin karakteristik özellikleri belirlenir.

5. Nokta : Akışın bitiş noktasıdır. Bu noktaya yolluk ağzı da denilmektedir. Göz içerisine bir akış olmayıp, yolluk ağzında eriyik katılaşmaktadır.

4-6. Noktalar Arası : Basınç gözle görülür şekilde azalmaktadır. Plastik malzeme katılaşmaktadır. Malzemenin, göz dışındaki kısımlarının dolması sağlanarak, geriye doğru akış yapılmaktadır.

6. Nokta : Çekme prosesinin başladığı noktadır. (Kurt v.d., 2006: 9)

Enjeksiyon makinesi üzerinde görülebilen işlem parametreleri, makinenin veya kalıbın ayarlarını yapmak için kullanılır. Kalıbın makineye bağlanmasının ardından makineyi üretime alabilmek için öncelikle bu ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Bu parametrelerin makine ile ilgili olanları ısı değerleri, hız değerleri ve basınç değerleridir. Kalıp ile ilgili işlem parametreleri ise itici sistemi, yolluk sistemi, ürün düşürme sistemi olabilmektedir. (Engel, 2005: 2)

Üretim esnasında prosesin hangi değerlere ayarlanmış olduğu çok önemlidir. Proses parametrelerinin doğru değerlere set edilmemesi halinde ürün üzerinde gözle de görülebilecek şekil bozuklukları ortaya çıkmaktadır. Bunlar, ürün üzerinde çökme olması, çeşitli izler görülmesi olabildiği gibi, nem izleri, ısının düzgün dağılmamasından kaynaklanan yanma izleri ve çapak oluşumu gibi pek çok farklı şekilde de ortaya çıkabilmektedir. (Turaçlı, 2003: 18). Bütün bu hataların giderilebilmesi için ise proses parametrelerinin uygun değerlere ayarlanması gerekmektedir.

Ütüleme basıncı veya tutma basıncı, uygulanan basınçlar ile soğumaya başlayan malzemede plastiğin çekme özelliğinden kaynaklanan çökme, iz ve büzülme olmasını engellemek amacıyla, hammaddenin kalıp içerisinde ilerlediği kanalların donuncaya kadar malzeme ile doldurulmasına devam edildiği süreçtir.

Geri basınç, ütüleme basıncı safhasından sonra ortaya çıkmaktadır. Enjeksiyon vidasının dönmeye başlaması ile vida sisteminin uç kısmına yeni plastik malzeme dolmaya başlamaktadır. Böylece bir sonraki çevrim başlayacaktır.

Yapılan araştırmalar, göstermektedir ki enjeksiyon prosesini etkileyen en önemli faktörlerden biride soğuma sistemidir. Soğutma parametresinin doğru ayarlanması ürünün çevrim süresini düşürecek ve üründe ölçüsel problemlerin meydana gelmesini önleyecektir. (Demirer v.d., 2009: 1). Bu parametrenin yüksek belirlenmesi ise

çevrim süresini uzatacağından, ürün maliyetini arttırmaktadır. (Krauss Maffei, 2001: 46).

Çevrim süresi aşağıdaki formülde görüldüğü gibi ürünün maliyetini direkt olarak etkilemektedir. (Rosato v.d., 2000; 1172). Bu nedenle optimum değeri tespit etmek gerekmektedir.

$$\text{Ürün Maliyeti} = \text{Malzeme Maliyeti} + \text{Makine Kirası} \times \text{Çevrim Süresi} \quad (3.1)$$

Eriyik sıcaklığı, plastik malzemenin enjeksiyon prosesindeki akışı yolu boyunca edildiği sıcaklık olarak tarif edilir. Her farklı plastik malzeme için farklı erime ısıları söz konusudur. Daha önce de bahsedildiği üzere enjeksiyon prosesinde sıcaklık denildiğinde makinenin, kalıbın ve hammaddenin olmak üzere üç farklı sıcaklık parametresinden bahsetmek mümkündür. Rauwendaal (2008), eriyik sıcaklığının enjeksiyon prosesindeki en önemli sıcaklık parametresi olduğundan söz etmektedir. Eriyik haldeki plastik malzeme, besleme hunisinden hareketine başlayarak, vida kovan sistemi boyunca hem ısınır hem de erimeye başlar. Vida sistemi sayesinde harekete zorlanan malzeme, makineyi terk ederek kalıba gireceği bölgeye ulaşmaktadır.

Erimiş plastik malzeme, enjeksiyon makinesinin ısıtıcı bölgesinden geçerek kalıba girer. Kalıp içerisinde ürün boşluklarını çevreleyen soğutma kanalları mevcuttur. Bu kanallardan çoğunlukla su bazen de gaz dolaşarak ürünün eşit oranda soğuması sağlanmaktadır. Kalıp, malzemeden aldığı ısıyı transfer etmeye başlar ve bu nedenle eriyik haldeki malzeme soğumaya başlar. Bu noktada kalıp sıcaklık değerlerinin doğru ayarlanması çok önemlidir.

Enjeksiyon zamanı, makine üzerinden ayarlanabilen bir parametre olup, vidanın eriyik haldeki plastik hammaddayı kalıba aktarırken geçen süreyi ifade eder. Mal alma hızı olarak tanımlanabilen bir diğer parametre ise aslında vidanın geri dönüş

hızını ifade eder. Bu parametre, vidanın akış yolu boyunca sahip olduğu hız olup, milimetre/saniye olarak ifade edilir.

Diğer bir önemli parametre ise seçilen makinenin hangi kapama gücünde olduğudur. Makine-kalıp eşleşmelerinde ürünün üretilmesi için gerekli basınç ve bunu uygulayacak tipteki makinenin doğru seçilmiş olması kritiktir. Uygun kapama gücündeki makinenin seçimine, kalıbın göz sayısı ve ürünün birim ağırlığı bilgileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda karar verilmelidir. Düşük kapama gücünde makine ile çalışılması, ürün yüzeyinde kalite sorunlarına neden olabilmektedir.

Plastik enjeksiyon makinesinin üretime alınmasından önce yapılması gereken hazırlık ve ayarlar kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir. (Megep, 2006: 21: a)

1. Makine, kalıp ve hammaddenin hazırlanması
2. Redüktör ayarlarının yapılması
3. Mengene açma ve kapama mesafesinin, hızının ve basıncının ayarlanması
4. İtici ileri ve geri vuruş mesafesinin, hızının ve basıncının ayarlanması
5. İtici vuruş sayısının ayarlanması
6. Soğuma zamanının ayarlanması
7. Mal alma mesafesinin ayarlanması
8. Enjeksiyon basıncı, hızı ve zamanının ayarlanması
9. Ütüleme (tutma) basınç, hızı ve zamanının ayarlanması
10. Sıcaklık ayarlarının yapılması
11. Deneme üretimi ile ilgili ayarların kontrol edilmesi

Tüm bu ayarlar yapıldıktan sonra makine otomatik moda alınarak ürünün seri üretimi için uygun basınç, hız ve zaman değerlerinde çalışması sağlanır. Bu parametrelerin yanlış ayarlanması neticesinde, ürün kalıpta yeterince sertleşemez, homojen dağılım gösteremez, ürün üzerinde hava kabarcıkları görülebilir. Ürün kırılabilir olabilmekte ve renk değişimi oluşabilmektedir. Kalıp içerisinde yapışma olma ve çapak oluşumu gözlemlenebilmektedir. (Megep, 2006: 16: b)

BÖLÜM 4 UYGULAMA

Enjeksiyon prosesinde amaç, en uygun kalitede ürünü ilk seferde ve fire vermeden üretmektir. Bunu sağlayabilmek için proses parametrelerinin en uygun değerlere ayarlanması gerekmektedir. Üründe bir hata meydana geldiğinde öncelikle problemin tespit edilmesi gerekmektedir. Problemin kalıp, makine, çalışma şartları veya malzeme kaynaklı olduğu tespit edildikten sonra gerekli ise proses parametreleri değiştirilir. (Megep, 2006: 26: d). Her değişiklikten sonra bir süre beklenerek sağlam ürün elde edilene kadar gözlem yapılmalıdır. (Megep, 2006: 27: d). Bu süreçte sağlam ürün üretilmeyecek ve fire oluşacaktır. Bu da işletmeye hem zaman kaybına hem de maliyet artışına neden olacaktır.

Çalışmamızda proses parametrelerinin belirlenmesinde deney tasarımı yaklaşımı ile en uygun çözümün bulunması hedeflenmektedir.

4.1. Uygulamanın Amacı ve Kapsamı

Uygulamanın yapılmış olduğu işletme, plastik boru ve ek parça üretiminde sektördeki en büyük işletmedir. Firma, içme suyu boruları, atık su boruları, kanalizasyon sistemi boruları ile bunların tüm ek parçaları, altyapı boruları, drenaj sistemleri, çatı oluğu sistemleri, tarımsal damla sulama boruları, pencere profili ve profil aksesuar üretimi, tıbbi medikal malzeme üretimi ve yağmurlama boruları üretimi gibi çok geniş bir ürün yelpazesine sahiptir.

Üretimde plastik enjeksiyon, plastik ekstrüzyon, sac şekillendirme ve metal enjeksiyon gibi üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Enjeksiyon belirli bir kalıp ile ürüne istenilen şeklin verildiği bir üretim yöntemidir. Extrüzyon yöntemi enjeksiyondan farklı olarak çekme esasına göre yapılmaktadır. Plastik boru üretimi, plastik çubuk, pencere profili, film ve kablo ürünleri gibi sürekli bir üretim yöntemi olup enjeksiyon yönteminde olduğu gibi kalıplama sistemi ile çalışmaktadır. Plastik malzeme eriyik hale getirildikten sonra basınç altında bir kalıptan geçirilerek istenilen form verilir. Sonrasında vakum havuzu ve soğutma havuzlarından geçirilen

plastik malzeme nihai şeklini aldıktan sonra istenilen boylarda kesilir veya bir bobine sarılarak bu şekilde stoklanıp sevk edilebilir.

Firma, ağırlıklı olarak yurtdışından temin ettiği hammaddeleri depo alanında hammadde cinsi ve hammadde üretici firmalara göre ayrımlı olarak stoklamaktadır. Hammadde tedarik edilen firmalar, hammadde paketlerinin üzerine lot numarası adı verilen ve birbirini takip eden bir numara vermektedirler. Lot numarası, üretici firmanın aynı girdiler ile bir seferde ürettiği hammadde partisine verdiği bir numaradır. Böylece üretiminde çeşitli nedenlerden kaynaklanan değişkenliğe karşı firmaları bu numara sistemi ile uyarmaktadır. Bu firma da üretime hammadde verilirken, lot numaralarına göre sıralı olarak vermektedir.

Hem hammadde hem de ürün aşamasında barkod uygulaması kullanmakta olup, böyle bir sınıflandırma ile art arda lot numarasına sahip hammaddeler üretime verilmekte, böylece üretimdeki değişkenlikler en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Hem enjeksiyon hem de ekstrüzyon üretim yöntemlerinde hammadde, en önemli değişkenlerden biridir. Çalışmamızda deney boyunca kullanılan hammadde, sabit tutularak bu değişkenin etkisi ortadan kaldırılmıştır.

Deneyde kullanılan hammaddelerin ülke, firma ve marka bilgileri aşağıdaki gibidir.

PVC	:İngiltere, Norvinyl S5737 Süspansiyon Homopolimer
Kalsit	:Türkiye, Örgün Kalsit, 3K
Stabilizatör	:Türkiye, Akdeniz Kimya 3109-1 FX
Proses Yardımcısı	:Belçika, Akrilik Kopolimer
Titandioksit	:Almanya, RFK 3
Fef	:Ukrayna, Karbon Black N-550

Kullanılan PVC (Polivinil Klorür) hammaddesinin teknik özellikleri şöyledir :

- Yoğunluğu 1,4 gr/cm³ 'dür.
- Kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı direnci fazladır.

- Kolayca renklendirilebilir.
- Çekme dayanımı 140-240 kg/cm² 'dir.
- Açık havadan etkilenmez ve su emme özelliği yok denecek kadar azdır.
- Elektrik yalıtımı iyidir. (Megep, 2006: 47: c).

Deneyler işletmenin 27 nolu 7050/900 tipindeki, 900 ton kapama gücüne sahip Engel marka enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı ürün PVC tesisat ürünlerinden olan Ø 100/100 Tek Çatal'dır. Ürünün 4 gözlü kalıbı, 27 nolu makineye takılarak deneylerin tamamlandığı tarihe kadar sökölmeden çalışmıştır. 0,250 Kg/Ad ağırlığa sahip bu ürün, bina içi tesisatında Ø 100 mm Atık su borusunun, aynı çapta başka bir boru ile bağlantısının yapılmasında kullanılmaktadır.

Deney sırasında çalışacak operatör belirlenirken, çeşitli kaynaklarda seçilecek işçinin sahip olduğu bilgi ve tecrübe açısından ortalama veya ortalamadan biraz daha fazla olması istenmektedir. (MPM, 1991: 235). Yapılan deneylerde operatörden beklenen, belirlenen proses parametrelerini makineye doğru bir şekilde girmek ve sonuçları verilen tabloya yazmaktır. Heizer ve Render (1995) çalışmasında, makineye birtakım değerler giren ve makineyi çalıştıran bir operatörün, makinenin kontrolü için gerekli zihinsel kapasite ve algıya sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde diğer çalışmalarda da çalışanın yetenek ve istenilen performansa ulaşma isteğinin önemini vurgulamaktadırlar. (Currie ve Faraday, 1977; 278).

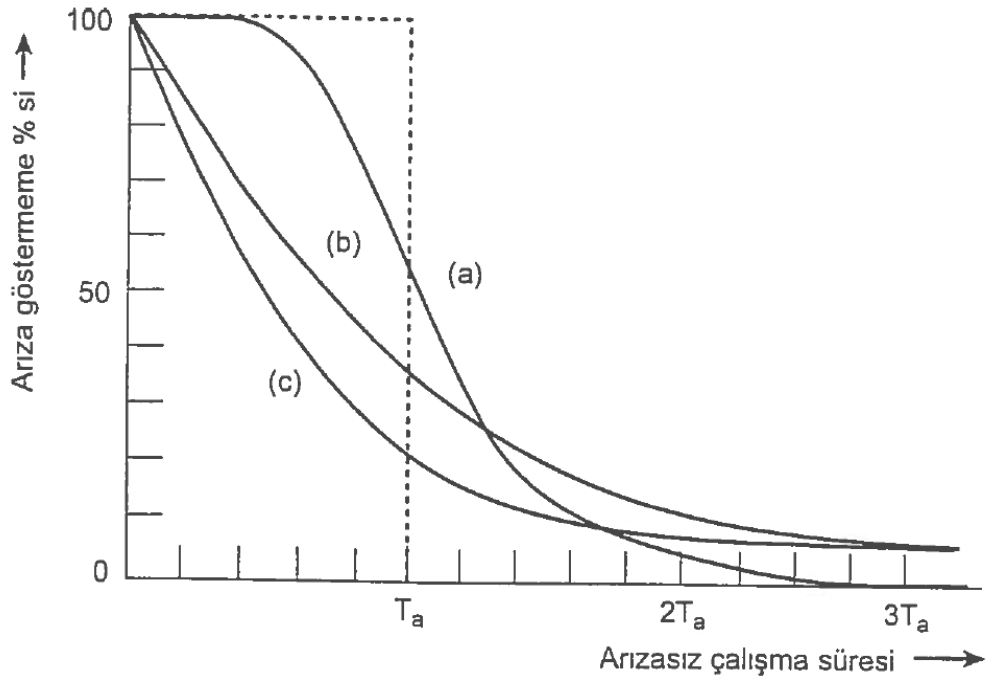
Deneyler aynı operatör ile birbirini takip eden vardiyalarda gerçekleştirilmiştir. Deney yapıldığı sırada makine başında çalışan operatörün ortalamayı temsil etmesi amacıyla çalışanların kıdem dağılımına bakılmıştır. Buna göre enjeksiyon bölümünde çalışan 205 kişinin çalıştığı yıllara göre dağılımı şöyledir:

0-1 yıl arası çalışanlar	98 kişi
1-3 yıl arası çalışanlar	62 kişi
3-5 yıl arası çalışanlar	35 kişi
5 yıl üzeri çalışanlar	10 kişi

Deneyde çalışan operatör, 3-5 yıl arası tecrübeli çalışan grubundan seçilmiştir. Böylece tecrübe faktöründen kaynaklanan hatalar önlenmeye çalışılmıştır.

Deneyde kontrol edilemeyen değişkenlerin ortaya çıkarılarak nedeninin tespit edilmesi ve ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu deneyde kritik olan makine faktörü için, arıza olasılığı istatistiksel proses kontrolü aracılığı ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Böylelikle üretim sürecindeki varyasyonun azaltılması hedeflenmiştir. (Şirvancı, 1997: 82).

Deneylerin yapılacağı makinenin, bakım çizelgeleri ile arıza olasılıkları incelenmiştir. Çalışmanın yapılacağı makinenin arıza karakteristiğini belirleyen arıza dağılım eğrisi hazırlanırken, belirli bir süre içerisinde arızasız çalışma yüzdeleri esas alınmaktadır. Grafiksel gösterimi aşağıdaki şekildedir. (Kobu, 2006: 285).

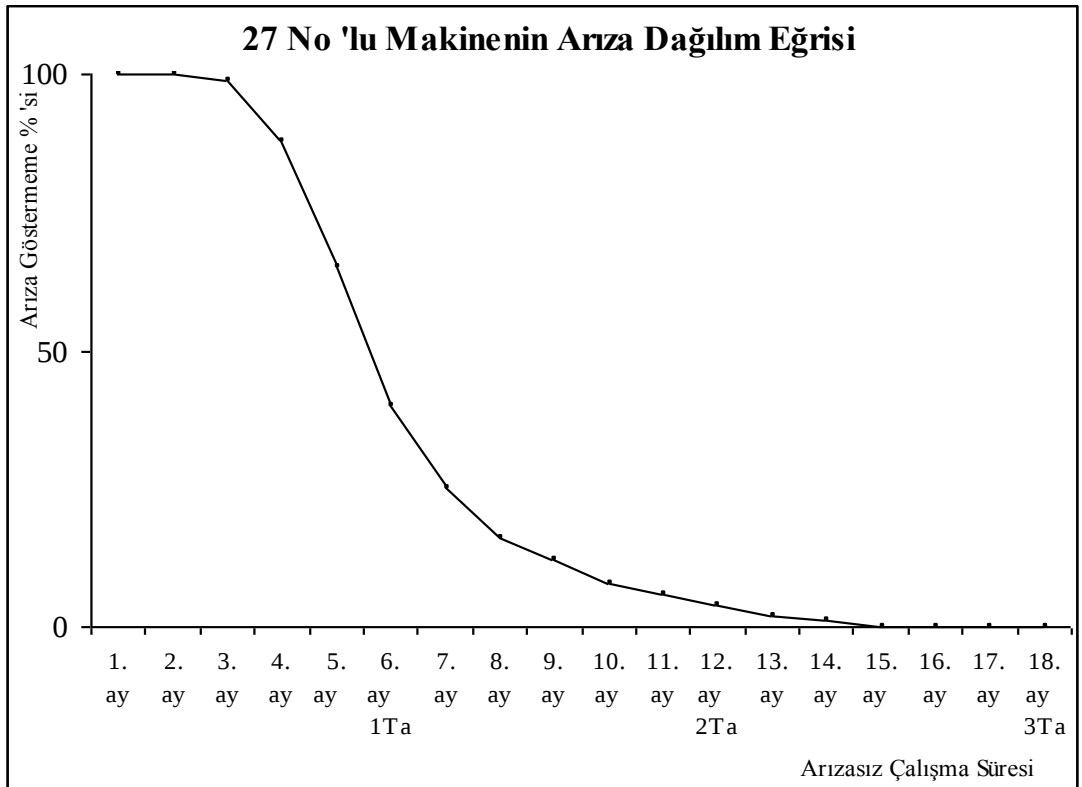


Şekil 4-1 Makinaların Arıza Dağılım Eğrileri (Kobu, 2006: 285).

Grafikte dikey eksen belirli bir sürede arıza olmadan çalışma olasılığını göstermektedir. Yatay eksen ise arıza olmadan çalışma süresini göstermektedir. Yine

yatay ekseninde belirtilen T_a , belirli bir makineye ait ortalama arızasız çalışma süresini göstermektedir. Arıza olasılığı, makinenin çalışma saatine, değişen parçanın kalitesi ve yaşı gibi birçok faktöre bağlı olabilmektedir. Şekilde gösterilen (b) ve (c) eğrilerinde, arıza olasılığı (a) eğrisine göre daha fazladır. Bu durumda (a) eğrisini temsil eden makinenin arıza olasılığı diğerlerine göre daha azdır. Bu nedenle (a) eğrisine diğerlerine göre daha az değişken denilebilmektedir. (Kobu, 2006: 285).

Çalışmada kullanılan 27 nolu makinenin son 18 aylık arıza analizleri incelenmiştir. Buna göre yapılan çalışmada Şekil 4-2 'de görüldüğü gibi bir arıza dağılım eğrisi bulunmuştur. Buradan hareketle makinenin arıza dağılımındaki belirsizliğin az olduğunu söylemek mümkündür. Değişkenliğin az olması nedeniyle bu 27 nolu makine deneyde kullanılmıştır.



Şekil 4-2 Deneyde Kullanılan 27 nolu Makinenin Arıza Dağılım Eğrisi

Enjeksiyon prosesinde Tablo 4-1'de verilen 42 parametre içinden seçilen 27 parametre ile deneyler yapılmıştır.

