

***PVC TESİSAT BAĞLANTI PARÇALARI ÜRETİMİNDE FİRE
PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNDE PLACKETT-BURMAN DENEY
TASARIMI YAKLAŞIMI***

Zeynep KARSLIOĞLU

Endüstri Mühendisi

Fırat Plastik

Ş.Alp BARAY

İ. Ü. Mühendislik Fakültesi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Necdet ÖZÇAKAR

İ. Ü. İşletme Fakültesi

Üretim Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, üretimde karşımıza çıkan temel sorunlardan biri olan fire probleminin çözümünde deney tasarımı yaklaşımının kullanılması amaçlanmıştır. Problemin çözümünde deney tasarımının özel bir türü olan Plackett-Burman tasarımı kullanılmış olup, bu yöntemin sanayide kullanımı irdelenmeye çalışılmıştır.

Teorik bölümde, istatistiksel deney tasarımı yaklaşımı anlatılmış olup, uygulama bölümünde ise PVC Tesisat Bağlantı parçaları üretiminde fire sorununun çözümüne yönelik olarak plastik enjeksiyon prosesinde fireye sebep olduğu düşünülen faktörler ve bu faktörlerin düzeyleri belirlenmiştir. Deneyimizde faktör sayısının fazla olması nedeniyle kesirli deneyler yapılarak, son aşamada elde edilen faktör düzey kombinasyonlarıyla doğrulama deneyleri gerçekleştirilerek genelleştirmeye gidilmiştir.

Anahtar sözcükler: Deney tasarımı, Plackett-Burman, PVC tesisat bağlantı parçaları, faktör düzey kombinasyonu.

***UTILISING PLACKETT-BURMAN EXPERIMENTAL DESIGN
APPROACH TO SOLVE THE SCRAP PROBLEM IN
PRODUCTION OF PVC INSTALLATION FITTINGS***

ABSTRACT

This study aims at utilising the experimental design approach to solve the scrap problem, one of the major problems encountered during production. The solution employs the Plackett-Burman design, a special experimental design method, and it is intended to increase the use of this method for industrial problems.

The theoretical part of the study comprises an in-depth description of the statistical experimental design approach, while the application part encompasses the determination of the factors that are considered to cause scrap and their respective levels during production of PVC pipe fittings through the injection moulding process. Due to the significantly high number of factors the analyses are carried out with fractional experiments and the findings are generalised in the final stage through justification experiments applied on the obtained factor level combinations.

Keywords : Experimental design, Plackett-Burman, PVC-based sanitary fittings, factor level combination.

GİRİŞ

İmalat sanayinde üretilen ürünlerin iyi teknik özellikler göstermesinin yanı sıra, en düşük maliyet ile ve en optimum kalitede üretiminin sağlanması hedeflenmektedir. Bu hedefin sağlanması için yapılması gereken ilk aşama, ürün üzerinde etkili olan faktörlerin tespit edilmesi ve ürün performansına etki eden unsurların ortaya çıkarılmasıdır. Bundan sonra istenilen kalitede ürünün üretimi için etkili olduğu tespit edilen faktörlerin çeşitli değerleri ile deneyler yapılır.

Hedefe ulaşmak için tasarlanan deneyler, etkisi olduğu düşünülen her faktörün farklı değerleri için tek tek yapılacağı için çok sayıda olacaktır. Deneyin tasarımı aşamasında belirlenen faktör sayısı ne kadar fazla ise, yapılacak deney sayısı da aynı oranda artacak, deney maliyeti yükselecektir.

Deney tasarımının en büyük avantajı deney sayısının belirlenmesinde büyük kolaylıklar sağlaması, en az sayıda deney ile en etkili faktörlerin ve bunların optimum düzeylerinin belirlenmesi olmaktadır. Deney tasarımı ile deney sayısının azalması, maliyet unsurunu düşürdüğünden sanayide sıklıkla kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

1. Deney Tasarımı

Bir deney tasarımı çalışması temel olarak aşağıda bulunan adımların gerçekleştirilmesi ile yapılmaktadır.