Tablo 4-1 Enjeksiyon Makine Parametrelerinin Tümü

No	Parametrenin Tanımı	Birimi
1	Soğuma Süresi	Saniye
2	Enjeksiyon Süresi	Saniye
3	Art Basınç Süresi	Saniye
4	Parça Düşürme Süresi	Saniye
5	İtici Vurma Süresi	Saniye
6	Kalıp Kapama Süresi	Saniye
7	Kalıp Açma Süresi	Saniye
8	Grup Dayama Basıncı	Bar
9	Maça Açma Hızı	%
10	Maça Kapama Hızı	%
11	Enjeksiyon Basıncı	Bar
12	Geri Basınç	Bar
13	Art Basınç	Bar
14	Kapama Tonajı	KgNw
15	Mal Alma Stroğu	Milimetre
16	Kalıp Açma Stroğu	Milimetre
17	Kalıp Koruma Stroğu	Milimetre
18	Enjeksiyon Hızları	Milimetre/Saniye
19	Mal Alma Hızı	Milimetre/Saniye
20	1. Bölge Sıcaklığı	°C
21	2. Bölge Sıcaklığı	°C
22	3. Bölge Sıcaklığı	°C
23	4. Bölge Sıcaklığı	°C
24	5. Bölge Sıcaklığı	°C
25	6. Bölge Sıcaklığı	°C
26	7. Bölge Sıcaklığı	°C
27	8. Bölge Sıcaklığı	°C
28	İtici İleri Hız	%
29	İtici Geri Hız	%
30	İtici İleri Basıncı	Bar
31	İtici Geri Basıncı	Bar
32	1. Kapama Hız Başlangıcı	Milimetre
33	2. Kapama Hız Başlangıcı	Milimetre
34	1. Açma Hız Başlangıcı	Milimetre
35	2. Açma Hız Başlangıcı	Milimetre
36	3. Açma Hız Başlangıcı	Milimetre
37	1. Maça Kapama Hızı	%

Tablo 4-1 Enjeksiyon Makine Parametrelerinin Tümü (Devam)

38	2. Maça Kapama Hızı	%
39	3. Maça Kapama Hızı	%
40	1. Maça Açma Hızı	%
41	2. Maça Açma Hızı	%
42	3. Maça Açma Hızı	%

Tablo 4-1 'de bulunan 28 ile 42 arasındaki parametreler deneyde kullanılmamıştır. Bunlardan 28 ile 31 arasındaki itici hız ve basınç parametreleri, ürünün nihai şeklini aldıktan sonra kalıbın içerisinden çıkarıldığı aşamada itici adı verilen metal çubuklar ile ileriye doğru itilmesi sırasında oluşan hız ve basınç değerleridir. Bu çubuklar, ürün nihai şeklini aldıktan sonra ürüne temas etmesi nedeniyle kaliteyi etkileyen sürecin parçası değildir.

32 ile 36 arasındaki parametreler, kalıbın açma ve kapama hız değerlerinin başlangıç ölçülerini ifade etmektedir. Kalıp açma hızı ürünün üretimi tamamlandıktan sonra kalıbın açılma hızını, kalıp kapama hızı ise hammaddenin vidanın içerisine dolduktan sonraki kalıbın içinde bulunduğu sürede kalıbın kapanma hızını ifade etmektedir. Kalıp açma ve kapama hızları, proseste ürünün kalitesini değil sadece üretim süresini etkileyen parametreler olup, değişimleri ürün üzerinde etkili değildir. Ancak toplam çevrim süresinin uzamasında veya kısalmasında etkilidirler.

Son olarak 37 ve 42 arasındaki maça açma ve kapama hızları ise kalıbın içerisinde ürüne şeklini veren maça adı verilen kalıp parçasının kademeli kapatılması mümkündür. Bu 6 parametre de söz konusu kademeyi ayarlamaya yararmaktadır.

Görüldüğü gibi bu 15 parametre ürüne direkt etkisi olmayan, makine ve kalıp açma kapama değerlerinin kademeli ayarlanması ile ilgilidir. Bu bilgiler işletmenin Teknik Genel Müdür Yardımcısı ve deneyimli çalışanlarından alınmış olup deneye dahil edilmemişlerdir.

Tablo 4-2 Deneyde Kullanılan Proses Parametreleri ve Düzeyleri

No	Parametrenin Tanımı	Birimi	Alt Düzey	Üst Düzey
1	Soğuma Süresi	Saniye	44	48
2	Enjeksiyon Süresi	Saniye	5	6
3	Art Basınç Süresi	Saniye	2	3
4	Parça Düşürme Süresi	Saniye	4	6
5	İtici Vurma Süresi	Saniye	11	12
6	Kalıp Kapama Süresi	Saniye	10.5	12
7	Kalıp Açma Süresi	Saniye	3.8	4.5
8	Grup Dayama Basıncı	Bar	80	100
9	Maça Açma Hızı	%	40	50
10	Maça Kapama Hızı	%	45	55
11	Enjeksiyon Basıncı	Bar	120	140
12	Geri Basınç	Bar	13	17
13	Art Basınç	Bar	75	85
14	Kapama Tonajı	KgNw	6900	8500
15	Mal Alma Stroğu	Milimetre	204	210
16	Kalıp Açma Stroğu	Milimetre	930	970
17	Kalıp Koruma Stroğu	Milimetre	90	100
18	Enjeksiyon Hızları	Milimetre/Saniye	30	35
19	Mal Alma Hızı	Milimetre/Saniye	60	65
20	1. Bölge Sıcaklığı	°C	187	197
21	2. Bölge Sıcaklığı	°C	185	195
22	3. Bölge Sıcaklığı	°C	183	193
23	4. Bölge Sıcaklığı	°C	181	191
24	5. Bölge Sıcaklığı	°C	179	189
25	6. Bölge Sıcaklığı	°C	177	187
26	7. Bölge Sıcaklığı	°C	170	180
27	8. Bölge Sıcaklığı	°C	170	180

Çalışmamızda yapılan deneyler, ikinci bölümde detaylı olarak anlatılan Plackett-Burman tasarımına göre yapılmıştır. Bu tasarımda deneylerde kullanılan parametrelerin alt ve üst düzeyleri belirlenmiştir. (Montgomery, 2005: 319).

İşletmeler çoğunlukla makine ayar ve parametrelerini mesleki anlamda uzun sürelerde uzmanlaşmış usta düzeyindeki çalışanların bilgi ve tecrübeleri ile

yapmaktadırlar. Denemeler yoluyla tespit edilen bu parametreler firmalara hem zaman kaybettirmekte hem de maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. (Mok, v.d., 1999: 226).

Çalışmada amaçlanan, minimum fire ve maksimum üretim miktarını elde edecek enjeksiyon proses parametrelerini deney tasarımı kullanmak suretiyle tespit etmektir.

4.2. Uygulamanın Metodolojisi

Minitab 16 paket programında Plackett-Burman tasarımı seçilerek, yaptığımız 27 değişkenli deneyin, deney planı oluşturulmuştur. Bunun için Minitab 16 programından yararlanılmıştır. (Minitab, 2000: 19-25).

Çalışmada deneylerin yapılması aşamasında öncelikle makine başında çalışan personele verilen proses parametrelerine göre makineyi ayarlaması için deney listesini vermek ayrıca fire ile üretim miktarlarını kaydedeceği formu hazırlamak olmuştur. Bu form her deney sonunda makine operatörüne doldurulmuştur. Operatörden fire adedi ve üretim miktarı bilgilerini forma yazması istenmiştir. Deney yapılış sırası minitab programı tarafından verilmektedir.

Son olarak sonuçlar yorumlanmak üzere Minitab 16 paket programına girilmiştir.

4.3. Uygulamanın Değerlendirmesi ve Bulguları

Deneyimiz, 27 faktörlü, 2 tekrarlı ve üretim miktarı ile fire miktarı olmak üzere iki farklı çıktıyı optimize etmek amaçlıdır. Plackett-Burman tasarımı kullanılarak 56 farklı deney yapılmıştır. Üretim miktarının maksimum, fire miktarının ise minimum olması istenmektedir. Bunun için enjeksiyon proses parametreleri ele alınarak, bunların değişiminin çıktı üzerindeki etkisi ölçülmeye çalışılmıştır.

Çalışmada, kontrol edilemeyen faktörleri en aza indirmek amacıyla bazı değişkenlerin deney boyunca aynı tutulması sağlanmıştır. Öncelikle temel etkenlerden biri olan hammadde değişkeni sabitlenmiştir. Bu faktörün sabitlenmesi

mümkün olmasaydı, deneyde hammadde türlerine göre bloklama yapmak gerekebilirdi ancak işletmenin buna olanak sağlayacak depolama sistemi ve uzun dönemli satın alma politikası sayesinde bloklama yapmaya gerek kalmamıştır. Çalışan operatörün aynı kalmasının sağlanması amacıyla deneyler hep aynı vardiyada yapılmıştır. Yine çalışma şartlarını etkileyebileceğini düşündüğümüz ortam sıcaklığının sabit kalması için deneyler birbirini takip eden vardiyalarda aralıksız yapılarak, toplam 56 deney tamamlanmıştır.

Elde edilen çıktılar Minitab 16 programına girildikten sonra, Stat - Doe – Factorial – Analyze Factorial Design aşamaları seçilerek analiz safhasına geçilmiştir. Çıktılar üretim miktarı ve fire adedi olarak seçilmiştir. Terms sekmesi işaretlenerek, tüm değişkenler seçilmiştir. Prediction sekmesinde güven aralığı 95 olarak tanımlanmıştır. Grafiklerde normal ve pareto grafikleri seçilmiştir. Bunun nedeni her iki grafik de bize etkili faktörleri vermekte olup ikisinin birden seçilmesi sağlamasını yapmak amacıyla. Kalıntı analizinde ise histogram, normal ve kalıntı grafikleri seçilmiştir. Deneyimizde, değişkenlerden herhangi birine ağırlık verilmemiştir. Ok tuşuna tıklandığında Minitab 16 paket programı bize tüm grafik ve çıktıları vermektedir.

Modelin uygunluğunun test edilmesinde F istatistiği kullanılmaktadır. Bu test ile modelin anlamsızlığı belirlenirse, deneyi etkileyen bazı dış etkilerin varlığından şüphelenilmelidir.

Modelin anlamlılığının testinde R^2 değeri de önemli bir göstergedir. R^2 değeri 0 ile 1 arasında yer almakta olup, 1'e yaklaşması deney sonucunda elde edilen ilişkinin anlamlılığını arttırır, diğer bir deyişle kuvvetli bir ilişki olduğunu gösterir. Düzeltilmiş (Adj) R^2 gözlemler sonucunda elde edilen veriler ile modelin arasındaki ilişkinin iyi olduğu varsayımını destekler. Burada R^2 değeri yerine (adj) R^2 değerine bakmamızın nedeni, R^2 'nin veri sayısının artışıdan etkileniyor olması (adj) R^2 'nin veri sayısından etkilenmiyor olmasıdır.

$$R^2 = \frac{\text{Açıklanan Değişkenlik}}{\text{Toplam Değişkenlik}} \quad (4.1)$$

Modelin uygunluk testinde H_0 hipotezi F test istatistiği ile karşılaştırılır. ANOVA tablosunda hesaplanan F test istatistiği, tablo değerinden büyük ise H_0 hipotezi reddedilir ve ilgili faktörün çıktı üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

Fire ve Üretim Değişkenleri İçin Formülasyon :

Minitab paket programının sonuçlarının verildiği sessions sayfasında estimated effects and coefficients tablosundaki coefficients sütunu bize fire ve üretim miktarları için fomülasyonun katsayılarını vermektedir. Tablo 4-3'de 27 parametrenin katsayıları verilmektedir.

Tablo 4-3 Deneyde Kullanılan Proses Parametrelerinin Katsayıları

No	Parametrenin Tanımı	Birimi	Katsayı
1	Soğuma Süresi	Saniye	x_1
2	Enjeksiyon Süresi	Saniye	x_2
3	Art Basınç Süresi	Saniye	x_3
4	Parça Düşürme Süresi	Saniye	x_4
5	İtici Vurma Süresi	Saniye	x_5
6	Kalıp Kapama Süresi	Saniye	x_6
7	Kalıp Açma Süresi	Saniye	x_7
8	Grup Dayama Basıncı	Bar	x_8
9	Maça Açma Hızı	%	x_9
10	Maça Kapama Hızı	%	x_{10}
11	Enjeksiyon Basıncı	Bar	x_{11}
12	Geri Basınç	Bar	x_{12}
13	Art Basınç	Bar	x_{13}
14	Kapama Tonajı	KgNw	x_{14}
15	Mal Alma Stroğu	Milimetre	x_{15}
16	Kalıp Açma Stroğu	Milimetre	x_{16}
17	Kalıp Koruma Stroğu	Milimetre	x_{17}
18	Enjeksiyon Hızları	Milimetre/Saniye	x_{18}
19	Mal Alma Hızı	Milimetre/Saniye	x_{19}
20	1. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{20}
21	2. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{21}
22	3. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{22}
23	4. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{23}
24	5. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{24}

Tablo 4-3 Deneyde Kullanılan Proses Parametrelerinin Katsayıları (Devam)

25	6. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{25}
26	7. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{26}
27	8. Bölge Sıcaklığı	°C	x_{27}

Fire miktarı değişkeni için deney formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$Y_{\text{fire}} = 134,339 + 21,911x_1 + 3,411x_2 + 7,875x_3 + 0,304x_4 + 4,161x_5 + 3,518x_6 - 1,304x_7 + 1,054x_8 - 4,125x_9 + 0,732x_{10} - 1,018x_{11} + 2,518x_{12} + 0,125x_{13} - 2,768x_{14} + 2,661x_{15} + 1,411x_{16} - 1,339x_{17} + 3,089x_{18} - 0,161x_{19} + 0,375x_{20} + 0,375x_{21} + 0,839x_{22} - 0,446x_{23} - 0,161x_{24} - 1,696x_{25} - 2,054x_{26} - 0,446x_{27}. \quad (4.2)$$

Üretim miktarı değişkeni için deney formülasyonu aşağıdaki gibidir.

$$Y_{\text{üretim}} = 3539,30 + 39,09x_1 + 24,41x_2 - 2,98x_3 + 8,23x_4 - 15,52x_5 + 2,73x_6 + 48,41x_7 - 1,80x_8 + 6,80x_9 + 18,52x_{10} + 314,84x_{11} - 27,55x_{12} + 85,41x_{13} - 3,34x_{14} + 0,91x_{15} + 20,87x_{16} - 1,80x_{17} - 18,63x_{18} + 30,66x_{19} - 9,34x_{20} - 52,12x_{21} - 2,73x_{22} - 8,16x_{23} - 17,27x_{24} - 0,98x_{25} - 3,09x_{26} + 24,23x_{27}. \quad (4.3)$$

Anova Tablosu :

Minitab 16 programında, session windows sayfasında görülen estimated effects and coefficients tablosunda, $p = 0,05$ 'den küçük olanlar sonuç üzerinde etkili faktörleri göstermektedir.

Fire miktarı çıktısı için ;

- Soğuma Süresi = 0,000
- Art Basınç Süresi = 0,000
- Maça Ama Hızı = 0,005
- İtici Vurma Süresi = 0,005
- Kalıp Kapama Süresi = 0,015
- Enjeksiyon Süresi = 0,018
- Enjeksiyon Hızları = 0,030

olarak belirlenmiştir. R-Sq (adj) = 85,56% değeri bize olayların %85,56 'sının açıklandığını göstermektedir.

Üretim miktarı çıktısı için ;

- Enjeksiyon Basıncı = 0,000
- Art Basınç = 0,000
- 2. Bölge Sıcaklığı = 0,001
- Kalıp Açma Süresi = 0,002
- Soğuma Süresi = 0,009
- Mal alma Hızı = 0,036

olarak belirlenmiştir. R-Sq (adj) = 91,31% değeri bize olayların %91,31 'inin açıklandığını göstermektedir.

Pareto Grafiği :

Pareto grafiği hem fire miktarı hem de üretim miktarı çıktıları için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Ek 3 'de Şekil 1 ve Şekil 2, bize bu grafikleri göstermektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi 0,05 anlamlılık düzeyinde eşik değeri 2,05 'dir. Bu değer, t tablosundaki ilgili serbestlik derecesi ve anlamlılık düzeyi için verilen değerdir. Eşik değerini geçen faktörler aşağıdaki gibidir.

Ek 3 'de Şekil 1 'de fire adedi için önemli proses parametreleri verilmektedir. Grafikteki kırmızı çizginin sağında kalan parametreler çıktıları etkileyen parametrelerdir. Bunlar öncelik sırasına göre ;

- Soğuma Süresi
- Art Basınç Süresi
- Maça Ama Hızı
- İtici Vurma Süresi
- Kalıp Kapama Süresi
- Enjeksiyon Süresi
- Enjeksiyon Hızları

olarak bulunmaktadır. Ek 3'de Şekil 2'de ise üretim miktarı için önemli proses parametreleri görülmektedir. Bunlar ise önem sırasına göre ;

- Enjeksiyon Basıncı
- Art Basınç
- 2. Bölge Sıcaklığı
- Kalıp Açma Süresi
- Soğuma Süresi
- Mal alma Hızı

olarak bulunmuştur. Pareto grafiği standardize edilmiş etkileri göstermektedir.

Logaritmik Grafik :

Bu grafik, Ek 3'de Şekil 3 ve Şekil 4 'de üretim miktarı ve fire adedi için görülmekte olup şu şekilde yorumlanması mümkündür. Grafikte çizginin etrafında dağılım gösteren faktörler çıktı üzerinde etkisi olmayan faktörleri göstermektedir. Çizgiden uzak olan noktaların her biri ise proses üzerinde önemli etkiye sahip faktörlerdir. Bunlar yukarıda belirtilen faktörler olarak grafikte de karşımıza çıkmaktadır. Logaritmik grafiğin x eksenini standardize edilmiş etki değerlerini temsil etmekte, y eksenini ise Weibull olasılık dağılımını temsil etmektedir.

Weibull olasılık dağılımında grafik yöntem uygulanırken yapılan işlemlerin ilki verileri küçükten büyüğe doğru sıralamaktır. Sonrasında sıra medyanları hesaplanır ve bu sıra medyanları grafikte y ekseninde kümülatif olarak yer alır. Sıra medyan hesaplama formülü aşağıdaki gibidir. Bu formülde i veri sırasını, N ise veri sayısını göstermektedir. (Zeytinoğlu, 2009: 77).

$$\frac{i - 0,3}{N + 0,4} \times 100 \quad (4.4)$$

Histogram Grafik :

Bu grafikler Ek 3'de Şekil 5 ve Şekil 6 'de üretim miktarı ve fire adedi için görülmektedir. Bu kalıntı grafiği, bize hataların normal dağılım gösterip

göstermediğini vermektedir. Görüldüğü gibi grafikte kalıntıların sıfırın etrafında yayılım göstermesi bize hatalar için normallik varsayımının sağlandığını vermektedir.

Kalıntıların Analizi :

Residual Versus Order grafiğinde bağıntı ile kalıntı arasındaki farkın dağılımının rastgele olması istenir. Tekrarlayan cinsten dağılımın olmaması yani örüntünün olmaması gerekmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8 'de fire miktarı ve üretim miktarı değişkenlerine ilişkin kalıntı grafikleri görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi herhangi bir örüntüye rastlanmamaktadır.

Yayılım Analizi :

Yayılım analizi grafikleri Ek 3'de Şekil 9 'da fire adedi için Şekil 10 'da ise üretim miktarı için verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi noktaların dağılımı rassal ve homojen olup herhangi bir noktada yığılma görülmemektedir. Çizginin alt ve üst tarafındaki paralellik deneyimizin iki tekrarlı olmasından kaynaklanmaktadır. Tahmin değeri ile gerçekleşen arasındaki farklar her bir deneyin iki tekrarı için artı ve eksi yönlü olarak aynı değerler olup, dolayısı ile paralel görünüm söz konusu olmaktadır.

Kalıntı Grafiği :

Kalıntı grafikleri Ek 3'de Şekil 11 'de fire adedi için Şekil 12 de ise üretim miktarları için verilmiştir. Bu grafikler bize normalliği göstermektedir. Grafikte normalliğin sağlanabilmesi için noktaların çizgiye yakın olması gerekmektedir. Görüldüğü gibi her iki grafikte de noktalar çizgi etrafında toplanmış olup, her iki değişken de normal dağılım göstermektedir.

Response Optimization – Çıktıların Optimizasyonu :

Bu aşamada deneyimizde bulunan proses parametre değerlerinin optimizasyonu yapılmaktadır. Minitab 16 bize bunu yapmak için olanak vermektedir. Programda Stat – Doe – Factorial – Response Optimizer adımlarının seçilmesi ile optimizasyon

tablosuna ulaşılır. Hem üretim miktarı hem de fire miktarı değişkelerimiz de seçilir. Setup kısmında faktörlere ağırlık verilmek istenirse kullanılır ki bizim deneyimizde bu aşama kullanılmayacaktır. Ok tuşuna basılarak optimizasyon tablosu elde edilir. Ek 3 ‘de Şekil 13’de görülen optimizasyon tablosunda amaç, üretim miktarının maksimizasyonu, fire adedinin ise minimizasyonu için, görülen kırmızı çizgilerin sağa ve sola hareketi ile en uygun sonuç bulunmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle bulunan parametreler aşağıdaki Tablo 4-4 ‘de görüldüğü gibi bulunmuştur.

Tablo 4-4 Optimize Edilmiş Proses Parametreleri

No	Parametrenin Tanımı	Birimi	Değer
1	Soğuma Süresi	Saniye	44,031
2	Enjeksiyon Süresi	Saniye	5,026
3	Art Basınç Süresi	Saniye	2,038
4	Parça Düşürme Süresi	Saniye	4,002
5	İtici Vurma Süresi	Saniye	11,014
6	Kalıp Kapama Süresi	Saniye	10,512
7	Kalıp Açma Süresi	Saniye	3,828
8	Grup Dayama Basıncı	Bar	80,000
9	Maça Açma Hızı	%	49,998
10	Maça Kapama Hızı	%	45,001
11	Enjeksiyon Basıncı	Bar	140,000
12	Geri Basınç	Bar	13,000
13	Art Basınç	Bar	85,00
14	Kapama Tonajı	KgNw	6,900,00
15	Mal Alma Stroğu	Milimetre	210,000
16	Kalıp Açma Stroğu	Milimetre	970,00
17	Kalıp Koruma Stroğu	Milimetre	99,999
18	Enjeksiyon Hızları	Milimetre/Saniye	30,001
19	Mal Alma Hızı	Milimetre/Saniye	65,000
20	1. Bölge Sıcaklığı	°C	197,000
21	2. Bölge Sıcaklığı	°C	185,000
22	3. Bölge Sıcaklığı	°C	193,000
23	4. Bölge Sıcaklığı	°C	190,999
24	5. Bölge Sıcaklığı	°C	179,000
25	6. Bölge Sıcaklığı	°C	186,999
26	7. Bölge Sıcaklığı	°C	179,899
27	8. Bölge Sıcaklığı	°C	180,000

Uygulamanın yapıldığı proseste, aynı makine ve aynı kalıp için son bir yıllık üretim iş emirleri alınarak, eski durumdaki fire oranı tespit edilmiştir. Fire oranı hesaplanırken fire miktarı, üretim ve firenin miktarlarının toplamına bölünerek bulunmaktadır. Bu verilere göre mevcut durumda günlük ortalama üretim miktarı 3.185 adet, günlük ortalama fire miktarı ise 165 adet olarak tespit edilmiştir. Buna göre fire oranı %4,93 olarak tespit edilmiştir.