1. İlk aşamada test edilecek kalite değişkeni tespit edilir. Kalite değişkeni ya da deney çıktısı, iyileştirilmesi amaçlanan değişkendir. Bu değişkenin değeri nitel ya da nicel olabilmektedir.
2. Sonuç üzerinde etkili olduğu düşünülen tüm faktörler tespit edilerek deneye dahil edilir.
3. Faktörlerin belirlenmesinden sonra bu faktörlerin birbirleri arasında etkileşim olup olmadığına bakılır.
4. Deneye dahil edilmesine karar verilen faktörlere ve bunların etkileşim durumlarına göre uygulanacak deney tasarımının türü belirlenir.
5. Her bir faktör için seviye tespiti yapılır. Faktörlerin seviyeleri arasındaki fark ne çok küçük ne de çok büyük olmamalıdır.
6. Deneye dahil edilmeyen diğer tüm faktörlerin deney sonuna kadar sabit olması gerekir.
7. Faktör düzey kombinasyonları belirlenir.
8. Deneyde kullanılacak olan makine, ekipman, çalışacak personel tespit edilir. Deney esnasında bunların değiştirilmemesi istenir.

9. Bütün deneylerin tamamlanmasına istinaden elde edilen sonuçlar, hesap tablolarına veya Minitab® 16 gibi paket programlara girilerek sonuçlar yorumlanır. Hesap tabloları çoğunlukla kullanımının kolaylığı nedeniyle işletmelerde tercih edilmektedir.
10. Hesap tabloları kullanılacak ise normal olasılık grafiği çizilerek, etkilerin ve/veya etkileşimlerin sonuç üzerindeki etkisi tespit edilir.
11. Etkili olduğu belirlenen faktör ve etkileşimlerin düzeyleri belirlenerek kalite değişkeninin değeri hesaplanır.
12. Son olarak ise doğrulama deneyleri yapılarak bulunan sonuçlardan emin olunur (Şirvancı, 1997, s:51-52).

2. İstatistiksel Deney Tasarımı

Bir deneyin tasarlanması temel olarak iki başlıkta incelenebilir. Bunlardan ilki olan klasik deney tasarımında, faktörlerin her biri tek tek değiştirilerek diğer faktörler sabit tutulur ve her kombinasyon için deneyler tekrarlanır. Bu yaklaşımın dezavantajı faktörlerin birbirleri arasındaki etkileşimi ihmal ediyor olmasıdır. Her kombinasyon için deneylerin tekrarlanması çalışma için harcanan zaman ve maliyeti arttırmaktadır.

İkincisi ise istatistiksel deney tasarımıdır. Bu yöntemde her faktörün tüm farklı seviyeleri için deneylerin tekrarlanmasına gerek yoktur. Kullanılan çeşitli yöntemler ile bütünü temsil eden az sayıda deney yapılarak çalışma tamamlanır. Kesirli deneyler adı verilen bu deneylerle pratikte uygulamacılara büyük kolaylıklar sağlanır.

Her deneyde bir faktörün ele alındığı durumlarda ilgili faktörün sonuç değişkeni üzerindeki etkisi analiz edilir. Örnek olarak 1, 2 ve 3 numaralı üç faktörün etkisi ölçülmek isteniyor olsun. Yapılacak ilk deneyde 1. faktörün farklı her seviyesi için deney yapılır ve diğer tüm faktörler sabit tutulur. Aynı işlem 2 ve 3 numaralı faktörlerin her bir seviyesi için tekrarlanır. Bu yöntem olası tüm değişik durumları ele aldığından en iyi kombinasyonu sağlamaktadır. Ancak bu olumlu yanına rağmen, her faktörün ortalama etkilerinin, sonuç değişkenine olan etkisini ve faktör etkileşimlerinin etkisini vermemektedir (Tamhane, 2009, s:225-226).

Yukarıda bahsedilen şekilde deney yapmanın dezavantajlarından biri, faktörlerin tüm sınır değerlerinin tanımlanmış olmasıdır. Diğer bir dezavantajı ise faktörler arasındaki etkileşimlerin göz ardı ediliyor olmasıdır (Rekab ve Shaikh, 2005, s:14-32). Bu yöntemde, tüm faktörlerin sonuç üzerindeki etkileri tek tek incelendiğinden, deney sayısı artmakta ve buna bağlı olarak deney maliyetleri yükselmektedir. Bu durum pratik uygulamalarda tercih edilmediğinden istatistiksel deney tasarım yöntemlerinin önemi artmaktadır.

2.1. Kesirli Faktöriyel Deneyler

Bu deneyler çoğunlukla faktör sayısının fazla olduğu durumlarda kullanılmaktadır (Bailey, 2008, s:259-260). Kesirli deneylerde yarım (1/2) veya dörtte bir (1/4) tekrar yapılarak deney sayısı azaltılmaktadır. Fazla sayıda faktörün hepsinin etkilerinin incelenmek istediği durumlarda kesirli deneylerden yararlanılmaktadır. Bu deney tasarımı türünde ana etkileri ve yüksek dereceli etkileşim etkileri dikkate alınır ve bunlara ait deneyler yapılır, ancak düşük dereceli etkileşimler ihmal edilerek bunlara ait deneyler yapılmaz (Şenoğlu ve Acıtaş, 2010, s.185-186).

Yukarıda bahsedilen etkileşimlerin hesaplanmasında

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! (n-k)!} \quad (1)$$

binom formülü kullanılır.

Faktöriyel deneylerde artı ve eksi işaretlerin gösterimi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

Tablo 1 : 2³ Faktöriyel Deneyinde Artı ve Eksi İşaretler

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

Yukarıdaki tabloda faktör düzey kombinasyonlarına ait artı ve eksi işaretler görülmektedir. İşlem kombinasyonları başlığı altında görülen a, b, c ve abc olduğu görülmekte olup toplam 4 deney yapılması gerekmektedir. Yapılacak deneylerde 4 adet eksi işaretli faktör düzey kombinasyonu seçmek de mümkündür. Bu durumda I = ABC olmaktadır. Jeneratördeki artı işaretli bölüm temel kesir, diğeri ise alternatif kesir olarak adlandırılır. Tam faktöriyel deneylerde tekrar yapılmasının dezavantajı, bazı etkilerin ayrı olarak tahmin edilememesidir.

I = ABC jeneratörlü bir 2^{3-1} deneyi örnek alındığında, ana etkiyi tahmin etmek üzere serbestlik derecesi 3 olmakta ve a, b, c ve abc olmak üzere 4 deney yapılması gerekmektedir. Tablo 1' kullanılarak 8 olası faktör düzey kombinasyonunun 4'ünü kullanarak ana etki tahminlerini aşağıdaki gibi yapmamız mümkün olmaktadır (Montgomery, 2005, s:283-320).

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

(2)

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

(3)

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

(4)

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

(5)

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

(6)

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

(7)

Yukarıda belirtilen formüllerden 2 ve 7 arasında bulunanlar, birleşik faktör etkilerini ve etkileşim etkilerini ifade etmektedir. Dikkat edilirse, 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 eşadlıdırlar.

2.2. İki Seviyeli Kesirli Faktöriyel Deneyler

İşletmelerde özellikle pratik uygulamalarda iki seviyeli deneyler kullanılmaktadır. İki seviyeli kesirli deneyler üç ayrı grupta incelenebilir.

- a. 2^{k-1} Deneyler (Yarım Kesirli Deneyler)
- b. 2^{k-2} Deneyler (Çeyrek Kesirli Deneyler)

c. 2^{k-p} Deneyleer

Yarım (1/2) kesirli bir 2^k deneyinde 2^{k-1} tane deney yapılır. Deney yapılacak faktör düzey kombinasyonlarını belirtmek için tanımlı jeneratör kullanmamız gerekmektedir. Jeneratörler ihmal edilebilen veya önemsiz görülen yüksek mertebeden bir etkileşimle temsil edilirler. Örnek olarak, A, B ve C faktörlü 2^3 faktör tasarımını ve buna bağılı olarak da Tablo 1’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, s:283-320).

Çıktıyı optimize etmek için regresyon modeli oluşturulmalıdır. Bütün 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.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon$$

(8)

İki faktörlü bir deneyde bir faktörün iki, diğere faktörün üç seviyeli olduğu durumda regresyon modeli şöyle olacaktır.

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

(9)

Ana etkiler

Etkileşimler

Yine 2^3 faktöriyel deneyde, (üç faktörlü her biri iki seviyeli) regresyon modeli aşağıdaki gibi olmaktadır (Mendenhall, 1968, s94-95).

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_1x_3 + \beta_6x_2x_3 + \beta_7x_1x_2x_3 + \varepsilon \quad (10)$$

Ana
İki yönlü
Üç yönlü
Etkiler
Etkileşimler
Etkileşimler

2.3. Plackett-Burman Deney Tasarımı

Bu deney tasarım türünün ana amacı, birçok sayıda faktör içerisinde hangilerinin sonuç üzerinde etkili olduğunu tespit etmektedir. Bu tasarım türünün en büyük avantajı diğer tasarım türlerine göre daha az sayıda deneme gerektirmesi olup, dezavantajı ise yapılarının karmaşık olmasıdır (Rekab ve Shaikh, 2005, s:14-32).