Mevcut üretim kaynaklı fire miktarı tespit edilirken, elektrik kesintisi, voltaj oynaması, üretime alma, makine kapanması gibi üretim kaynaklı olmayan fireler göz önüne alınmamıştır. Üretim esnasında olan ve proses parametrelerinden kaynaklanan fireler baz alınarak %4,93 oranı belirlenmiştir.

Yaptığımız deneyin sonuçlarını doğrulamak amacıyla proses üzerinde etkili olduğu belirlenen Tablo 4-4 'de görülen 27 parametre değeri, makine ekranına girilerek üç adet doğrulama deneyi yapılmıştır.

Birbirini takip eden günlerde, aynı hammadde ve operatör ile yapılan üç doğrulama deneyinde bulunan sonuçlar şöyledir ;

1. Deney : Üretim Miktarı : 3.748 adet, Fire Miktarı : 75 adet, Fire Oranı : %1,96

2. Deney : Üretim Miktarı : 3.821 adet, Fire Miktarı : 63 adet, Fire Oranı : %1,62

3. Deney : Üretim Miktarı : 3.915 adet, Fire Miktarı : 59 adet, Fire Oranı : %1,48

Tablo 4-5 Deneyden Önceki ve Sonraki Durumun Karşılaştırılması

Sonuçlar	Günlük Üretim Adedi	Fire Adedi Ad	Fire Oranı %	Mevcut Duruma Göre Farklar			
				Üretim		Fire	
				Artışı-Ad	Yüzde	Düşüşü-Ad	Yüzde
Son bir yıllık veriler	3.185	165	4,93%				
1. doğrulama deneyi	3.748	75	1,96%	563	18%	-90	-120%
2. doğrulama deneyi	3.821	63	1,62%	636	20%	-102	-162%
3. doğrulama deneyi	3.915	59	1,48%	730	23%	-106	-180%

Tablo 4-5'de görüldüğü gibi, günlük ortalama üretim miktarı son bir yıllık mevcut verilere göre 3.185 adet iken yapılan doğrulama deneylerine göre %18 ila % 23 oranında artarak 3.748 ila 3.915 arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Fire miktarı son bir yıllık mevcut verilere göre günlük ortalama 165 adet iken yapılan doğrulama deneylerine göre %120 ila % 180 oranında azalarak 75 ila 59 arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Fire oranı son bir yıllık mevcut verilere göre %4,93 iken yapılan doğrulama deneylerine göre %151 ila % 231 oranında azalarak %1,96 ila %1,48 arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Bütün bu sonuçlar bize optimize edilmiş proses parametreleri ile yapılan üretimin miktarının arttığını, fire miktarının azaldığını dolayısı ile fire oranının azaldığını göstermektedir. Yapılan doğrulama deneyleri de bu sonuçları doğrular niteliktedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ele alınan temel konu, Plackett-Burman Deney Tasarımı'nın fire analizinde kullanılmasıdır. Bununla birlikte Deney Tasarımı türleri genel olarak ele alınmıştır. Çalışmada plastik enjeksiyon prosesinde deney tasarımı konusundaki uygulamalara da ayrıca yer verilmiştir.

Yapılan çalışmada deney tasarımı türlerinden biri olan Plackett-Burman tasarımı kullanılarak 27 adet faktörün etkisi incelenmiştir. Uygulama bölümünde ise Minitab 16 programı ile yapılan deney sonuçları yorumlanarak, sonuçlar irdelenmiştir.

Uygulama yerinin tercih edilmesinde söz konusu işletmede çok sayıda enjeksiyon makinesinin olması, hammadde tasnifinin çok iyi yapılıyor olması, iyileştirme ve yeniliklere açık bir firma olması faktörleri etkili olmuştur.

Uygulama yerinden alınan veriler, sabit bir makinede, sabit bir kalıpta, aynı firmaya ait hammadde kullanılarak ve sabit bir operatör tarafından yapılmıştır. Deneylerin tamamı birbirini takip eden günlerde yapılmış ve 56 deney de aynı operatör ile tamamlanmıştır.

Çalışma, 27 faktörlü, iki düzeyli ve iki tekrarlı bir deneyin plastik enjeksiyon prosesinde fire analizinde kullanılması açısından bir ilktir. Çok sayıda faktörün kullanımı sonuçları daha objektif kılmaktadır. Plackett-Burman tasarımı etkileşim etkilerini ihmal etmektedir. Ancak, deneyimizde çok sayıda faktörün etkisini görebilmek amacıyla etkileşim etkileri ihmal edilmiştir. Uygulama bölümünde, gerçek bir makine ortamından alınan veriler ışığında Plackett-Burman deney tasarımı yapılmış ve Minitab 16 programının özellikleri ile yapılan optimizasyonda 27 faktör içerisinde fire değişkeni üzerinde etkili 7 faktörün ve üretim değişkeni üzerinde etkili 6 faktörün optimum değerleri tespit edilmiştir. Makinenin bu proses parametrelerine göre ayarlanması durumunda, fire oranının azaldığı ve üretim miktarının arttığı görülmüştür.

İşletmeler rekabetin her geçen gün artması ile üretimde maliyetlerini düşürecek yöntemleri kullanmak durumundadırlar. Bu nedenle, deney tasarımı yöntemlerini kullanarak, çok sayıda deneme ile uygun çalışma parametrelerini tespit etmek yerine, çok daha düşük maliyetle proseslerinin optimizasyonunu yapabilmektedirler.

Yapılan bu çalışma, deney tasarımı türlerinden olan Plackett-Burman tasarımı ile fire analizinin yapılması ve çok sayıda faktörün enjeksiyon prosesindeki etkilerinin aynı anda incelenmesi açısından önemlidir.

Plackett-Burman deney tasarımı ile yapılacak sonraki çalışmalarda, daha fazla sayıda faktörün incelenmesi konusuna çözüm aranabilir. Proses üzerinde etkili olduğu belirlenen faktörler ile tam faktöriyel deney tasarımı yapılabilir. Bunlara ek olarak plastik enjeksiyon prosesinde etkileşim etkilerini de göz önüne alarak kritik proses parametrelerinin belirlenmesi için model oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Aggarwal, M.L., Lih Y. Deng, Mukta D. Mazumder. : "Optimal Fractional Plans Using Finite Projective Geometry", **Communications in Statistics-Theory and Methods**, C:37, No:8, 2008, s.1258-1265.
- Ai, Mingyao, Fred J. Hickernell, Dennis K.J. Lin. : "Optimal Foldover Plans for Regular s-Level Fractional Factorial Designs" , **Statistics and Probability Letters**, C:78, 2008, s.896-903.
- Akkurt, Selma : **Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı** , Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.
- Anastacio, Ana, Isabel S. Carvalho. : "Phenolics Extraction from Sweet Potato Peels: Key Factors Screening Through a Placket-Burman Design" , **Industrial Crops and Products**, C:43, 2013, s.99-105.
- Anderson, Virgil L., Robert A. McLean. : **Design of Experiment, A Realistic Approach**, Marcel Dekker, ABD. 1974.
- Antony, Jiju. : **Design of Experiments for Engineers and Scientists**, Butterworth Heinemann, 1. bs., ABD., 2003.
- Aoki, Satoshi. : "Some Optimal Criteria of Model Robustness for Two Level Non-Regular Fractional Factorial Designs" , **Institute of**

- Statistical Mathematics**, C:62, 2009, 2010, s.699-716.
- Arburg. V. Goodship.: **Practical Guide to Injection Moulding**, Rapra Technology Limited and Arburg Limited., Der, 2004.a.
- Arburg. V. Goodship.: **Troubleshooting Injection Molding**, Rapra Review . Reports. an Arburg Guide, Der, 2004.b.
- Bafana, Amit : "Characterization and Optimization of Production of Exopolysaccharide from *Chamydomonas Reinhardtii*" , **Carbohydrate Polymers**, C:95, 2013, s.746-752.
- Bailey, Richard A.: **Design of Comparative Experiments**, Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics, ABD., 2008.
- Bell, Gordon H., Johannes Ledolter, Artur J. Swersey. : "Experimental Design on the Front Lines of Marketing: Testing New Ideas to Increase Direct Mail Sales" , **Research in Marketing**, C:23, 2006, s.309-319.
- Beres Diane L., Douglas M. Hawkins. : "Plackett-Burman Technique for Sensitivity Analysis of Many Parametered Models" , **Ecological Modeling**, C:141, 2001, s.171-183.

- Berger, Paul D., Robert E. Maurer.: **Experimental Design with Applications in Management, Engineering, and the Sciences**, Duxbury, ABD., 2002.
- Besseris, George J. "Analysis of an Unreplicated Fractional-Factorial Design Using Nonparametric Tests" , **Quality Engineering**, C:20, 2008, s.96-112.a.
- Besseris, George J. "Order Statistics for a Two-Level, Eight-Run Saturated-Unreplicated Fractional-Factorial Screening" , **Quality Engineering**, C:21, 2009, s.416-431.b.
- Besseris, George J. "A Methodology for Product Reliability Enhancement via Saturated Unreplicated Fractional Factorial Designs" , **Reliability Engineering and System Safety**, C:95, 2010, s.742-749.c.
- Chang, Fu K., Chao P. Ting. : "Optimal Two Level Fractional Factorial Designs for Location Main Effects with Dispersion Factors" , **Communications in Statistics - Theory and Methods**, C:40, 2011, s:2035-2043.
- Chen, Ching P, Ming T. Chuang, Yun H. Hsiao., Yung K. Yang, Chih H. Tsai. : "Simulation and Experimental Study in Determining Injection Molding Process Parameters for Thin-Shell Plastic Parts via Design of Experiments Analysis" , **Expert Systems with Applications**, C:36, 2009, s.10752-10759.

- Chen, Wen C., Gong L. Fu, Pei H. Tai, Wei J. Deng. : "Process Parameter Optimization for MIMO Plastic Injection Molding Via Soft Computing" , **Expert Systems with Applications**, C:36, 2009, s.1114-1122.
- Chen, Wen C., Pei H. Tai, Min W. Wang, Wei J. Deng, Chen T. Chen. : "A Neural Network Based Approach for Dynamic Quality Prediction in a Plastic Injection Molding Process" , **Expert Systems with Applications**, C:35, 2008, s.843-849.
- Cheng, Ching S., Pi. W. Tsai. : "Optimal Two Level Regular Fractional Factorial Block and Split-Plot Designs" , **Biometrika Oxford Journals**, C:96, 2009, 2009, s.83-93.
- Chiang, Ko T., Fu P. Chang. : "Application of Grey-Fuzzy Logic on the Optimal Process Design of an Injection Molded Part with a Thin Shell Feature" , **International Communications in Heat and Mass Transfer**, C:33, 2006, s.94-101.
- Cochran, William G., Gertrude M. Cox.: **Experimental Design**, John Wiley & Sons, 2.bs., ABD., 1957.
- Currie, R.M., C.B.E., Joseph E. Faraday. **Work Study**, Pitman Publishing, 4. bs., Melbourne, 1977.
- Çömlekçi, Necla : **Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri**, Alfa Yayınları, 1. bs., İstanbul, 2003.

- Dasgupta, Nairanjana, Mike "Partially Replicaed Fractional Factorial Designs" , **Metrika**, C:71, 2010, s.295-311.
- Jacroux, Rita S. Ray.:
- Dean, Angela, Daniel Voss. : **Design and Analysis of Experiments**, Springer-Verlag, ABD., 1999.
- Dejeagher, B., M. Dumarey, X. "Comparison of Plackett Burman and Supersaturated Designs in Robustness Testing" **Analytica Chimica Acta**, C:595, 2007, s.59-71.
- Capron, M.S. Bloomfield, Y. Vander Heyden. :
- Delgado, D., G. Salazar, M. Garcia. "Sequential Optimisation of Yield and Sensory Quality of Semi-Hard Cheese Manufactured from a Mixture of Ultrafiltered Ewes and Cows Milk." , **International Dairy Journal**, C:13, 2013, s.9-120.
- Demirer, Ahmet, Ertan Çakırgil, "PP ve YYPE Malzemelerin Enjeksiyon Kalıplarında Üretilmesinde Soğutma Sistemlerinin Parça Kalitesine Etkisi" , 5. **Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, IATC'09, Karabük, 2009.
- Aslan Çoban, Mesut Durat.:
- Engel . : **Plastik Parçalar Üzerindeki Yüzey Hataları**, Seminer Notları, 2005.
- Farshi, Behrooz, Siavash Ghesmi, "Optimization of Injection Molding Process Parameters Using Sequential Simplex Algorithm" , **Materials and Design**, C.32, s.414-423, 2011.
- Elyar Miandoabchi. :

- Fisher, Ronald A. : **The Design of Experiment**, Hafner Publishing Company, 6. bs., ABD, 1953.
- Giordana, Pablo C., Alejandro J. Beccaria, Hector C. Goicoechea. : "Significant Factors Selection in the Chemical and Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Residues by a Genetic Algorithm Analysis and Comparison with the Standart Plackett Burman Methodology" , **Bioresource Technology**, C:102, 2011, s.10602-10610.
- Greener, Jehuda, Reinhold W. Friel. : **Precision Injection Molding Process, Materials and Applications**. Carl Hanser Verlag, Germany, 2006.
- Goupy, Jacques, Lee Creighton. : **Introduction to Design of Experiment, with JMP Examples**, Sas, 3. bs., ABD., 2007.
- Gökçe, Barış, Süleyman Taşgetiren. : "Kalite İçin Deney Tasarımı" , **Makine Teknolojileri Dergisi**, C:6, No:1, 2009, s.71-83.
- Guha, Manisha, Syed Z. Ali, Suvendu Bhattacharya. : "Screening of Variables for Extrusion of Rice Flour Employing a Plackett Burman Design" , **Journal of Food Engineering**, C:57, 2003, s.135-144.
- Gunst, Richard, F., Robert L. Mason. : "Fractional Factorial Design" , **Wire's Computational Statistics**, C:1, 2009, s.234-244.

- Guo, Yong, James R. Simpson, Joseph J. Pignatiello.: "Optimal Foldover Plans for Mixed-Level Fractional Factorial Designs" , **Quality and Reliability Engineering International**, C:25, 2009, s.449-466.
- Gustafsson, Anders, Andreas Herrmann, Frank Huber. : **Conjoint Measurement Methods and Applications**, Springer, 4. bs., Almany, 2007.
- Heizer, Jay, Barry Render.: **Production & Operations Management : Strategic and Tactical Decisions**. Prentice Hall, Upper Saddle River, ABD, 1995.
- Hicks, Charles R., Kenneth V. Turner. : **Fundamental Concepts in the Design of Experiments**, Oxford University Pres, ABD, 1999.
- Hinkelmann, Klaus, Oscar Kempthorne. : **Design and Analysis of Experiments, Introduction to Volume 1, Experimental Design**, Wiley, 2. bs., ABD., 2008.
- Huang, M.S., T.Y. Lin. "Simulation of a Regression Model and PCA Based Searching Method Developed for Setting the Robust Injection Molding Parameters of Multi-Quality Characteristics" , **International Journal of Heat and Mass Transfer**, C:51, 2008, s.5828-5837.
- Jacroux, Mike : "Maximal Rank Minimum Aberration Foldover Plans for 2^{m-k} Fractional Factorial Designs" , **Department of Mathematical Sciences**, C:65, 2007, s.235-242.a.

- Jacroux, Mike : "Blocking in Two Level Non-Regular Fractional Factorial Designs", **Journal of Statistical Planning and Inference**, C.:39, 2009, s.1215-1220.b.
- Jacroux, Mike : "Minimum Aberration Two Level Fractional Factorial Split-Plot Designs with Hard to Change Factors" , **Communications in Statistics-Theory and Methods**, C:38, 2009, s.1337-1349.c.
- Jacroux, Mike : "Two Level Fractional Factorial Designs in Blocks of Size Two for the Orthogonal Estimation of all Main Effects and Two Factor Interactions" , **Statistics and Probability Letters**, C:80, 2010, s.926-931.d.
- Jacroux, Mike : "On the Use of Partial Confounding for the Construction of Alternative Regular Two Level Blocked Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C:141, 2011, s.2201-2208.e.
- Kamal, Musa R., Avraam I. Isayev, Shih J. Liu. : **Injection Molding Technology and Fundamentals**, Hanser Publication, ABD, 2009.
- Kannan, R., M.N. Islam, D. Rathod, M. Vijay, U.K. Kharul, P.C. Ghosh, K. Vijayamohan. : "A 2^{7-3} Fractional Factorial Optimization of Polybenzimidazole Based Membrane Electrode Addemlies for H₂/O₂ Fuel Cells" , **Journal of Electrochem**, C:38, 2008, s.583-590.

- Karemore, Ankush, Ruma Pal, Ramkrishna Sen. : "Strategic Enhancement of Algal Biomass and Lipid in Chlorococcum Infusioenum as Bioenergy Feedstock" **Algal Research**, C:2, 2013, s.113-121.
- Krauss Maffei. **Guide to Surface Defects On Thermoplastic Injection Moulded Parts** , Kunststoff Institut Lüdensheid, 1. bs., 2001.
- Kobu, Bülent : **Üretim Yönetimi**, Beta Yayınları, 13. bs., İstanbul, 2006.
- Kurt, Mustafa, Oğuz Girit, A.Talat İnan. : Ürün Kalitesinde Kararlılığı Sağlayabilmek için Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Piezoelektrik Sensörler ile Denetimi, **Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, İstanbul, 2006.
- Lakho, Muhammad H., Xianggui Qu, Muhammad F. Qadir.: "Projective Properties of Non-Regular Fractional Factorial Designs" , **Pakistan Journal of Statistics**, C:26, 2010, s.493-507.
- Lau, K.H., T. T.M. Tse. "Enhancement of Plastic Injection Moulding Quality Through the Use of the ABLPC Nozzle" , **Journal of Materials Processing Technology**, C:69, 1997, s.55-57.
- Lazic, Zivorad R.: **Design of Experiment in Chemical Engineering A Practical Guide**, Wiley-VCH, ABD., 2004.

- Leadbitter, J., J.A. Day., J.L. Ryan. **PVC – Compounds, Processing and Applications**, Rapra Review Report, 78, 1994.
- Lee, Wayne.: **Experimental Design and Analysis**, W.H. Freeman And Company, ABD, 1935.
- Li, Fei, Mike Jacroux. : "Optimal Foldover Plans for Blocked 2^{m-k} Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C:137, 2007, s.2439-2452.
- Li, Weiyong, Henrik T. Rasmussen. : "Strategy for Developing and Optimizing Liquid Chromatography Methods in Pharmaceutical Development Using Computer Assisted Screening and Plackett Burman Experimental Design" , **Journal of Chromatography A**, C:1016, 2003, s.165-180.
- Lin, Dennis K.J., Norman R. Draper. : "Generating Alias Relationships for Two Level Plackett and Burman Designs" , **Computational Statistics & Data Analysis**, C:15, 1993, s.147-157.
- Lin, Devon C., R.R. Sitter. : "An Isomorphism Check for Two-Level Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C:138, 2008, s.1085-1101.

- Loukas, Yannis L. : "A Plackett Burman Screening Directs the Efficient Formulation of Multicomponent DRV Liposomes" , **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analtsis**, C:26, 2001, s.255-263.
- Manivasagan, Panchanathan, "Production and Characterization of an Extracellular Polysaccharide from Streptomyces Violaceus MM72" **International Journal of Biological Macromolecules**, C:59. 2013, s.29-38.
- Palaniappan Sivasankar, Jayachandran Venkatesan, Kalimuthu Senthilkumar, Kannan Sivakumar, Se K. Kim. : "Optimal Block Sequences for Blocked Fractional Factorial Split-Plot Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C.:138, 2008, s.2563-2573.
- McLeod, Robert G. :
- Megep.: **Plastik Teknolojisi, Enjeksiyon Makinelerinde Üretim-2.** Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006, a.
- Megep.: **Makine Teknolojisi, Temel Plastik Enjeksiyon Kalıpları 4.** Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006, b.
- Megep.: **Plastik Teknolojisi, Enjeksiyon Makinelerinde Üretim-1.** Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006, c.

- Megep.: **Plastik Teknolojisi, Enjeksiyon Makinelerinde Üretim-3.** Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2006, d.
- Mendenhall, William.: **Introduction to Linear Models and The Design and Analysis of Experiment,** Wadsworth Publishing, California, ABD., 1968.
- Minitab Statistical Software : **MINITAB User's Guide 2 : Data Analysis and Quality Tools.** Release 13 for Windows, 2000.
- MPM : **İş Etüdü,** Milli Prodüktivite Yayınları, 4. bs., Ankara, 1991
- Mok, S.L., C.K. Kwong, W.S. Lau. "Review of Research in the Determination of Process Parameters for Plastic Injection Molding", **Advances in Polymer Technology,** C:18, No:3, 1999, s.225-236 .
- Monness, E., M.J. Linsley, I.E. Garzon. "Comparing Different Fractions of a Factorial Design : A Metal Cutting Case Study" , **Applied Stochastic Models in Business and Industry,** C:23, 2007, s.117-128.
- Montgomery, Douglas C.: **Design and Analysis of Experiments,** John Wiley & Sons, Inc, 6. bs., ABD., 2005.

- Morris, Max D. : **Design of Experiments an Introduction Based on Linear Models**, CRC Press, ABD., 2011.
- Nair, Vijay, Victor Strecher, Angela Fagerlin, Peter Ubel, Kenneth Resnicow, Susan Murphy, Roderick Little, Bibhas Chakraborty, Aijun Zhang. : "Screening Experiments and the Use of Fractional Factorial Designs in Behavioral Intervention Research", **Jounal of Public Health**, C:98, 2008, s.1354-1359.
- Naugraiya, M., C.G. Drury. "A Fractional Factorial Screening Experiment to Determine Factors Affecting Discrete Part Process Control" , **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, C:10, 2009, s.1-17.
- Naveena, B.J., M. Altaf, K. Bhadriah, G. Reddy. : "Selection of Medium Components by Plackett Burman Design for Production of L(+) Lactic Acid by Lactobacillus Amylophilus GV6 in SSF Using Wheat Bran" , **Bioresource Technology**, C:96, 2005, s.485-490.
- Oehlert, Gary W. : **A First Course in Design and Analysis of Experiments**, Library of Congress Cataloging in Publication Data, ABD., 2000.
- Oktem, Hasan, Tuncay Erzurumlu, İbrahim Uzman. : "Application of Taguchi Optimization Technique in Determining Plastic Injection Molding Process Parameters for a Thin-Shell Part" , **Materials and Design**, C.28, 2007, s.1271-1278.

- Olivieri, Alejandro C., Jorge F. Magallanes. : "Uncovering Interactions in Plackett Burman Screening Designs Applied to Analytical Systems. A Monte Carlo Ant Colony Optimization Approach" , **Talanta**, C:97, 2012, s.242-248.
- Osswald, Tim, Juan. P. Hernandez-Ortiz. : **Polymer Processing Modeling and Simulation**, 1. bs., Hanser Gardner Publications, ABD, 2006.
- Özcelik, Babur, İbrahim Sonat. : "Warping and Structural Analysis of Thin Shell Plastic in the Plastic Injection Molding" , **Materials and Design**, C:30, 2009, s.367-375.
- Özçelik, Babur, Alper Ozbay, Erhan Demirbaş. : "Influence of Injection Parameters and Mold Materials on Mechanical Properties of ABS in Plastic Injection Molding" , **International Communications in Heat and Mass Transfer**, C:37, 2010, s.1359-1365.
- Özensoy, Erol.: "Teknolojik ve Bilimsel Araştırmalarda Modern Deney Tasarımcılığı ve Optimizasyon Yöntemleri", **Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü**, Ankara, 1982.
- Patil, Sushama A., Shripad N. Surwase, Shekhar B. Jadhav, Jyoti P. Jadhav. : "Optimization of Medium Using Response Surface Methodology for L-DOPA Production by Pseudomonas sp. SSA" , **Biochemical Engineering Journal**, C:74, 2013, s.36-45.

- Pistone, Giovanni, Maria P. Rogantin. : "Algebraic Statistics of Level Coding for Fractional Factorial Designs" **Journal of Statistical Planning and Intference**, C:138, 2008, s.234-244.
- Pötsch, Gerd, Walter Michaeli. : **Injection Molding an Introduction**, Hanser Gardner Publications, 2. bs., Almanyà, 2007.
- Puentes, C.A., O.I. Okoli, Y.B. Park. "Determination of Effects of Production Parameters on the Viability of Polycarbonate Films for Achieving in Mold Decoration in Resin Infused Composite Components" , **Journal of Composites**, C:40, 2009, s.368-375.
- Rajeev, V.R., D.K. Dwivedi, S.C. Jain. "A Fractional Factorial Design Study of Reciprocating Wear Behavior of Al-Si-SiC_p Composites at Lubricated Contacts, **Journal of Materials Engineering and Performance**, C:20, 2010, s.368-376.
- Ramezani, Vahid, Alireza Vatanara, Abdolhossein R. Najafabadi, Kambiz Gilani, Mohsen N. Meybodi. : "Screening and Evaluation of Variables in the Formation of Antibody Particles by Spray Drying" , **Powder Technology**, C:233, 2013, s.341-346.
- Rauweudaal, Chris. : **Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion** , Hanser Gardner Publications, 2. bs., Almanyà, 2008.
- Rekab, Kamel, Muzaffar Shaikh. : **Statistical Design of Experiments with Engineering Applications**, CRC Pres, ABD, 2005.

- Rosato, Dominick V., Donald V. **Injection Molding Handbook** , Kluwer Academic Publisher Group, 3. bs., ABD, 2000.
- Rosato, Marlane G. Rosato. :
- Rossi, Daniele M., Elisangela A. "Conversion of Residual Glycerol from Biodiesel Synthesis into 1,3-Propanediol by a New Strain of Klebsiella Pneumoniae" , **Renewable Energy**, C:55, 2013, s.404-409.
- Souza, Simone H. Flores, Marco A.Z. Ayub. :
- Saraç, Tuğba, Aydın Sipahioğlu. : "Plastik Enjeksiyon Makinalarının Çizelgelenmesi" , Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, C.20, No:2, 2008, s.2-14.
- Savaşçı, Tunç Ö., Nurseli Uyanık, Güneri Akovalı. : **Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi**, Çantay Kitapevi, İstanbul, 1998.
- Savaşçı, Ö.T., N. Uyanık, G. Akovalı. **Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi**, 3. Baskı, Pagev Yayınları, İstanbul, 2008.
- Shah, Sunny R., Rajesh H. Parikh, Jayant R. Chavda, Navin R. Sheth. : "Application of Plackett-Burman Screening Design for Preparing Glibenclamide Nanoparticles for Dissolution Enhancement" , **Powder Technology**, C:235, 2013, s.405-411.
- Shalabh, Helge T. : "Statistical Analysis of Designed Experiments" , **Springer**, 3. bs., Almanya, 2009.

- Shrivastava, Abhishek K., Yu Ding.: "Graph Based Isomorph Free Generation of Two Level Regular Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C:140, 2010, s.169-179.
- Sin, Lee T., W.A W.A. Rahman, A.R. Rahmat, Tiam T. Tee, Soo T. Bee, Low C. Yu. : "Computer Aided Injection Moulding Process Analysis of Polvinyl Alcohol-Starch Green Biodegradable Polymer Compound" , **Journal of Manufacturing Processes**, C.:4, 2012, s.8-19.
- Song, M.C., Z. Liu, M.J. Wang, T.M. Yu, D.Y. Zhao. "Research on Effects of Injection Process Parameters on the Molding Process for Ultra-Thin Wall Plastic Parts" , **Journal of Materials Processing Technology**, C:187, 2007, s.668-671.
- Şenoğlu, Birdal, Şükrü Acıtaş.: **İstatistiksel Deney Tasarımı**, Nobel Yayınları, 1. bs., Ankara, 2010.
- Şirvancı, Mete. : **Kalite için Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı**, Literatür Yayınları, 1. bs., İstanbul, 1997.
- Tamhane, Ajit C. : **Statistical Analysis of Designed Experiments**, John Wiley & Sons, ABD, 2009.
- Ting, Choa P. : "D-Optimal Two-Level Fractional Factorial Designs of Resolution III with Two Dispersion Factors" , **Communications in Statistics-Theory and Methods**, C:39, 2010, s.2515-2532.

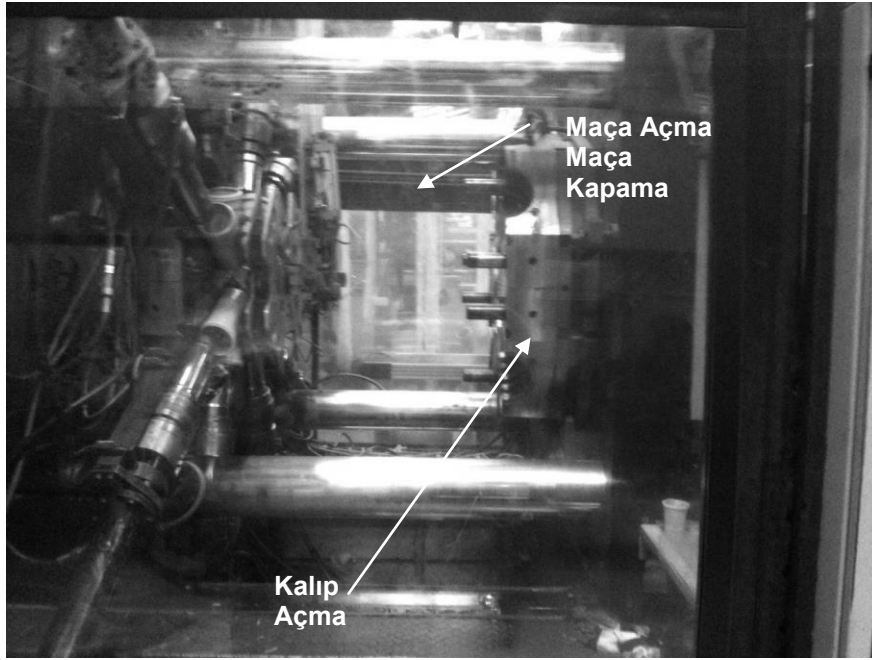
- Tsai, Kuo M., Chung Y. Hsieh., Wei C. Lo. : "A Study of the Effects of Process Parameters for Injection Molding on Surface Quality of Optical Lenses" , **Journal of Materials Processing Technology**, C.209, 2009, s.3469-3477.
- Turaçlı, Hasan. : **Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri**, 2. bs., Pagev Yayınları, İstanbul, 2003.
- Valentine, Patrick. : "Using the Plackett Burman Family of Designed Experiments for Troubleshooting Process Controls" , **Technically Speaking, Metal Finishing**, 2012, s.16-21.
- Wang, Bo, Robert G. McLeod, John F. Brewster.: "A note on the Selection of Optimal Foldover Plans for 16 and 32 Run Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference**, C:140, 2010, s.1497-1500.
- Wang, Pan, Zhiwei Wang, Zhichao Wu. : "Insights into the Effect of Preparation Variables on Morphology and Performance of Polyacrylonitrile Membranes Using Plackett Burman Design Experiments" **Chemical Engineering Journal**, C:193, 2012, s.50-58.
- Wilmut, Michael, Julie Zhou.: "D-Optimal Minimax Design Criterion for Two-Level Fractional Factorial Designs" , **Journal of Statistical Planning and Inference** C:141, 2011, s.576-587.

- Yang, Jianfeng, Runchu Zhang, Minqian Liu. : "Consrtruction of Fractional Factorial Split-Plot Designs with Weak Minimum Aberration" , **Statistics&Probability Letters**, C:77, 2007, 2007, s. 1567-1573.
- Yang, Jianfeng, Min Q. Liu, Runchu Zhang. : "Some Results on Fractional Factorial Split-Plot Designs with Multi-Level Factors" , **Communications in Statistics-Theory and Methods**, C:38, 2009, s.3623-3633.
- Yoon, Jeoungseok. : "Application of Experimental Design and Potimization to PFC Model Calibration in Uniaxial Compression Simulation" , **Rock Mechanics and Mining Sciences**, C:44, 2007, s.871-889.
- Yu, Chen U., Chi C. Hu, Allen Bai, Yong F. Yang. : "Pore-size Dependence of AAO Films on Surface Roughness of Al-1050 Sheets Controlled by Electropolishing Coupled with Fractional Factorial Desgin" , **Surface&Coatings Technology**, C:201, 2007, s.7259-7265.
- Yumiba, Hiromu, Yoshifumi Hyodo.: "Characterization of Balanced Fractional 3^m Factorial Designs of Resolution III " , **Communications in Statistics-Theory and Methods**, C:40, 2011, s.2074-2080.

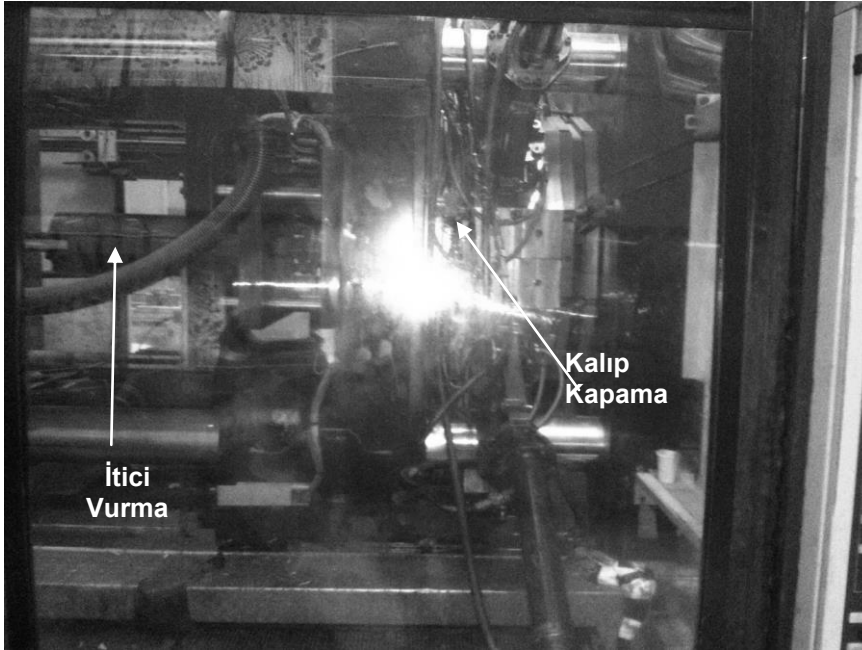
- Zeaiter, Magida, Wendy Knight, Simon Holland. : "Multivariate Regression Modeling for Monitoring Quality of Injection Moulding Components Using Cavity Sensor Technology: Application to the Manufacturing of Pharmaceutical Device Components" , **Journal of Process Control**, C:21, 2011, s.137-150.
- Zeytinoğlu, Filiz Ç. : "Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri için İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırması" , **İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, C:15, 2009, s.73-87.
- Zheng, Rong, Roger I. Tanner., Xi J. Fan. : **Injection Molding, Integration of Theory and Modeling Methods**. Springer Heidelberg, ABD., 2011.
- Zhou, Jiangya, Xiaojuan Yu, Cong Ding, Zhiping Wang, Qianqian Zhou, Hao Pao, Weimin Cai. : "Optimization of Phenol Degradation by Candida Tropicalis Z-04 Usign Plackett Burman Design and Response Surface Methodology" , **Journal of Environmental Sciences**, 2011, C:23, s.22-30.
- Zhu, Zhen, Fengge Zhang, Zong Wei, Wei Ran, Qirong Shen. : "The Usage of Rice Straw as a Major Substrate for the Production of Surfactin by Bacillus Amyloliquefaciens XZ-173 in Solid State Fermentation" , **Journal of Enviromental Management**, C:127, 2013, s.96-102.

EKLER

Ek-1 PVC Tesisat Borusu Ek Parça Üretim Bölümünden Makine, Yarımamül ve Mamül Fotoğrafları



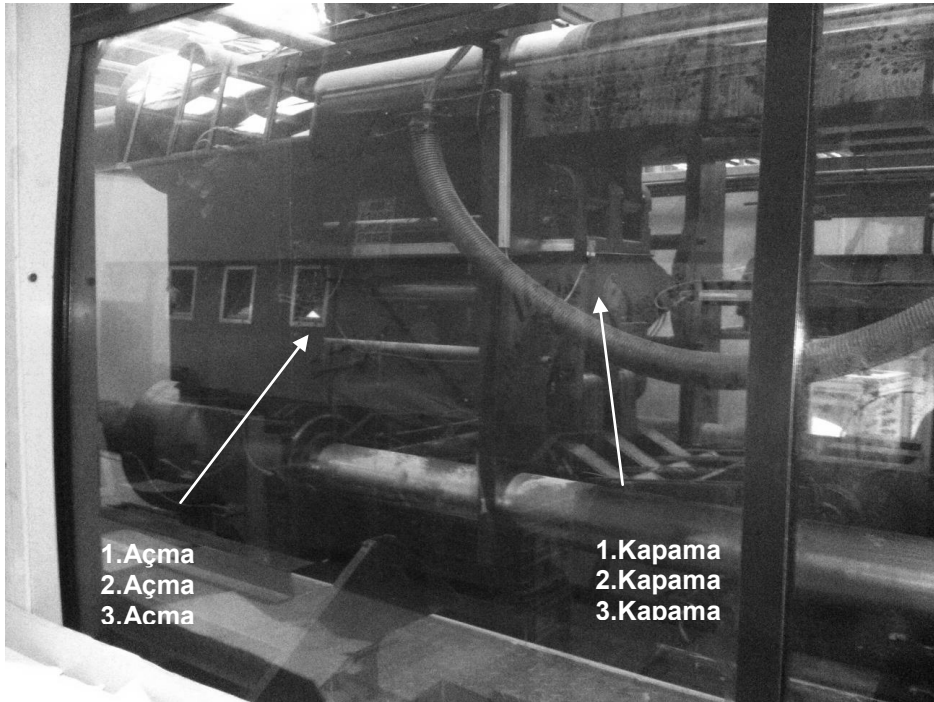
Fotoğraf 1



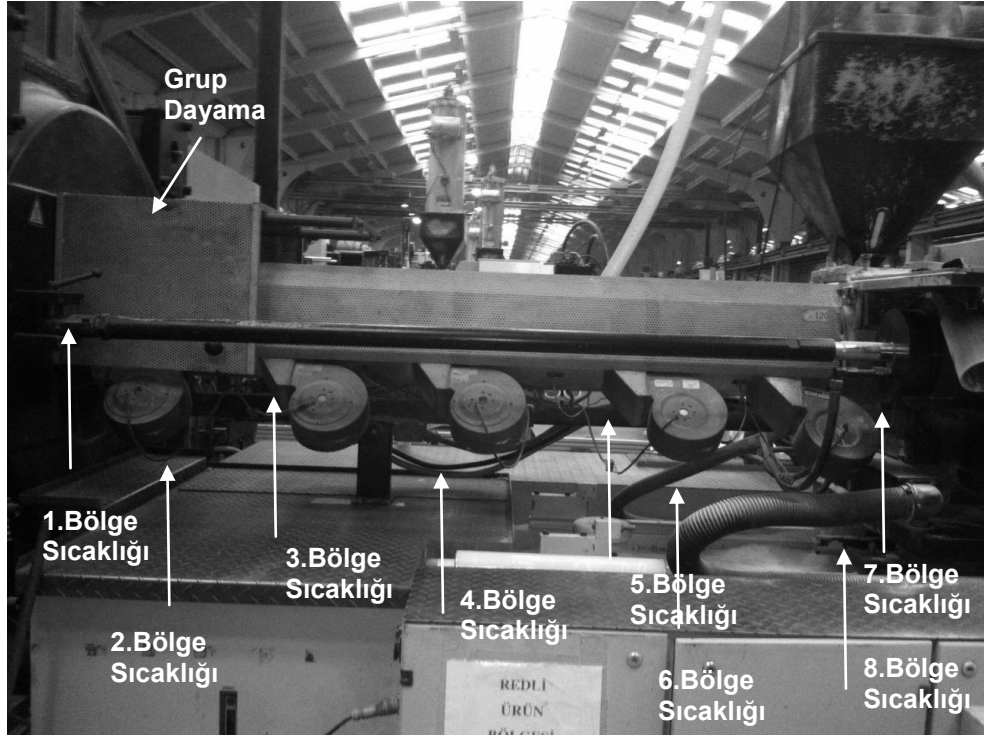
Fotoğraf 2



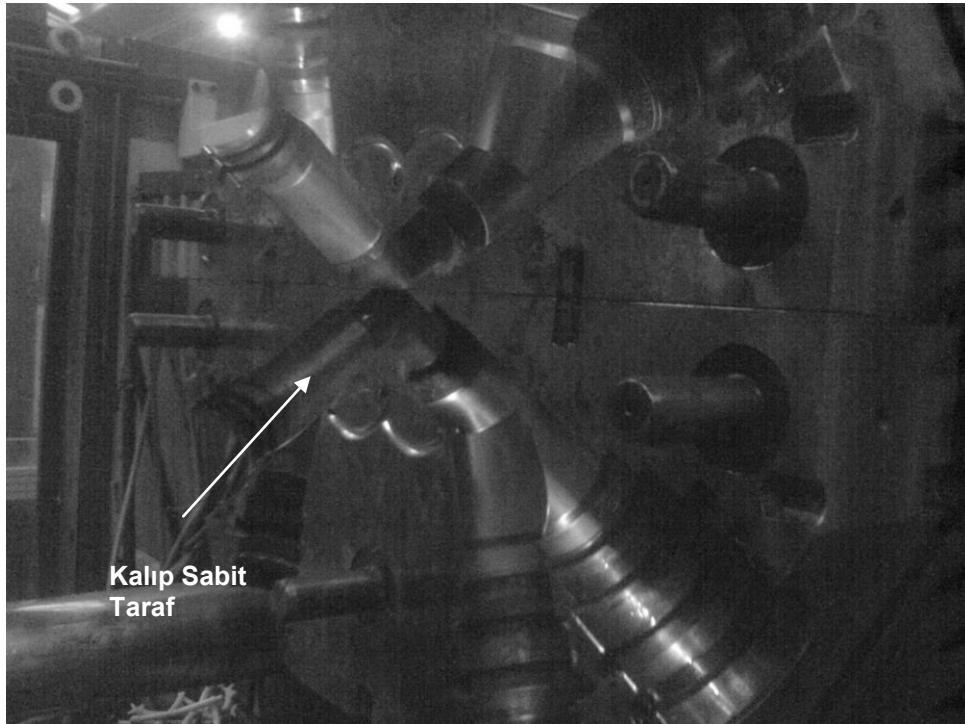
Fotoğraf 3



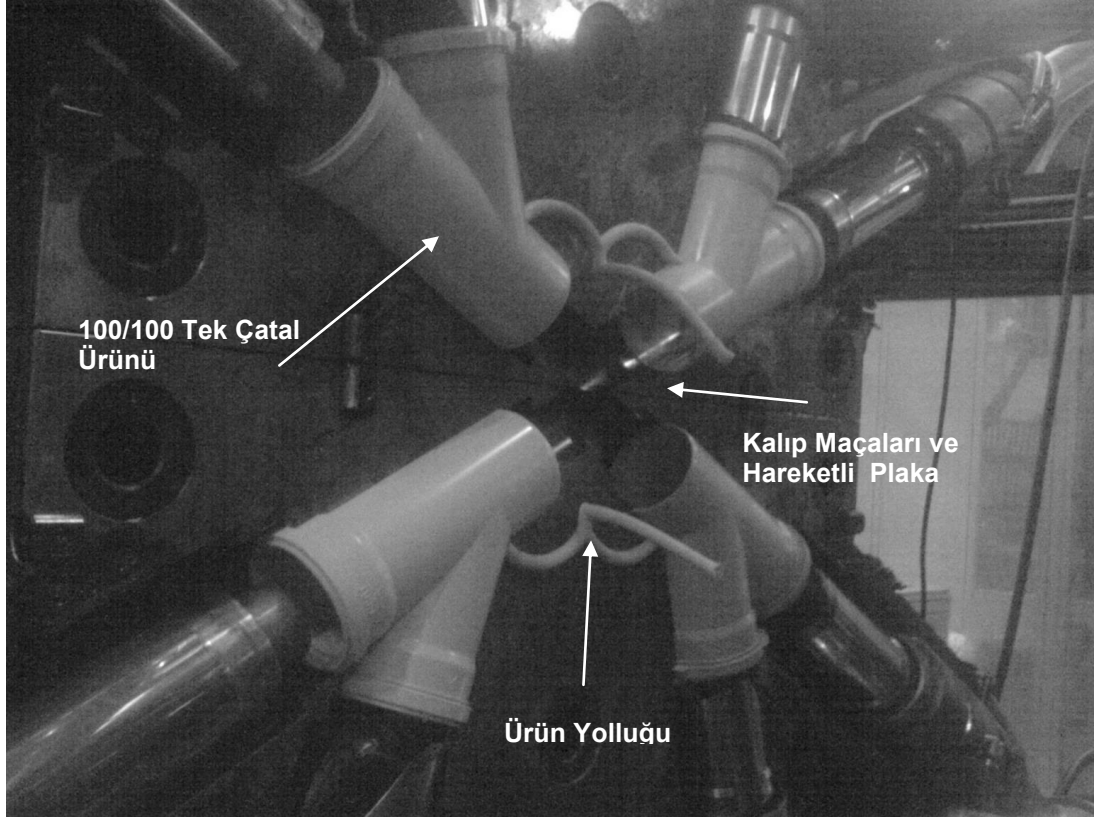
Fotoğraf 4



Fotoğraf 5

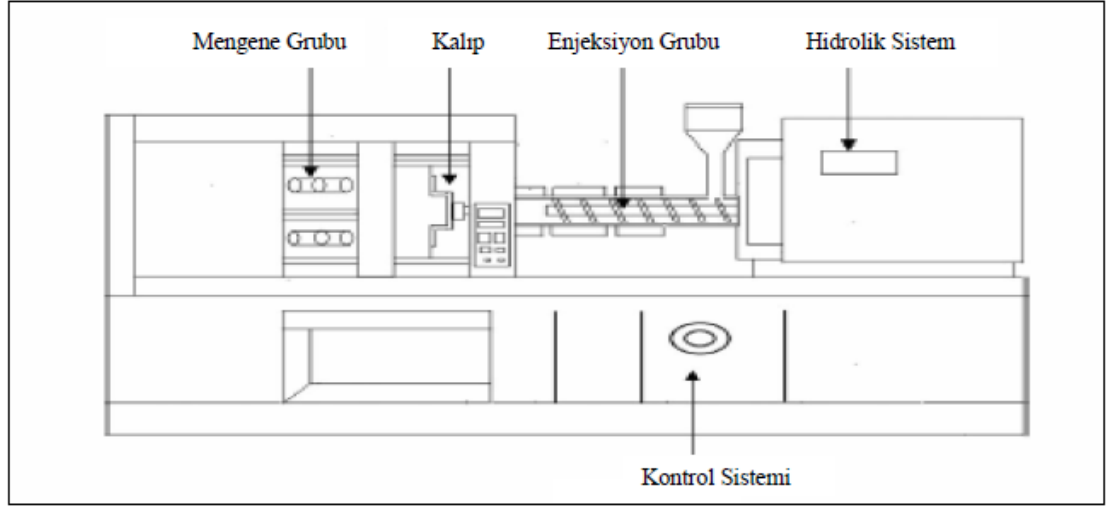


Fotoğraf 6

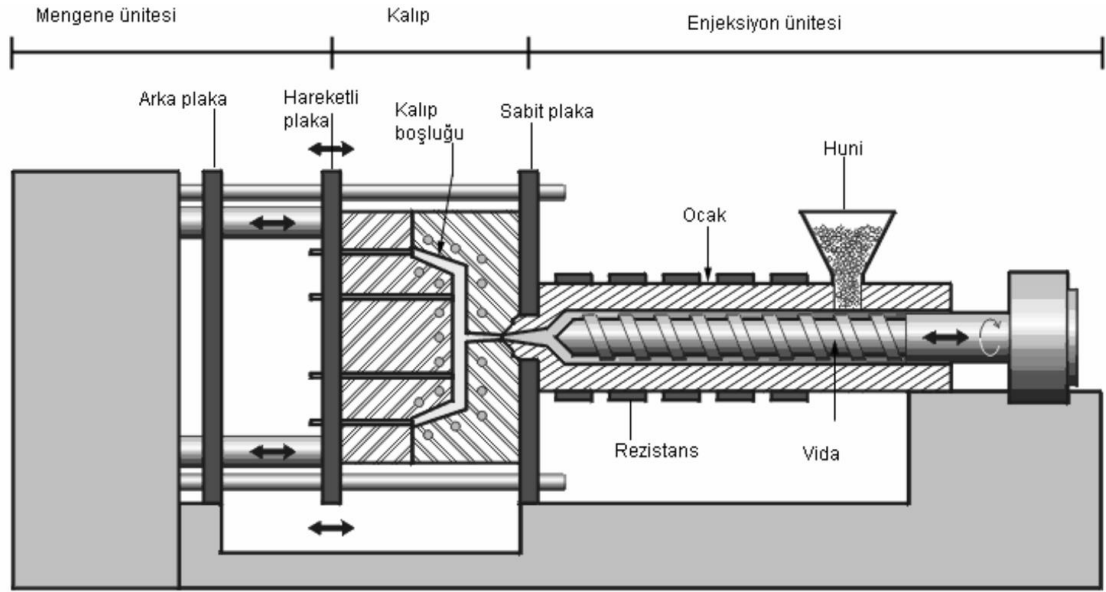


Fotoğraf 7

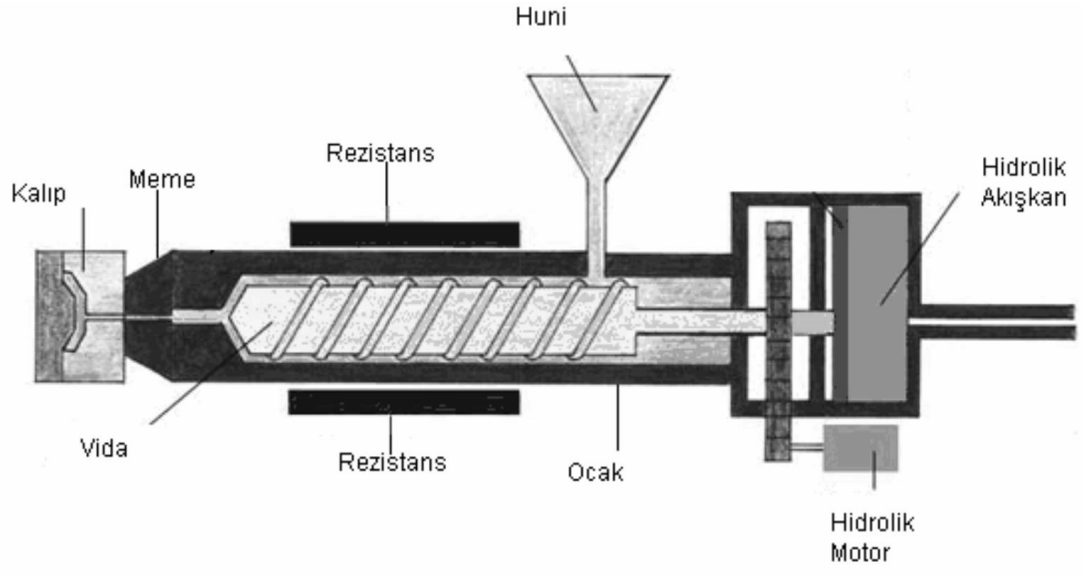
Ek-2 Enjeksiyon Makine ve Kalıpları İle İlgili Bilgiler



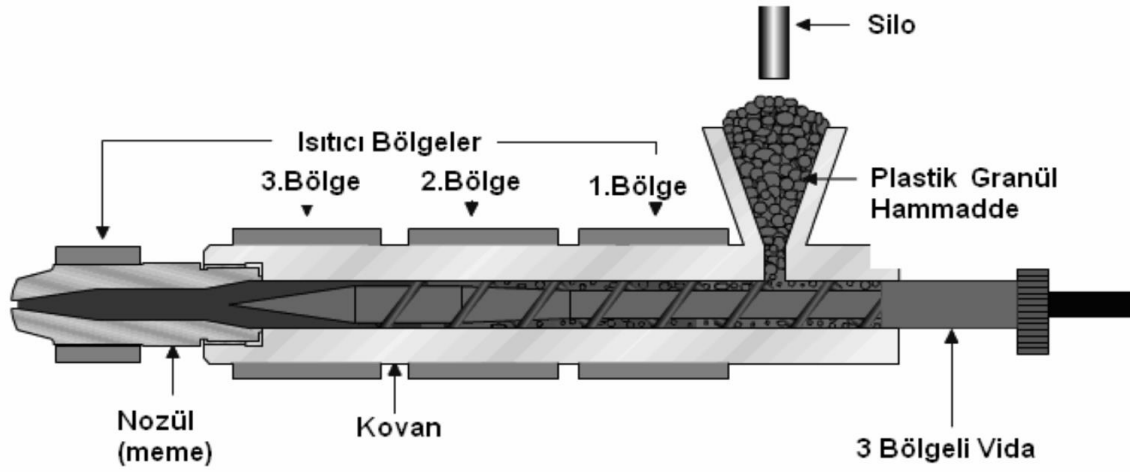
Şekil 1 Enjeksiyon Sistemi Genel Görüntüsü



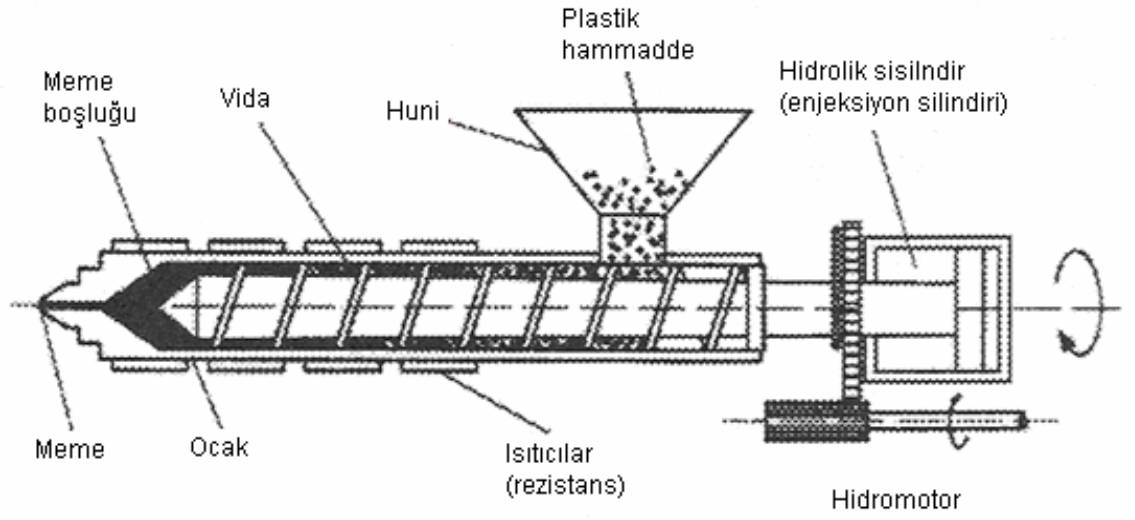
Şekil 2 Enjeksiyon Makinesinin Üniteleri



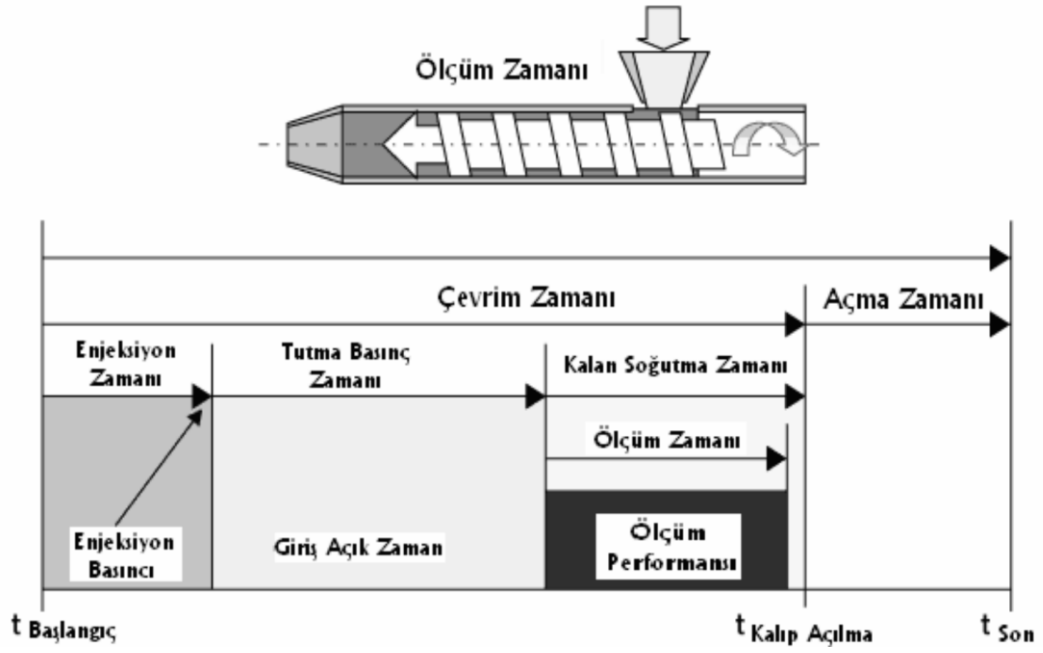
Şekil 3 Enjeksiyon Ünitesinin Elemanları



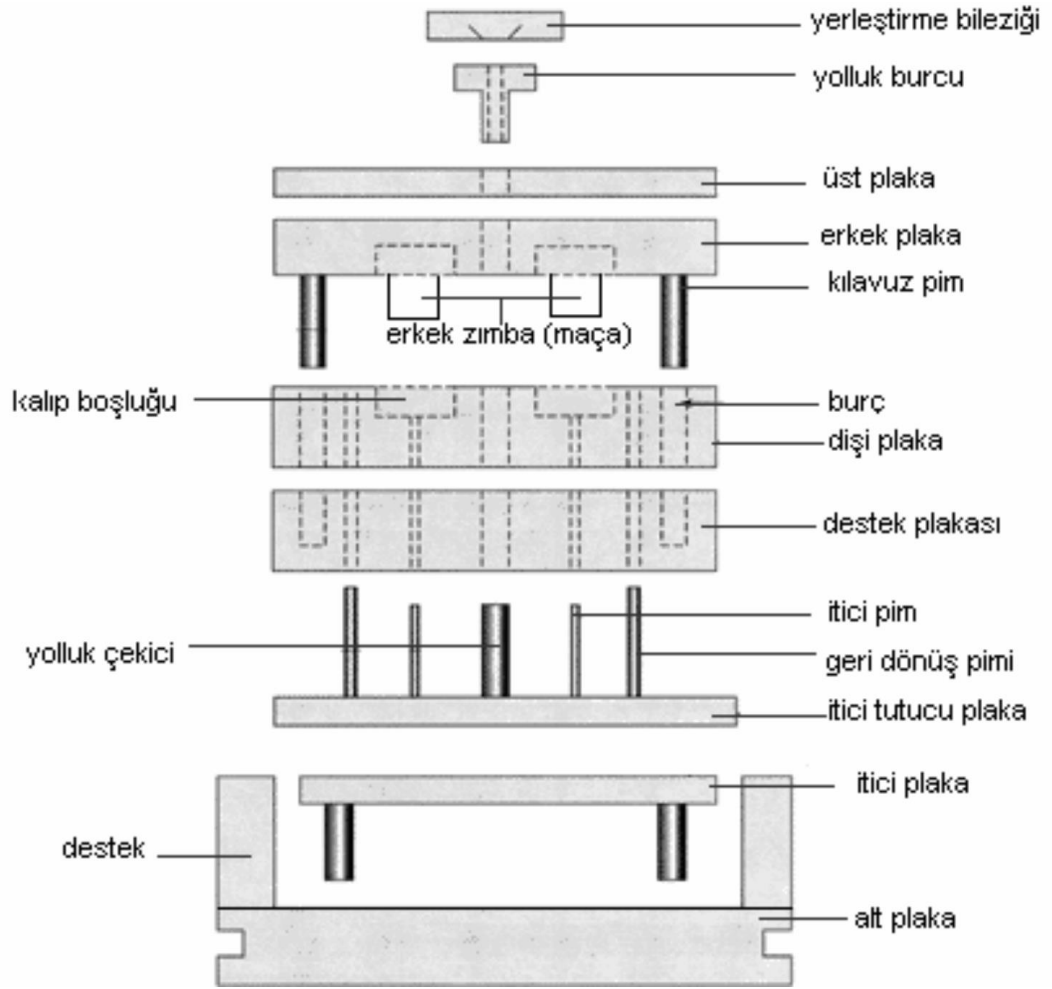
Şekil 4 Vida-Kovan ve Isı Bölgeleri



Şekil 5 Motor, Silindir ve Hammadde Bölgeleri

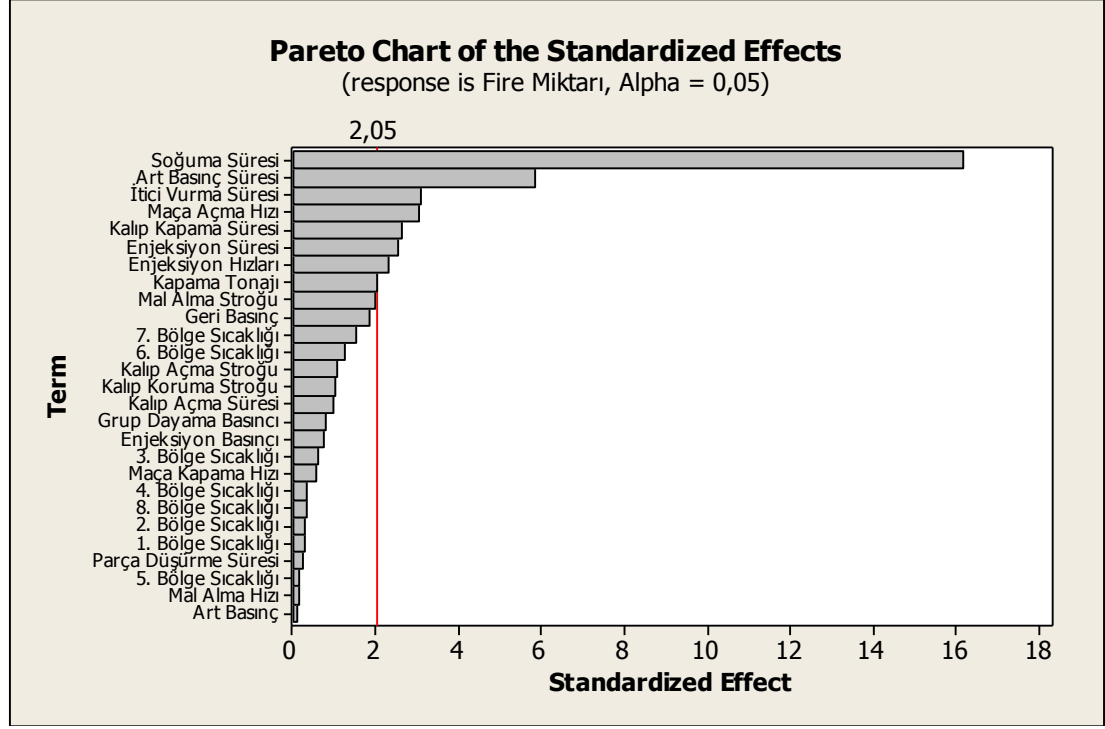


Şekil 6 Enjeksiyon Prosesinde Gerçekleşen İşlem Sürelerinin Gösterimi

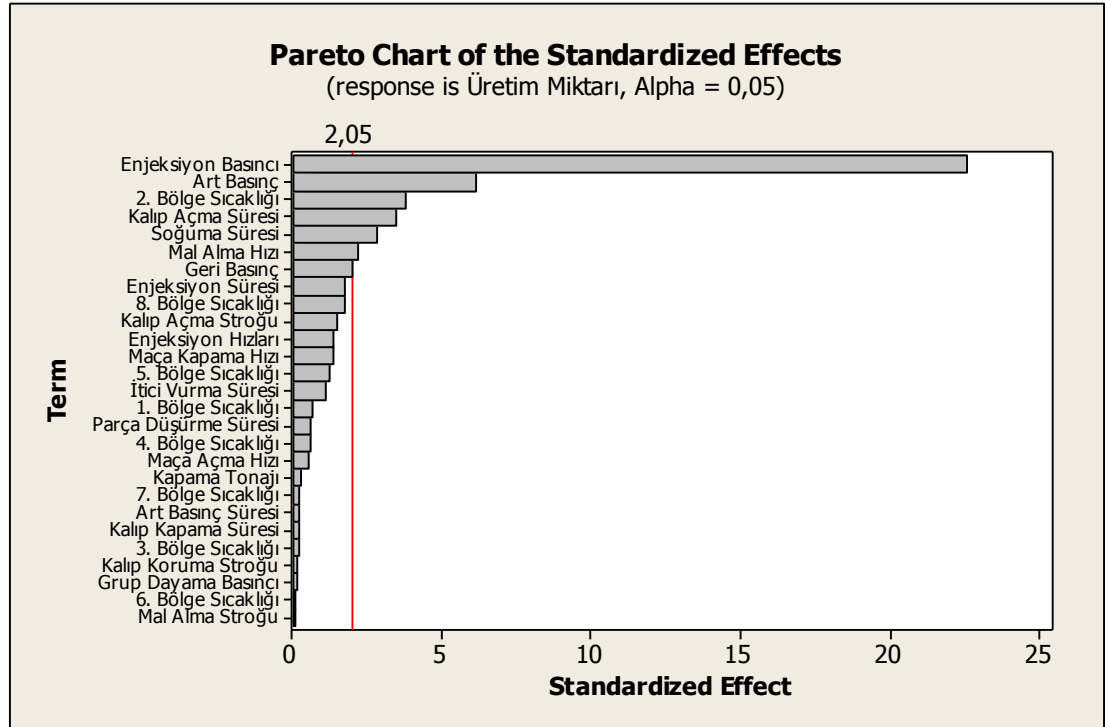


Şekil 7 Enjeksiyon Kalıp Çizimi

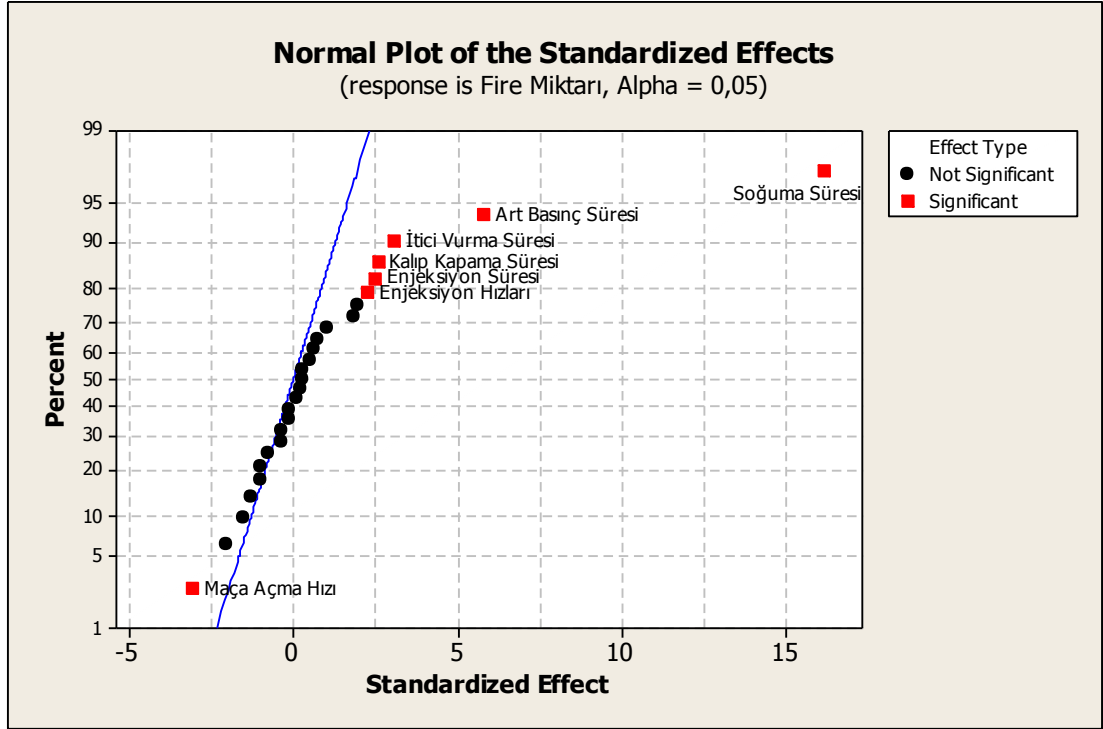
Ek-3 Minitab 16 Programı Sonuç Tabloları



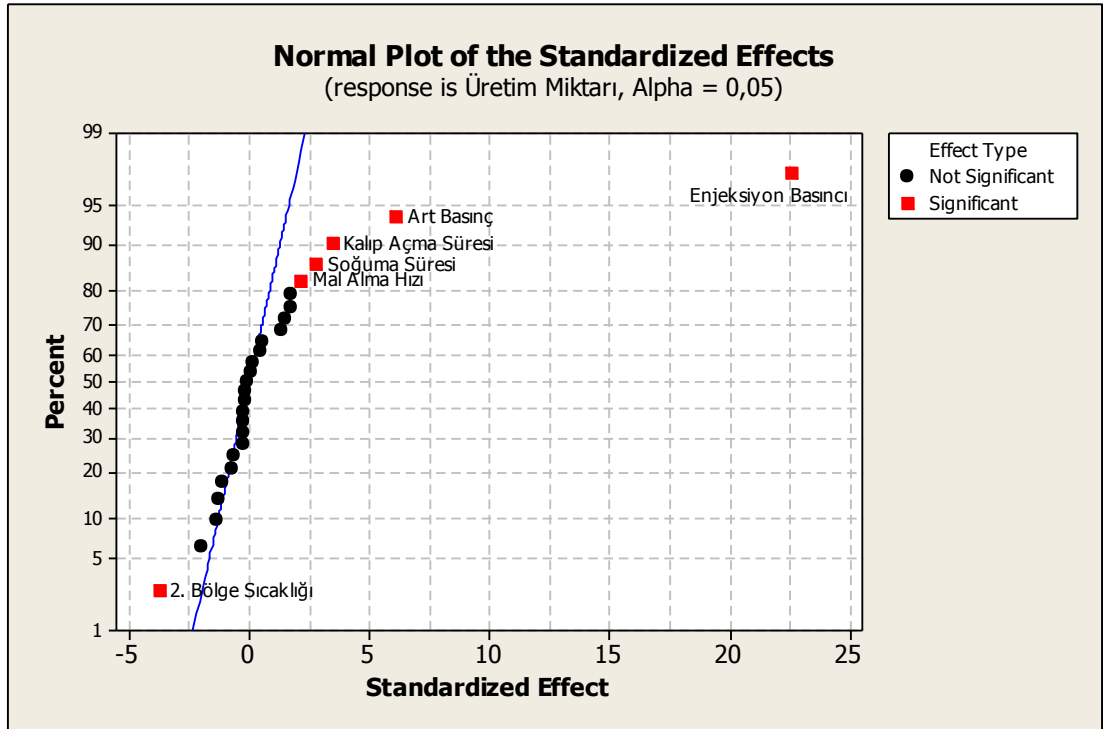
Şekil 1 Fire Miktarı Bağımlı Değişkeninin Pareto Diyagramı



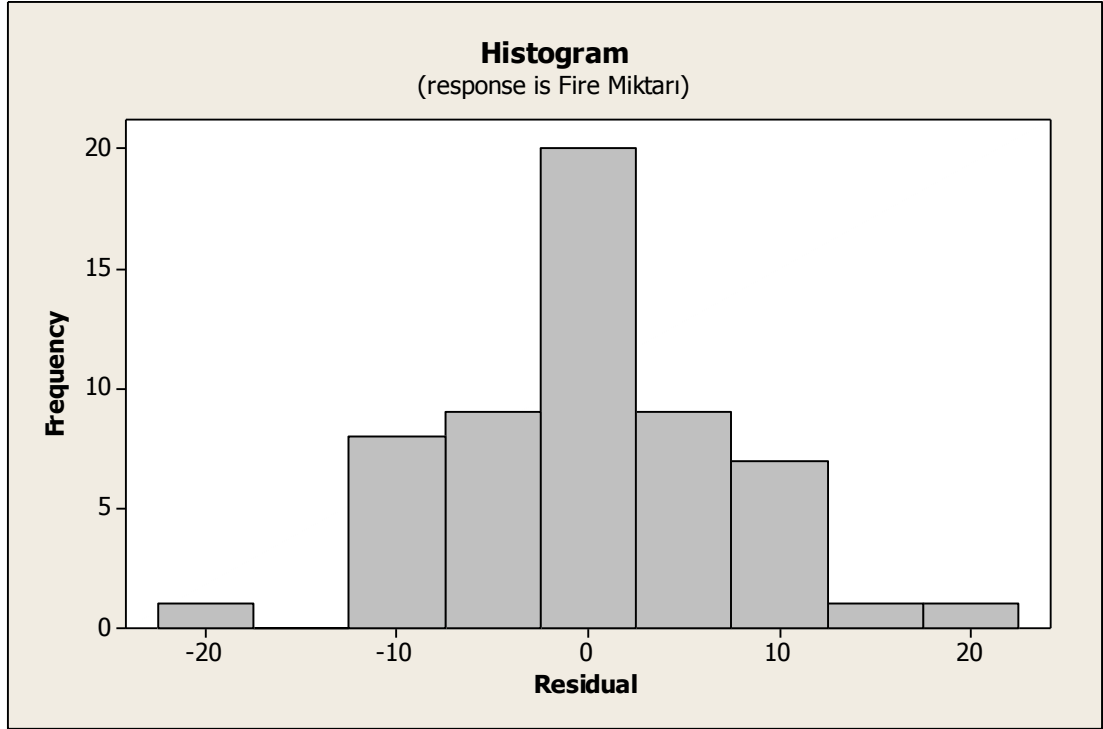
Şekil 2 Üretim Miktarı Bağımlı Değişkeninin Pareto Diyagramı



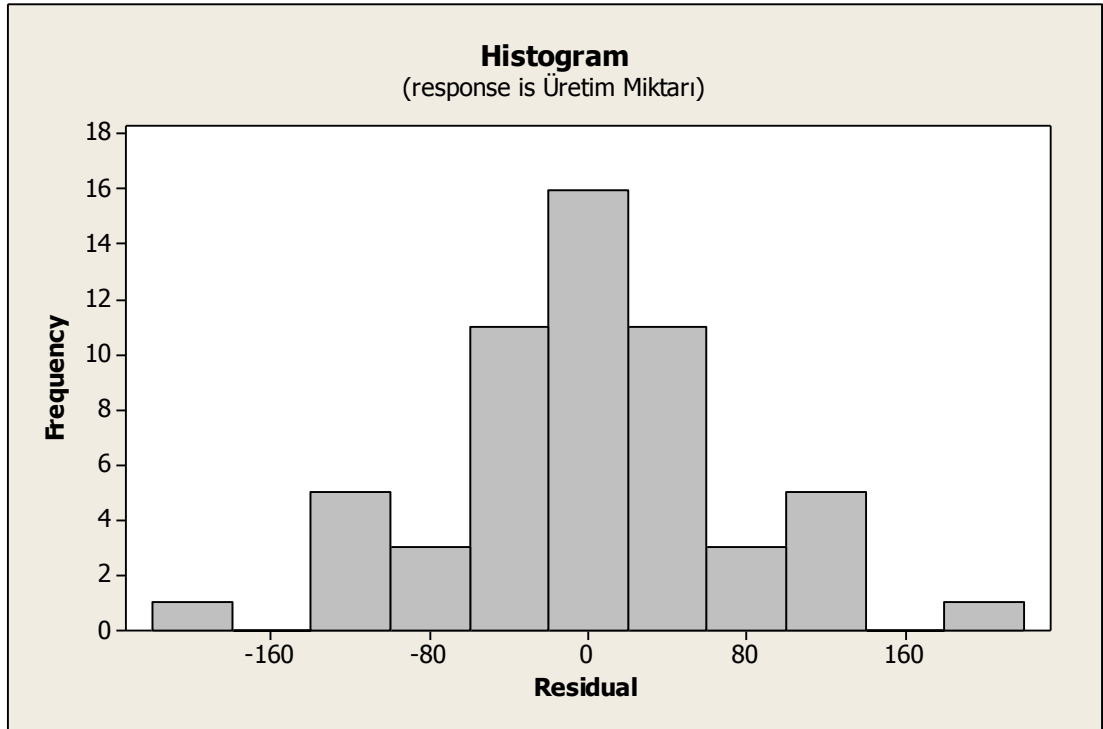
Şekil 3 Fire Miktarı Değişkenine Ait Logaritmik Grafiği



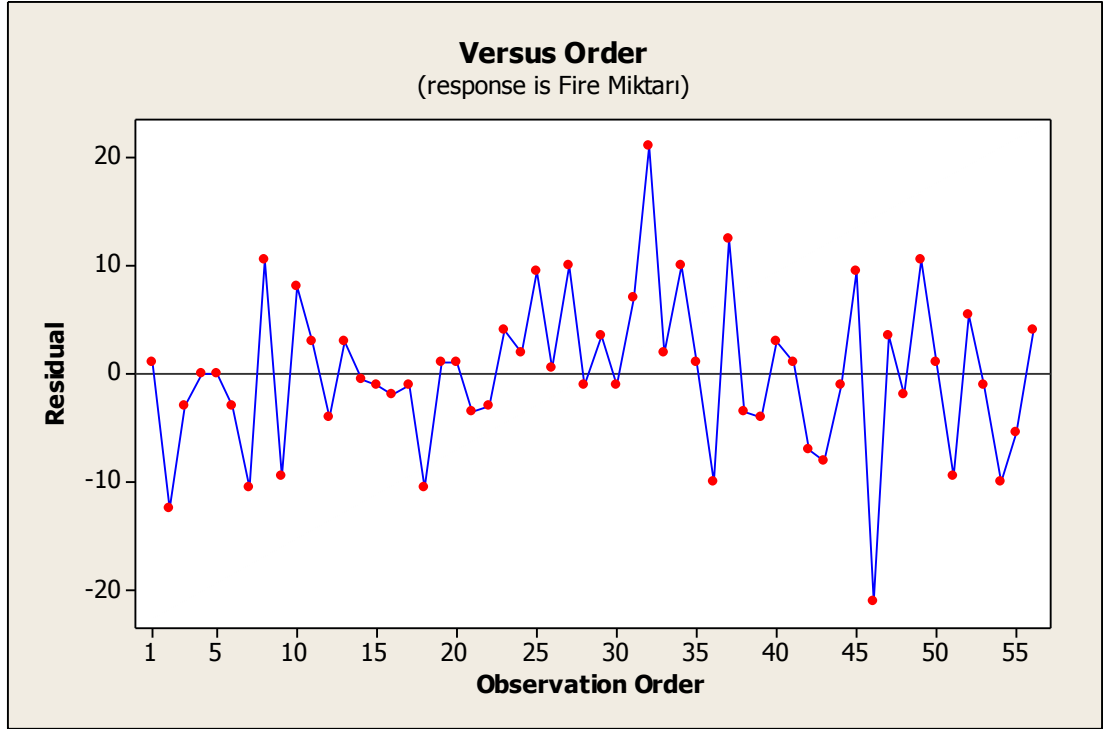
Şekil 4 Üretim Miktarı Değişkenine Ait Logaritmik Grafiği



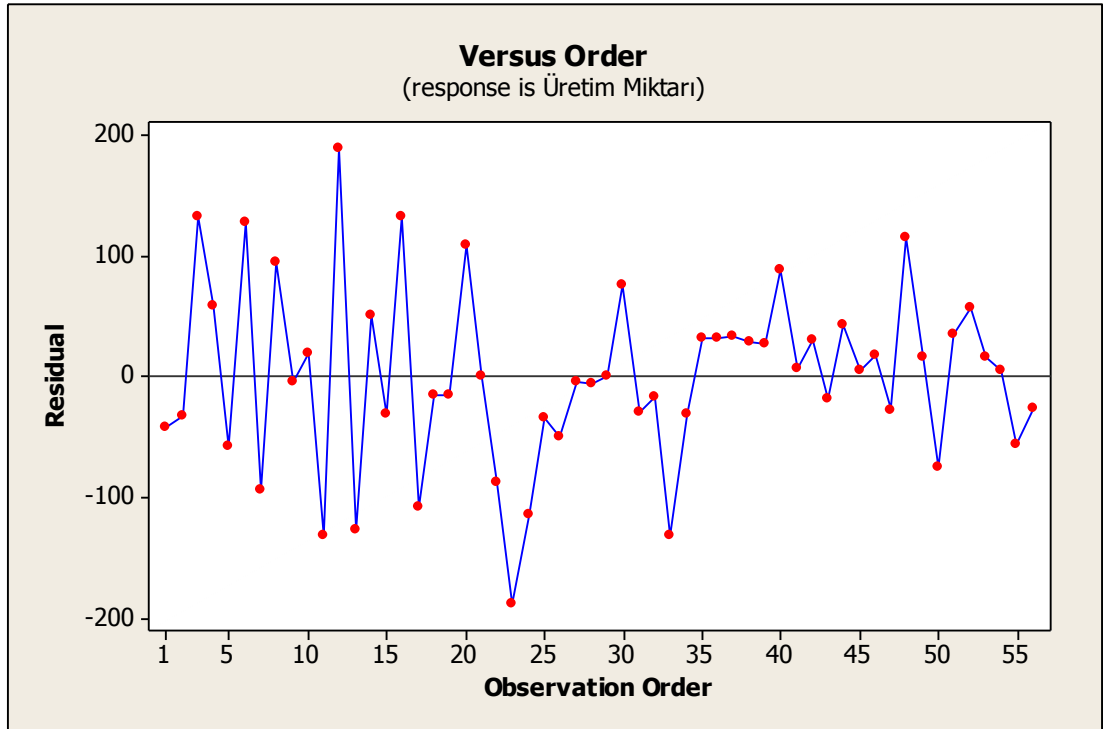
Şekil 5 Fire Miktarı Değişkenine Ait Kalıntı Histogram Grafiği



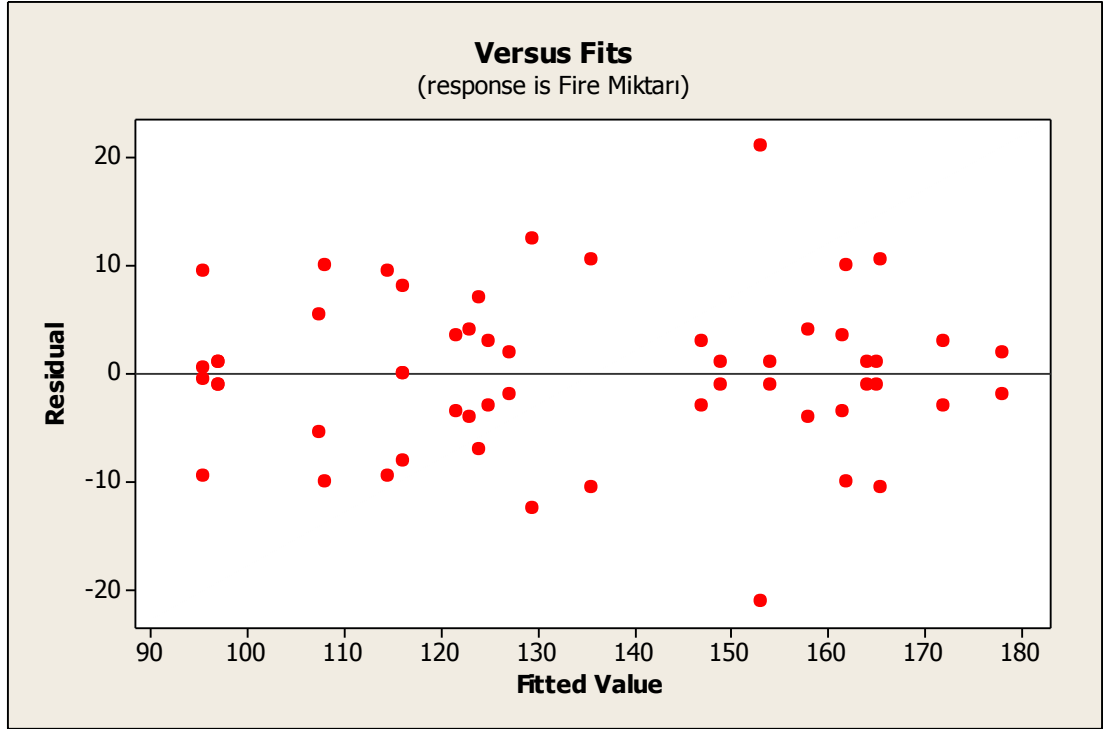
Şekil 6 Üretim Miktarı Değişkenine Ait Kalıntı Histogram Grafiği



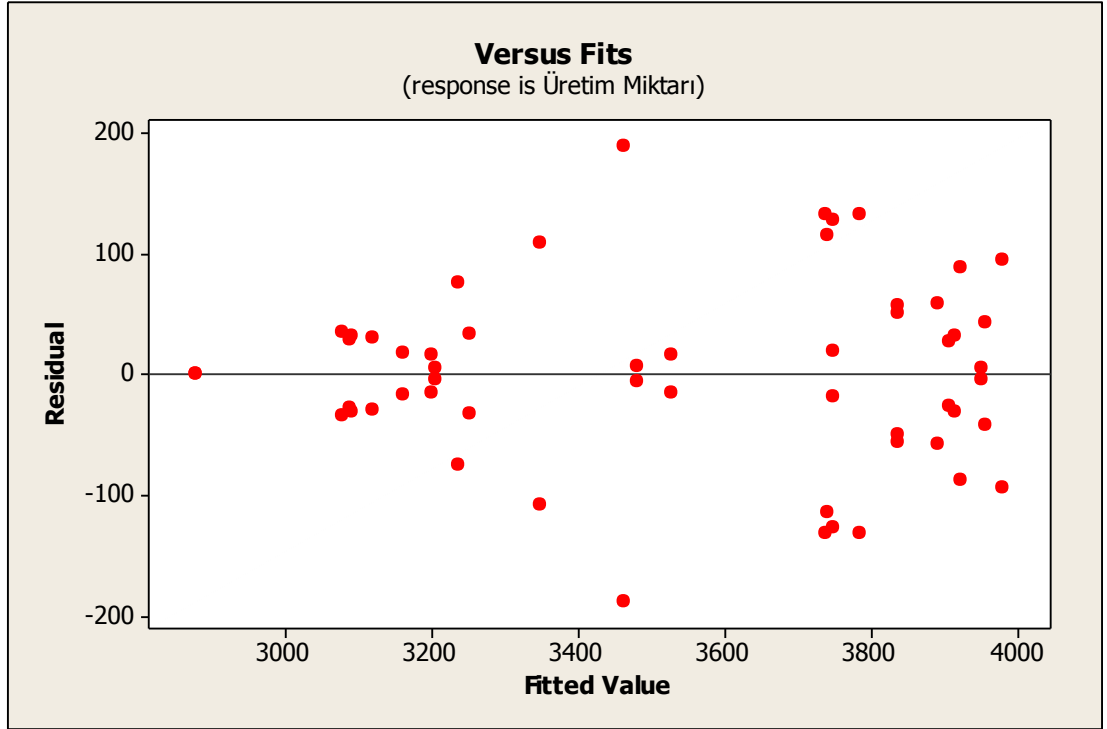
Şekil 7 Fire Miktarı Değişkenine Ait Kalıntı Grafiği



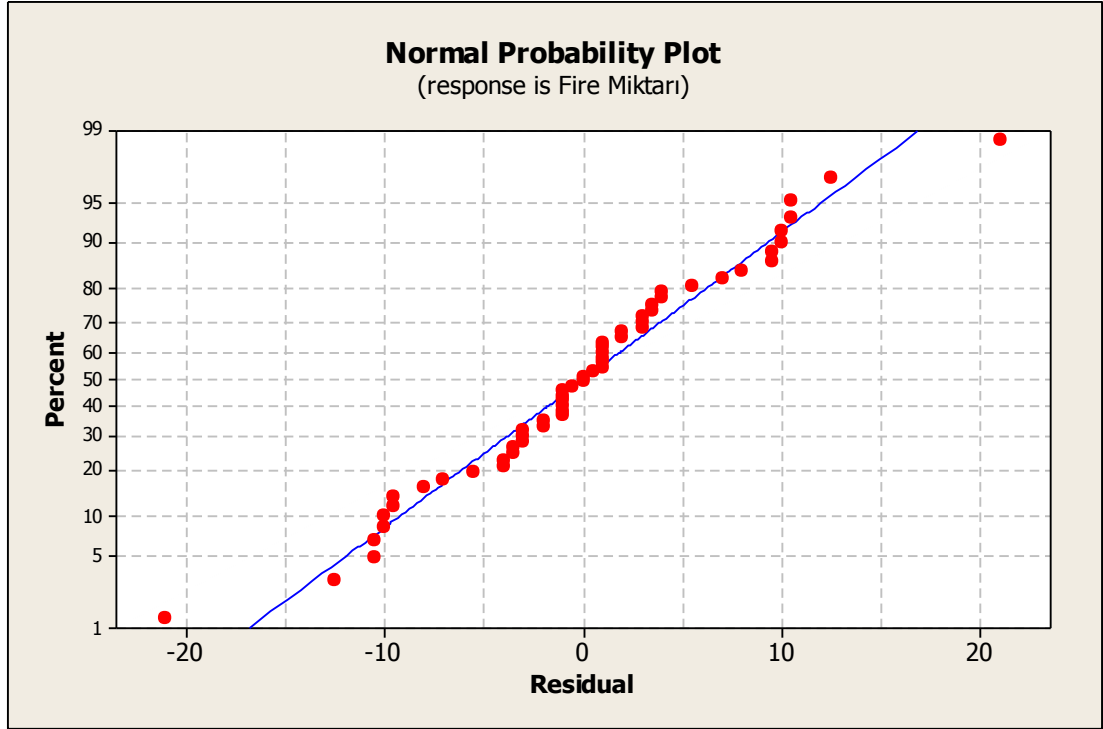
Şekil 8 Üretim Miktarı Değişkenine Ait Kalıntı Grafiği



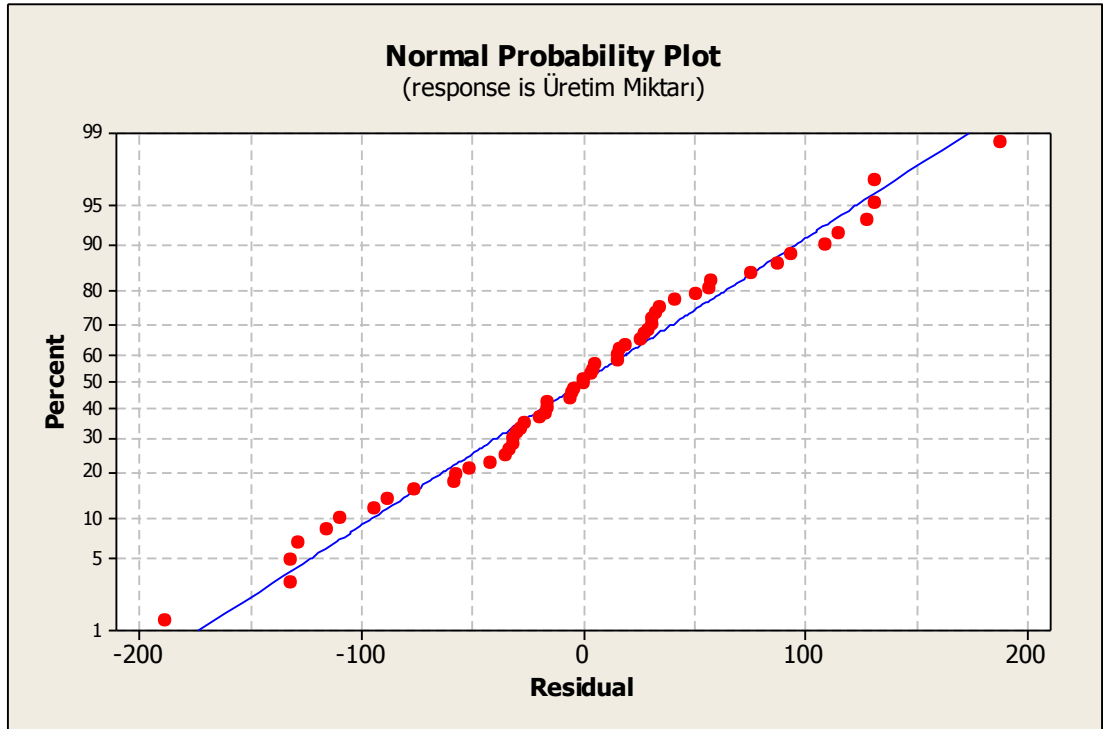
Şekil 9 Fire Adedi Değişkenine Ait Kalıntı Yayılım Analizi



Şekil 10 Üretim Miktarı Değişkenine Kalıntı Yayılım Analizi



Şekil 11 Fire Adedi Değişkenine Ait Kalıntıların Normal Olasılık Grafiği



Şekil 12 Fire Adedi Değişkenine Ait Kalıntıların Normal Olasılık Grafiği

Optimal D 0,99998	High Cur	Soğuma S	Enjeksiy	Art Bası	Parça Dü	İtici Vu	Kalıp Ka	Kalıp Aç	Grup Day	Maça Açm
		48,0	6,0	3,0	6,0	12,0	12,0	4,50	100,0	50,0
		[44,0312]	[5,0264]	[2,0383]	[4,0023]	[11,0149]	[10,5124]	[3,8283]	[80,0002]	[49,9982]
	Low	44,0	5,0	2,0	4,0	11,0	10,50	3,80	80,0	40,0
Composite Desirability 0,99998										
Fire Mik Targ: 85,0 y = 84,9983 d = 0,99998										
Üretim M Targ: 4000,0 y = 3999,9811 d = 0,99998										

Şekil 13 Fire Adedi ve Üretim Miktarı Değişkenleri İçin Optimizasyon Tablosu

Tablo 14 Deney Planı

<i>Soğuma Süresi</i>	<i>Enjeksiyon Süresi</i>	<i>Art Basınç Süresi</i>	<i>Parça Dışırme Süresi</i>	<i>İlci Vurma Süresi</i>	<i>Kalp Kapama Süresi</i>	<i>Kalp Açma Süresi</i>	<i>Grup Dayama Basınç</i>	<i>Maça Açma Hızı</i>	<i>Maça Kapama Hızı</i>	<i>Enjeksiyon Basıncı</i>	<i>Geri Basınç</i>	<i>Art Basınç</i>	<i>Kapama Tonajı</i>	<i>Mal Alma Stroğu</i>	<i>Kalp Açma Stroğu</i>	<i>Kalp Koruma Stroğu</i>	<i>Enjeksiyon Hızları</i>	<i>Mal Alma Hızı</i>	<i>1. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>2. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>3. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>4. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>5. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>6. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>7. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>8. Bölge Sıcaklığı</i>	<i>Fire Miktarı</i>	<i>Üretim Miktarı</i>
48	6	2	6	12	10,5	3,8	100	50	55	140	17	75	6900	204	970	100	30	65	187	185	193	181	179	177	170	180	155	3914
44	5	3	4	11	12	3,8	100	40	55	120	17	85	6900	210	970	100	30	65	197	195	183	181	179	187	170	180	117	3220
48	5	3	6	11	12	4,5	100	40	55	140	17	75	6900	204	970	90	35	60	187	195	183	181	189	177	180	170	169	3870
44	6	2	4	11	12	3,8	80	50	55	140	13	85	6900	210	970	90	35	65	187	195	193	191	189	177	170	170	116	3950
44	6	2	4	11	12	3,8	80	50	55	140	13	85	6900	210	970	90	35	65	187	195	193	191	189	177	170	170	116	3834
48	6	3	4	11	10,5	3,8	100	50	45	140	13	75	8500	204	970	90	30	60	197	195	183	191	189	187	170	180	144	3876
48	5	2	4	11	12	4,5	80	40	55	140	13	75	8500	210	970	100	30	60	187	185	193	191	179	187	180	180	125	3885
48	5	2	4	11	12	4,5	80	40	55	140	13	75	8500	210	970	100	30	60	187	185	193	191	179	187	180	180	146	4072
44	5	3	4	12	10,5	3,8	80	50	55	120	17	85	8500	204	970	90	35	60	187	185	193	181	189	187	180	180	105	3202
44	6	2	4	12	10,5	4,5	80	40	45	140	17	75	8500	210	970	90	35	65	197	195	183	181	179	177	180	180	124	3768
48	5	3	6	11	12	4,5	100	40	55	140	17	75	6900	204	970	90	35	60	187	195	183	181	189	177	180	170	175	3606
48	6	2	4	12	12	4,5	100	40	45	120	13	85	8500	204	970	100	35	65	187	185	183	181	189	187	170	170	154	3652
48	6	3	4	11	10,5	3,8	100	50	45	140	13	75	8500	204	970	90	30	60	197	195	183	191	189	187	170	180	150	3620
44	5	2	4	12	12	4,5	100	50	45	140	13	85	6900	204	930	100	30	60	197	195	193	181	189	177	180	180	95	3888
44	5	2	6	11	12	4,5	100	50	45	120	17	75	8500	204	930	90	35	65	187	195	193	191	179	187	170	180	96	3060
48	5	3	6	12	12	3,8	80	40	45	140	13	75	6900	210	930	90	35	65	197	185	193	181	189	187	170	180	176	3918
48	5	3	6	12	10,5	4,5	80	50	45	120	13	85	6900	210	970	100	35	60	187	195	183	191	179	177	170	180	163	3240
48	6	3	4	11	10,5	4,5	100	40	55	120	13	85	6900	204	930	90	35	65	197	185	193	191	179	177	180	180	155	3512
48	6	2	6	12	12	3,8	80	40	45	120	17	85	6900	204	970	90	30	60	197	195	193	191	179	187	180	170	166	3186
48	5	3	6	12	10,5	4,5	80	50	45	120	13	85	6900	210	970	100	35	60	187	195	183	191	179	177	170	180	165	3458
48	5	2	4	12	10,5	3,8	100	40	55	120	17	75	8500	210	930	100	35	60	197	195	193	191	189	177	170	170	158	2880
44	6	3	6	12	10,5	4,5	100	40	55	140	13	85	8500	210	930	90	30	60	187	195	193	181	179	187	170	170	122	3834
48	6	2	4	12	12	4,5	100	40	45	120	13	85	8500	204	970	100	35	65	187	185	183	181	189	187	170	170	162	3276
44	6	3	4	12	12	4,5	80	50	55	140	17	75	6900	204	930	100	35	60	197	185	183	191	179	187	170	170	129	3626
44	5	2	4	11	10,5	3,8	80	40	45	120	13	75	6900	204	930	90	30	60	187	185	183	181	179	177	170	170	105	3045
44	5	2	4	12	12	4,5	100	50	45	140	13	85	6900	204	930	100	30	60	197	195	193	181	189	177	180	180	96	3786
44	5	3	6	11	10,5	4,5	80	40	45	140	17	85	8500	204	970	100	30	65	197	185	193	191	189	177	170	170	118	3946
48	6	2	6	11	12	4,5	80	50	55	120	17	85	8500	210	930	90	30	60	197	185	183	181	189	177	170	180	148	3476
48	5	2	4	12	10,5	3,8	100	40	55	120	17	75	8500	210	930	100	35	60	197	195	193	191	189	177	170	170	165	2880
44	5	2	6	12	10,5	4,5	100	50	55	120	13	75	6900	210	970	90	30	65	197	185	183	191	189	187	180	170	96	3312
44	6	3	6	11	12	3,8	100	50	45	120	13	75	8500	210	970	100	35	60	197	185	193	181	179	177	180	170	131	3090
48	6	3	4	11	10,5	4,5	80	50	45	120	17	75	6900	210	930	100	30	65	187	195	193	181	189	187	180	170	174	3146
48	5	3	6	12	12	3,8	80	40	45	140	13	75	6900	210	930	90	35	65	197	185	193	181	189	187	170	180	180	3654
48	5	3	4	12	12	3,8	100	50	45	140	17	85	8500	210	930	90	30	65	187	185	183	191	179	177	180	170	172	3884
44	5	2	6	11	12	4,5	100	50	45	120	17	75	8500	204	930	90	35	65	187	195	193	191	179	187	170	180	98	3122
48	5	3	4	12	12	3,8	100	50	45	140	17	85	8500	210	930	90	30	65	187	185	183	191	179	177	180	170	152	3947
44	5	3	4	11	12	3,8	100	40	55	120	17	85	6900	210	970	100	30	65	197	195	183	181	179	187	170	180	142	3286
44	6	3	6	12	12	3,8	80	40	55	120	13	75	8500	204	930	100	30	65	187	195	183	191	189	177	180	180	118	3116
48	5	2	6	11	10,5	3,8	80	50	55	140	13	85	8500	204	930	100	35	65	197	195	183	181	179	187	180	170	119	3934
44	6	3	6	12	10,5	4,5	100	40	55	140	13	85	8500	210	930	90	30	60	187	195	193	181	179	187	170	170	128	4010
48	6	2	6	11	12	4,5	80	50	55	120	17	85	8500	210	930	90	30	60	197	185	183	181	189	177	170	180	150	3488
44	6	3	6	11	12	3,8	100	50	45	120	13	75	8500	210	970	100	35	60	197	185	193	181	179	177	180	170	117	3150
44	6	2	4	12	10,5	4,5	80	40	45	140	17	75	8500	210	970	90	35	65	197	195	183	181	179	177	180	180	108	3730
48	6	2	6	12	10,5	3,8	100	50	55	140	17	75	6900	204	970	100	30	65	187	185	193	181	179	177	170	180	153	3998
44	5	3	4	12	10,5	3,8	80	50	55	120	17	85	8500	204	970	90	35	60	187	185	193	181	189	187	180	180	124	3212
48	6	3	4	11	10,5	4,5	80	50	45	120	17	75	6900	210	930	100	30	65	187	195	193	181	189	187	180	170	132	3180
44	6	3	6	12	12	3,8	80	40	55	120	13	75	8500	204	930	100	30	65	187	195	183	191	189	177	180	180	125	3061
44	6	3	4	12	12	4,5	80	50	55	140	17	75	6900	204	930	100	35	60	197	185	183	191	179	187	170	170	125	3856
48	6	3	4	11	10,5	4,5	100	40	55	120	13	85	6900	204	930	90	35	65	197	185	193	191	179	177	180	180	176	3543
44	5	2	6	12	10,5	4,5	100	50	55	120	13	75	6900	210	970	90	30	65	197	185	183	191	189	187	180	170	98	3160
44	5	2	4	11	10,5	3,8	80	40	45	120	13	75	6900	204	930	90	30	60	187	185	183	181	179	177	170	170	86	3114
44	6	2	6	11	10,5	3,8	100	40	45	140	17	85	6900	210	930	100	35	60	187	185	183	191	189	187	180	180	113	3894
48	6	2	6	12	12	3,8	80	40	45	120	17	85	6900	204	970	90	30	60	197	195	193	191	179	187	180	170	164	3218
44	5																											

Tablo 15 Deney Sonuçları

<i>Sid</i> Order	<i>Run</i> Order	<i>P</i> Type	<i>Blocks</i>	<i>Sog</i> uma Süresi	<i>Enj</i> eksiyon Süresi	<i>Art</i> Basınç Süresi	<i>Par</i> ça Düşürme Süresi	<i>İtici</i> Vurma Süresi	<i>Kalıp</i> Kapatma Süresi	<i>Kalıp</i> Açma Süresi	<i>Grup</i> Dayanma Basınç	<i>Maça</i> Açma Hızı	<i>Maça</i> Kapatma Hızı	<i>Enj</i> eksiyon Basıncı	<i>Geri</i> Basınç	<i>Art</i> Basınç	<i>Kapama</i> Tonajı	<i>Mal</i> Alma Stroğu	<i>Kalıp</i> Açma Stroğu	<i>Kalıp</i> Korumu Stroğu	<i>Enj</i> eksiyon Hızları	<i>Mal</i> Alma Hızı	<i>1. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>2. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>3. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>4. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>5. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>6. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>7. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>8. Bölge</i> Sıcaklığı	<i>Fire</i> Miktarı	<i>Üretim</i> Miktarı	<i>FTS1</i>	<i>FTS2</i>	<i>RES1</i>	<i>RES2</i>	<i>SRES1</i>	<i>SRES2</i>	<i>TRES1</i>	<i>TRES2</i>	<i>EFFE1</i>	<i>EFFE2</i>	<i>COEF1</i>	<i>COEF2</i>	<i>FACT1</i>	<i>FACT2</i>
45	1	1	1	48	6	2	6	12	10,5	3,8	100	50	55	140	17	75	6900	204	970	100	30	65	187	185	193	181	179	177	170	180	155	3914	154,00	3.956,00	1,00	-42,00	0,139	-0,569	0,137	-0,562	43,821	78,179	134,339	3.539,304	27,00	27,00
53	2	1	1	44	5	3	4	11	12	3,8	100	40	55	120	17	85	6900	210	970	100	30	65	197	195	183	181	179	187	170	180	117	3220	129,50	3.253,00	-12,50	-33,00	-1,743	-0,447	-1,813	-0,440	6,821	48,821	21,911	39,089	1,00	1,00
44	3	1	1	48	5	3	6	11	12	4,5	100	40	55	140	17	75	6900	204	970	90	35	60	187	195	183	181	189	177	180	170	169	3870	172,00	3.738,00	-3,00	132,00	-0,418	1,787	-0,412	1,865	15,750	-5,964	3,411	24,411	0,00	0,00
19	4	1	1	44	6	2	4	11	12	3,8	80	50	55	140	13	85	6900	210	970	90	35	65	187	195	193	191	189	177	170	170	116	3950	116,00	3.892,00	0,00	58,00	0,000	0,785	0,000	0,780	0,607	16,464	7,875	-2,982	0,00	0,00
47	5	1	1	44	6	2	4	11	12	3,8	80	50	55	140	13	85	6900	210	970	90	35	65	187	195	193	191	189	177	170	170	116	3834	116,00	3.892,00	0,00	-58,00	0,000	-0,785	0,000	-0,780	8,321	-31,036	0,304	8,232	0,00	0,00
9	6	1	1	48	6	3	4	11	10,5	3,8	100	50	45	140	13	75	8500	204	970	90	30	60	197	195	183	191	189	187	170	180	144	3876	147,00	3.748,00	-3,00	128,00	-0,418	1,733	-0,412	1,801	7,036	5,464	4,161	-15,518	0,00	0,00
51	7	1	1	48	5	2	4	11	12	4,5	80	40	55	140	13	75	8500	210	970	100	30	60	187	185	193	191	179	187	180	180	125	3885	135,50	3.978,50	-10,50	-93,50	-1,465	-1,266	-1,497	-1,280	-2,607	96,821	3,518	2,732	0,00	0,00
23	8	1	1	48	5	2	4	11	12	4,5	80	40	55	140	13	75	8500	210	970	100	30	60	187	185	193	191	179	187	180	180	146	4072	135,50	3.978,50	10,50	93,50	1,465	1,266	1,497	1,280	2,107	-3,607	-1,304	48,411	5,00	5,00
22	9	1	1	44	5	3	4	12	10,5	3,8	80	50	55	120	17	85	8500	204	970	90	35	60	187	185	193	181	189	187	180	180	105	3202	114,50	3.207,00	-9,50	-5,00	-1,325	-0,068	-1,344	-0,066	-8,250	13,607	1,054	-1,804	6,00	6,00
55	10	1	1	44	6	2	4	12	10,5	4,5	80	40	45	140	17	75	8500	210	970	90	35	65	197	195	183	181	179	177	180	180	124	3768	116,00	3.749,00	8,00	19,00	1,116	0,257	1,121	0,253	1,464	37,036	-4,125	6,804	7,00	7,00
16	11	1	1	48	5	3	6	11	12	4,5	100	40	55	140	17	75	6900	204	970	90	35	60	187	195	183	181	189	177	180	170	175	3606	172,00	3.738,00	3,00	-132,00	0,418	-1,787	0,412	-1,865	-2,036	629,679	0,732	18,518	8,00	8,00
14	12	1	1	48	6	2	4	12	12	4,5	100	40	45	120	13	85	8500	204	970	100	35	65	187	185	183	181	189	187	170	170	154	3652	158,00	3.464,00	-4,00	188,00	-0,558	2,546	-0,551	2,851	5,036	-55,107	-1,018	314,839	9,00	9,00
37	13	1	1	48	6	3	4	11	10,5	3,8	100	50	45	140	13	75	8500	204	970	90	30	60	197	195	183	191	189	187	170	180	150	3620	147,00	3.748,00	3,00	-128,00	0,418	-1,733	0,412	-1,801	0,250	170,821	2,518	-27,554	10,00	10,00
6	14	1	1	44	5	2	4	12	12	4,5	100	50	45	140	13	85	6900	204	930	100	30	60	197	195	193	181	189	177	180	180	95	3888	95,50	3.837,00	-0,50	51,00	-0,070	0,691	-0,068	0,684	-5,536	-6,679	0,125	85,411	11,00	11,00
4	15	1	1	44	5	2	6	11	12	4,5	100	50	45	120	17	75	8500	204	930	90	35	65	187	195	193	191	179	187	170	180	96	3060	97,00	3.091,00	-1,00	-31,00	-0,139	-0,420	-0,137	-0,414	5,321	1,821	-2,768	-3,339	12,00	12,00
29	16	1	1	48	5	3	6	12	12	3,8	80	40	45	140	13	75	6900	210	930	90	35	65	197	185	193	181	189	187	170	180	176	3918	178,00	3.786,00	-2,00	132,00	-0,279	1,787	-0,274	1,865	2,821	41,750	2,661	0,911	13,00	13,00
13	17	1	1	48	5	3	6	12	10,5	4,5	80	50	45	120	13	85	6900	210	970	100	35	60	187	195	183	191	179	177	170	180	163	3240	164,00	3.349,00	-1,00	-109,00	-0,139	-1,476	-0,137	-1,509	-2,679	-3,607	1,411	20,875	14,00	14,00
36	18	1	1	48	6	3	4	11	10,5	4,5	100	40	55	120	13	85	6900	204	930	90	35	65	197	185	193	191	179	177	180	180	155	3512	165,50	3.527,50	-10,50	-15,50	-1,465	-0,210	-1,497	-0,206	6,179	-37,250	-1,339	-1,804	15,00	15,00
30	19	1	1	48	6	2	6	12	12	3,8	80	40	45	120	17	85	6900	204	970	90	30	60	197	195	193	191	179	187	180	170	166	3186	165,00	3.202,00	1,00	-16,00	0,139	-0,217	0,137	-0,213	-0,321	61,321	3,089	-18,625	16,00	16,00
41	20	1	1	48	5	3	6	12	10,5	4,5	80	50	45	120	13	85	6900	210	970	100	35	60	187	195	183	191	179	177	170	180	165	3458	164,00	3.349,00	1,00	109,00	0,139	1,476	0,137	1,509	0,750	-18,679	-0,161	30,661	17,00	17,00
49	21	1	1	48	5	2	4	12	10,5	3,8	100	40	55	120	17	75	8500	210	930	100	35	60	197	195	193	191	189	177	170	170	158	2880	161,50	2.880,00	-3,50	0,00	-0,488	0,000	-0,481	0,000	0,750	-104,250	0,375	-9,339	18,00	18,00
39	22	1	1	44	6	3	6	12	10,5	4,5	100	40	55	140	13	85	8500	210	930	90	30	60	187	195	193	181	179	187	170	170	122	3834	125,00	3.922,00	-3,00	-88,00	-0,418	-1,192	-0,412	-1,201	1,679	-5,464	0,375	-52,125	19,00	19,00
42	23	1	1	48	6	2	4	12	12	4,5	100	40	45	120	13	85	8500	204	970	100	35	65	187	185	183	181	189	187	170	170	162	3276	158,00	3.464,00	4,00	-188,00	0,558	-2,546	0,551	-2,851	-0,893	-16,321	0,839	-2,732	20,00	20,00
46	24	1	1	44	6	3	4	12	12	4,5	80	50	55	140	17	75	6900	204	930	100	35	60	197	185	183	191	179	187	170	170	129	3626	127,00	3.741,00	2,00	-115,00	0,279	-1,557	0,274	-1,600	-0,321	-34,536	-0,446	-8,161	21,00	21,00
56	25	1	1	44	5	2	4	11	10,5	3,8	80	40	45	120	13	75	6900	204	930	90	30	60	187	185	183	181	179	177	170	170	105	3045	95,50	3.079,50	9,50	-34,50	1,325	-0,467	1,344	-0,461	-3,393	-1,964	-0,161	-17,268	22,00	22,00
34	26	1	1	44	5	2	4	12	12	4,5	100	50	45	140	13	85	6900	204	930	100	30	60	197	195	193	181	189	177	180	180	96	3786	95,50	3.837,00	0,50	-51,00	0,070	-0,691	0,068	-0,684	-4,107	-6,179	-1,696	-0,982	23,00	23,00
48	27	1	1	44	5	3	6	11	10,5	4,5	80	40	45	140	17	85	8500	204	970	100	30	65	197	185	193	191	189	177	170	170	118	3946	108,00	3.950,00	10,00	-4,00	1,395	-0,054	1,420	-0,053	-0,893	48,464	-2,054	-3,089	24,00	24,00
10	28	1	1	48	6	2	6	11	12	4,5	80	50	55	120	17	85	8500	210	930	90	30	60	197	185	183	181	189	177	170	180	148	3476	149,00	3.482,00	-1,00	-6,00	-0,139	-0,081	-0,137	-0,080			-0,446	24,232	25,00	25,00
21	29	1	1	48	5	2	4	12	10,5	3,8	100	40	55	120	17	75	8500	210	930	100	35	60	197	195	193	191	189	177	170	170	165	2880	161,50	2.880,00	3,50	0,00	0,488	0,000	0,481	0,000					26,00	26,00
33	30	1	1	44	5	2	6	12	10,5	4,5	100	50	55	120	13	75	6900	210	970	90	30	65	197	185	183	191	189	187	180	170	96	3312	97,00	3.236,00	-1,00	76,00	-									

Tablo 16 Minitab Sonuç Değerleri

Plackett - Burman Design

Factors: 27 Replicates: 2
Base runs: 28 Total runs: 56
Base blocks: 1 Total blocks: 1

Factorial Fit: Fire Miktarı; Üretim Miktarı

Factorial Fit: Fire Miktarı versus Soğuma Süresi; Enjeksiyon Süresi; ...

Estimated Effects and Coefficients for Fire Miktarı (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		134,339	1,355	99,15	0,000
Soğuma Süresi	43,821	21,911	1,355	16,17	0,000
Enjeksiyon Süresi	6,821	3,411	1,355	2,52	0,018
Art Basınç Süresi	15,750	7,875	1,355	5,81	0,000
Parça Düşürme Süresi	0,607	0,304	1,355	0,22	0,824
İtici Vurma Süresi	8,321	4,161	1,355	3,07	0,005
Kalıp Kapama Süresi	7,036	3,518	1,355	2,60	0,015
Kalıp Açma Süresi	-2,607	-1,304	1,355	-0,96	0,344
Grup Dayama Basıncı	2,107	1,054	1,355	0,78	0,443
Maça Açma Hızı	-8,250	-4,125	1,355	-3,04	0,005
Maça Kapama Hızı	1,464	0,732	1,355	0,54	0,593
Enjeksiyon Basıncı	-2,036	-1,018	1,355	-0,75	0,459
Geri Basınç	5,036	2,518	1,355	1,86	0,074
Art Basınç	0,250	0,125	1,355	0,09	0,927
Kapama Tonajı	-5,536	-2,768	1,355	-2,04	0,051
Mal Alma Stroğu	5,321	2,661	1,355	1,96	0,060
Kalıp Açma Stroğu	2,821	1,411	1,355	1,04	0,307
Kalıp Koruma Stroğu	-2,679	-1,339	1,355	-0,99	0,331
Enjeksiyon Hızları	6,179	3,089	1,355	2,28	0,030
Mal Alma Hızı	-0,321	-0,161	1,355	-0,12	0,906
1. Bölge Sıcaklığı	0,750	0,375	1,355	0,28	0,784
2. Bölge Sıcaklığı	0,750	0,375	1,355	0,28	0,784
3. Bölge Sıcaklığı	1,679	0,839	1,355	0,62	0,541
4. Bölge Sıcaklığı	-0,893	-0,446	1,355	-0,33	0,744
5. Bölge Sıcaklığı	-0,321	-0,161	1,355	-0,12	0,906
6. Bölge Sıcaklığı	-3,393	-1,696	1,355	-1,25	0,221
7. Bölge Sıcaklığı	-4,107	-2,054	1,355	-1,52	0,141
8. Bölge Sıcaklığı	-0,893	-0,446	1,355	-0,33	0,744

S = 10,1392 PRESS = 11514
R-Sq = 92,65% R-Sq(pred) = 70,60% R-Sq(adj) = 85,56%

Analysis of Variance for Fire Miktarı (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	27	36280,1	36280,1	1343,7	13,07	0,000
Soğuma Süresi	1	26884,4	26884,4	26884,4	261,51	0,000
Enjeksiyon Süresi	1	651,4	651,4	651,4	6,34	0,018
Art Basınç Süresi	1	3472,9	3472,9	3472,9	33,78	0,000
Parça Düşürme Süresi	1	5,2	5,2	5,2	0,05	0,824

İtici Vurma Süresi	1	969,4	969,4	969,4	9,43	0,005
Kalıp Kapama Süresi	1	693,0	693,0	693,0	6,74	0,015
Kalıp Açma Süresi	1	95,2	95,2	95,2	0,93	0,344
Grup Dayama Basıncı	1	62,2	62,2	62,2	0,60	0,443
Maça Açma Hızı	1	952,9	952,9	952,9	9,27	0,005
Maça Kapama Hızı	1	30,0	30,0	30,0	0,29	0,593
Enjeksiyon Basıncı	1	58,0	58,0	58,0	0,56	0,459
Geri Basınç	1	355,0	355,0	355,0	3,45	0,074
Art Basınç	1	0,9	0,9	0,9	0,01	0,927
Kapama Tonajı	1	429,0	429,0	429,0	4,17	0,051
Mal Alma Stroğu	1	396,4	396,4	396,4	3,86	0,060
Kalıp Açma Stroğu	1	111,4	111,4	111,4	1,08	0,307
Kalıp Koruma Stroğu	1	100,4	100,4	100,4	0,98	0,331
Enjeksiyon Hızları	1	534,4	534,4	534,4	5,20	0,030
Mal Alma Hızı	1	1,4	1,4	1,4	0,01	0,906
1. Bölge Sıcaklığı	1	7,9	7,9	7,9	0,08	0,784
2. Bölge Sıcaklığı	1	7,9	7,9	7,9	0,08	0,784
3. Bölge Sıcaklığı	1	39,4	39,4	39,4	0,38	0,541
4. Bölge Sıcaklığı	1	11,2	11,2	11,2	0,11	0,744
5. Bölge Sıcaklığı	1	1,4	1,4	1,4	0,01	0,906
6. Bölge Sıcaklığı	1	161,2	161,2	161,2	1,57	0,221
7. Bölge Sıcaklığı	1	236,2	236,2	236,2	2,30	0,141
8. Bölge Sıcaklığı	1	11,2	11,2	11,2	0,11	0,744
Residual Error	28	2878,5	2878,5	102,8		
Pure Error	28	2878,5	2878,5	102,8		
Total	55	39158,6				

Unusual Observations for Fire Miktarı

Fire						
Obs	StdOrder	Miktarı	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
32	35	174,000	153,000	7,170	21,000	2,93R
46	7	132,000	153,000	7,170	-21,000	-2,93R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Fire Miktarı using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-691,446
Soğuma Süresi	10,9554
Enjeksiyon Süresi	6,82143
Art Basınç Süresi	15,7500
Parça Düşürme Süresi	0,30357
İtici Vurma Süresi	8,32143
Kalıp Kapama Süresi	4,69048
Kalıp Açma Süresi	-3,72449
Grup Dayama Basıncı	0,105357
Maça Açma Hızı	-0,825000
Maça Kapama Hızı	0,146429
Enjeksiyon Basıncı	-0,101786
Geri Basınç	1,25893
Art Basınç	0,025000
Kapama Tonajı	-0,00345982
Mal Alma Stroğu	0,886905
Kalıp Açma Stroğu	0,0705357
Kalıp Koruma Stroğu	-0,267857
Enjeksiyon Hızları	1,23571
Mal Alma Hızı	-0,064286
1. Bölge Sıcaklığı	0,075000
2. Bölge Sıcaklığı	0,075000

3. Bölge Sıcaklığı	0,167857
4. Bölge Sıcaklığı	-0,089286
5. Bölge Sıcaklığı	-0,032143
6. Bölge Sıcaklığı	-0,339286
7. Bölge Sıcaklığı	-0,410714
8. Bölge Sıcaklığı	-0,089286

Least Squares Means for Fire Miktarı

	Mean	SE Mean
Soğuma Süresi		
44	112,4	1,916
48	156,3	1,916
Enjeksiyon Süresi		
5	130,9	1,916
6	137,8	1,916
Art Basınç Süresi		
2	126,5	1,916
3	142,2	1,916
Parça Düşürme Süresi		
4	134,0	1,916
6	134,6	1,916
İtici Vurma Süresi		
11	130,2	1,916
12	138,5	1,916
Kalıp Kapama Süresi		
10,50	130,8	1,916
12,00	137,9	1,916
Kalıp Açma Süresi		
3,800	135,6	1,916
4,500	133,0	1,916
Grup Dayama Basıncı		
80	133,3	1,916
100	135,4	1,916
Maça Açma Hızı		
40	138,5	1,916
50	130,2	1,916
Maça Kapama Hızı		
45	133,6	1,916
55	135,1	1,916
Enjeksiyon Basıncı		
120	135,4	1,916
140	133,3	1,916
Geri Basınç		
13	131,8	1,916
17	136,9	1,916
Art Basınç		
75	134,2	1,916
85	134,5	1,916
Kapama Tonajı		
6900	137,1	1,916
8500	131,6	1,916
Mal Alma Stroğu		
204	131,7	1,916
210	137,0	1,916
Kalıp Açma Stroğu		
930	132,9	1,916
970	135,8	1,916
Kalıp Koruma Stroğu		
90	135,7	1,916
100	133,0	1,916
Enjeksiyon Hızları		

30	131,3	1,916
35	137,4	1,916
Mal Alma Hızı		
60	134,5	1,916
65	134,2	1,916
1. Bölge Sıcaklığı		
187	134,0	1,916
197	134,7	1,916
2. Bölge Sıcaklığı		
185	134,0	1,916
195	134,7	1,916
3. Bölge Sıcaklığı		
183	133,5	1,916
193	135,2	1,916
4. Bölge Sıcaklığı		
181	134,8	1,916
191	133,9	1,916
5. Bölge Sıcaklığı		
179	134,5	1,916
189	134,2	1,916
6. Bölge Sıcaklığı		
177	136,0	1,916
187	132,6	1,916
7. Bölge Sıcaklığı		
170	136,4	1,916
180	132,3	1,916
8. Bölge Sıcaklığı		
170	134,8	1,916
180	133,9	1,916

Effects Plot for Fire Miktarı

Effects Pareto for Fire Miktarı

Factorial Fit: Üretim Mikta versus Soğuma Süres; Enjeksiyon S; ...

Estimated Effects and Coefficients for Üretim Miktarı (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3539,30	13,96	253,60	0,000
Soğuma Süresi	78,18	39,09	13,96	2,80	0,009
Enjeksiyon Süresi	48,82	24,41	13,96	1,75	0,091
Art Basınç Süresi	-5,96	-2,98	13,96	-0,21	0,832
Parça Düşürme Süresi	16,46	8,23	13,96	0,59	0,560
İtici Vurma Süresi	-31,04	-15,52	13,96	-1,11	0,276
Kalıp Kapama Süresi	5,46	2,73	13,96	0,20	0,846
Kalıp Açma Süresi	96,82	48,41	13,96	3,47	0,002
Grup Dayama Basıncı	-3,61	-1,80	13,96	-0,13	0,898
Maça Açma Hızı	13,61	6,80	13,96	0,49	0,630
Maça Kapama Hızı	37,04	18,52	13,96	1,33	0,195
Enjeksiyon Basıncı	629,68	314,84	13,96	22,56	0,000
Geri Basınç	-55,11	-27,55	13,96	-1,97	0,058
Art Basınç	170,82	85,41	13,96	6,12	0,000
Kapama Tonağı	-6,68	-3,34	13,96	-0,24	0,813
Mal Alma Stroğu	1,82	0,91	13,96	0,07	0,948
Kalıp Açma Stroğu	41,75	20,87	13,96	1,50	0,146
Kalıp Koruma Stroğu	-3,61	-1,80	13,96	-0,13	0,898
Enjeksiyon Hızları	-37,25	-18,63	13,96	-1,33	0,193

Mal Alma Hızı	61,32	30,66	13,96	2,20	0,036
1. Bölge Sıcaklığı	-18,68	-9,34	13,96	-0,67	0,509
2. Bölge Sıcaklığı	-104,25	-52,12	13,96	-3,73	0,001
3. Bölge Sıcaklığı	-5,46	-2,73	13,96	-0,20	0,846
4. Bölge Sıcaklığı	-16,32	-8,16	13,96	-0,58	0,563
5. Bölge Sıcaklığı	-34,54	-17,27	13,96	-1,24	0,226
6. Bölge Sıcaklığı	-1,96	-0,98	13,96	-0,07	0,944
7. Bölge Sıcaklığı	-6,18	-3,09	13,96	-0,22	0,826
8. Bölge Sıcaklığı	48,46	24,23	13,96	1,74	0,094

S = 104,441 PRESS = 1221682
R-Sq = 95,58% R-Sq(pred) = 82,31% R-Sq(adj) = 91,31%

Analysis of Variance for Üretim Miktarı (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	27	6600997	6600997	244481	22,41	0,000
Soğuma Süresi	1	85566	85566	85566	7,84	0,009
Enjeksiyon Süresi	1	33369	33369	33369	3,06	0,091
Art Basınç Süresi	1	498	498	498	0,05	0,832
Parça Düşürme Süresi	1	3795	3795	3795	0,35	0,560
İtici Vurma Süresi	1	13485	13485	13485	1,24	0,276
Kalıp Kapama Süresi	1	418	418	418	0,04	0,846
Kalıp Açma Süresi	1	131241	131241	131241	12,03	0,002
Grup Dayama Basıncı	1	182	182	182	0,02	0,898
Maça Açma Hızı	1	2592	2592	2592	0,24	0,630
Maça Kapama Hızı	1	19203	19203	19203	1,76	0,195
Enjeksiyon Basıncı	1	5550931	5550931	5550931	508,89	0,000
Geri Basınç	1	42515	42515	42515	3,90	0,058
Art Basınç	1	408519	408519	408519	37,45	0,000
Kapama Tonağı	1	624	624	624	0,06	0,813
Mal Alma Stroğu	1	46	46	46	0,00	0,948
Kalıp Açma Stroğu	1	24403	24403	24403	2,24	0,146
Kalıp Koruma Stroğu	1	182	182	182	0,02	0,898
Enjeksiyon Hızları	1	19426	19426	19426	1,78	0,193
Mal Alma Hızı	1	52644	52644	52644	4,83	0,036
1. Bölge Sıcaklığı	1	4884	4884	4884	0,45	0,509
2. Bölge Sıcaklığı	1	152153	152153	152153	13,95	0,001
3. Bölge Sıcaklığı	1	418	418	418	0,04	0,846
4. Bölge Sıcaklığı	1	3729	3729	3729	0,34	0,563
5. Bölge Sıcaklığı	1	16698	16698	16698	1,53	0,226
6. Bölge Sıcaklığı	1	54	54	54	0,00	0,944
7. Bölge Sıcaklığı	1	534	534	534	0,05	0,826
8. Bölge Sıcaklığı	1	32883	32883	32883	3,01	0,094
Residual Error	28	305420	305420	10908		
Pure Error	28	305421	305421	10908		
Total	55	6906418				

Unusual Observations for Üretim Miktarı

Obs	StdOrder	Üretim Miktarı	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	14	3652,00	3464,00	73,85	188,00	2,55R
23	42	3276,00	3464,00	73,85	-188,00	-2,55R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Üretim Miktarı using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-2231,10
Soğuma Süresi	19,5446
Enjeksiyon Süresi	48,8214
Art Basınç Süresi	-5,9643
Parça Düşürme Süresi	8,2321
İtici Vurma Süresi	-31,0357
Kalıp Kapama Süresi	3,6429
Kalıp Açma Süresi	138,316
Grup Dayama Basıncı	-0,18036
Maça Açma Hızı	1,36071
Maça Kapama Hızı	3,70357
Enjeksiyon Basıncı	31,4839
Geri Basınç	-13,7768
Art Basınç	17,0821
Kapama Tonajı	-0,0041741
Mal Alma Stroğu	0,30357
Kalıp Açma Stroğu	1,04375
Kalıp Koruma Stroğu	-0,36071
Enjeksiyon Hızları	-7,45000
Mal Alma Hızı	12,2643
1. Bölge Sıcaklığı	-1,86786
2. Bölge Sıcaklığı	-10,4250
3. Bölge Sıcaklığı	-0,54643
4. Bölge Sıcaklığı	-1,63214
5. Bölge Sıcaklığı	-3,45357
6. Bölge Sıcaklığı	-0,19643
7. Bölge Sıcaklığı	-0,61786
8. Bölge Sıcaklığı	4,84643

Least Squares Means for Üretim Miktarı

	Mean	SE Mean
Soğuma Süresi		
44	3500	19,74
48	3578	19,74
Enjeksiyon Süresi		
5	3515	19,74
6	3564	19,74
Art Basınç Süresi		
2	3542	19,74
3	3536	19,74
Parça Düşürme Süresi		
4	3531	19,74
6	3548	19,74
İtici Vurma Süresi		
11	3555	19,74
12	3524	19,74
Kalıp Kapama Süresi		
10,50	3537	19,74
12,00	3542	19,74
Kalıp Açma Süresi		
3,800	3491	19,74
4,500	3588	19,74
Grup Dayama Basıncı		
80	3541	19,74
100	3538	19,74
Maça Açma Hızı		
40	3533	19,74
50	3546	19,74
Maça Kapama Hızı		
45	3521	19,74

55	3558	19,74
Enjeksiyon Basıncı		
120	3224	19,74
140	3854	19,74
Geri Basınç		
13	3567	19,74
17	3512	19,74
Art Basınç		
75	3454	19,74
85	3625	19,74
Kapama Tonajı		
6900	3543	19,74
8500	3536	19,74
Mal Alma Stroğu		
204	3538	19,74
210	3540	19,74
Kalıp Açma Stroğu		
930	3518	19,74
970	3560	19,74
Kalıp Koruma Stroğu		
90	3541	19,74
100	3538	19,74
Enjeksiyon Hızları		
30	3558	19,74
35	3521	19,74
Mal Alma Hızı		
60	3509	19,74
65	3570	19,74
1. Bölge Sıcaklığı		
187	3549	19,74
197	3530	19,74
2. Bölge Sıcaklığı		
185	3591	19,74
195	3487	19,74
3. Bölge Sıcaklığı		
183	3542	19,74
193	3537	19,74
4. Bölge Sıcaklığı		
181	3547	19,74
191	3531	19,74
5. Bölge Sıcaklığı		
179	3557	19,74
189	3522	19,74
6. Bölge Sıcaklığı		
177	3540	19,74
187	3538	19,74
7. Bölge Sıcaklığı		
170	3542	19,74
180	3536	19,74
8. Bölge Sıcaklığı		
170	3515	19,74
180	3564	19,74

Effects Plot for Üretim Miktarı

Effects Pareto for Üretim Miktarı

Normplot of Residuals for Fire Miktarı

Residuals vs Fits for Fire Miktarı

Residual Histogram for Fire Miktarı

Residuals vs Order for Fire Miktarı

Normplot of Residuals for Üretim Miktarı

Residuals vs Fits for Üretim Miktarı

Residual Histogram for Üretim Miktarı

Residuals vs Order for Üretim Miktarı

12.07.2013 10:31:54

Welcome to Minitab, press F1 for help.
Retrieving project from file: 'E:\DOKTORA\DENEY TASARIMI\DENEYLERİM\TEZDE
BULUNAN\DENEYİM.MPJ'

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Fire Miktarı	Target	0	85	100	1	1
Üretim Mikta	Target	2900	4000	4100	1	1

Global Solution

Soğuma Süres	=	44,0312
Enjeksiyon S	=	5,02642
Art Basınç S	=	2,03827
Parça Düşürm	=	4,00234
İtici Vurma	=	11,0149
Kalıp Kapama	=	10,5124
Kalıp Açma S	=	3,82828
Grup Dayama	=	80,0002
Maça Açma Hı	=	49,9982
Maça Kapama	=	45,0011
Enjeksiyon B	=	140
Geri Basınç	=	13,0005
Art Basınç	=	85
Kapama Tonaj	=	6900
Mal Alma Str	=	210
Kalıp Açma S	=	970
Kalıp Koruma	=	99,999
Enjeksiyon H	=	30,0017
Mal Alma Hız	=	65

1. Bölge Sıc = 197,000
2. Bölge Sıc = 185
3. Bölge Sıc = 193
4. Bölge Sıc = 190,999
5. Bölge Sıc = 179
6. Bölge Sıc = 186,999
7. Bölge Sıc = 179,899
8. Bölge Sıc = 180

Predicted Responses

Fire Miktarı = 85,00 , desirability = 0,999980
Üretim Mikta = 3999,98 , desirability = 0,999983

Composite Desirability = 0,999981

Optimization Plot

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul’da, yüksek öğrenimini ise 1998 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği’ nde tamamlamıştır. 1998 yılında girdiği Fırat Plastik ‘de Planlama ve Koordinasyon mühendisi olarak göreve başlamıştır. İlerleyen yıllarda Üretim Planlama Mühendisi olarak görevine devam etmiştir. 2002 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadı enstitüsünde “İşletme Ağırlıklı İngilizce” bölümünden mezun olmuştur. 2006 ‘da İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme İktisadı Enstitüsünde MBA programını tamamlamıştır. 2007’de İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Üretim Ana Bilim Dalı’nda doktora programına başlamıştır.

Halen Fırat Plastik ‘de Üretim Planlama Şefi olarak çalışmaktadır.