Plackett-Burman deney tasarımı, 1946 'da Plackett ve Burman tarafından geliştirilmiş olup, iki seviyeli kesirli faktöriyel tasarımlardır. N sayıda deneyde, k=N-1 değişken olduğunda ve deney sayısı N'in 4 'ün katı olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Plackett-Burman tasarımları kübik olup, geometrik olmayan tasarımlar olarak adlandırılmaktadır. (Montgomery, 2005, s:283-320).

Plackett-Burman tasarımında deney tekrar sayısı, 4'ün katları şeklinde belirlenmektedir. $N_R = 8, 12, 16, 20, 24, 32, 36, 40$ olabilmektedir (Gustafsson, Herrmann ve Huber, 2007, s:78-79). Tasarlanan bir deneyin 32 faktörü olduğunu varsayalım. Plackett-Burman tasarımı kullanılır ise 36 deney yapılmasını gerektirmekte, buna karşılık çözünürlük III tipindeki kesirli faktöriyel deneyler 64 deney gerektirmektedir. Tablo 2'de Plackett-Burman tasarımı ve çözünürlük III sınıfındaki kesirli faktöriyel deneylerin deney tekrar sayıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2 : Plackett-Burman ile 2^{n-p}_{III} Karşılaştırması

| 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 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| $64 \leq n \leq 67$ | 68 | 128 |

(Rekab ve Shaikh, 2005, s:32)

Plackett-Burman tasarımlar, çözünürlük III tasarımlarının bir alt 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 Plackett-Burman tasarımları kullanmalıyız.

Çeşitli paket programlardan yararlanılmakla birlikte, çoğunlukla Minitab® 16 paket programı kullanımı yaygındır. 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.

3. Plastik Enjeksiyon Prosesi

Plastik enjeksiyon prosesi, makine, kalıp ve hammadde faktörlerinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Kalıp makineye bağlanır ve kullanılacak hammadde makinenin hunisine aktarılarak makine ayarları yapılır ve nihai ürün üretilir. İşte bu makine ayarları ile kastedilen ve ürünün kalitesine direkt olarak etki eden parametrelerin belirlenmesi bu proseste oldukça kritiktir. Söz konusu plastik enjeksiyon prosesi belirli aşamalardan meydana gelmektedir. Bunlar, plastikleşme, enjeksiyon, art basınç uygulanan aşama, soğuma ve çıkarma aşamalarıdır. Pötsch ve Michaeli (2007) çalışmalarında, bir enjeksiyon çevriminin aşağıdaki aşamalardan meydana geldiğini söylemektedirler.

Plastifikasyonun başlaması aşamasında 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 aksenal olarak geriye doğru hareket etmektedir. Plastikleşmenin bitişi safhasında vidanın dönüşü tamamlanır. Vidanın hatveleri içerisinde enjeksiyon işlemi için yeterli malzeme bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra kalıp kapanır. Mengene grubu kalıbın sabit ve hareketli kısmı birbiri ile tam olarak üst üste gelecek şekilde hareket eder. Enjeksiyonun işlemi başlar, vida aksenal olarak ileri hareket eder ve eriyik malzeme kalıbın gözlerine iletilir. Eriyik malzeme kalıp gözlerini doldurmuştur. Kalıp içerisine giren plastik malzeme ısısı daha düşük olan kalıba değdiğinde soğuma başlamış olur. Bu sırada plastik malzemede çökme meydana gelir. Bunu engellemek amacıyla bir miktar daha eriyik malzeme kalıba gönderilir (Zheng, Tanner ve Fan, 2011, s:2-3). Bu aşamaya ütüleme, tutma ya da diğer bir ifade ile art basınç safhası da denilmektedir. 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. Bu aşamada kalıptan çıkarma işlemi başlar. Kalıp içerisine dolan 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 makinesinde bulunan robot yardımı ile makineden alınarak istenilen bölgeye konulması sağlanır.

3.1. Plastik Enjeksiyon Proses Parametreleri

Bu üretim yönteminde ürün kalitesi birden çok faktöre bağlı olmaktadır. Bunlar literatürdeki farklı kaynaklara göre kullanılan malzeme, ürünün yapısı, kalıbın tasarımı veya üretim için gerekli proses parametreleri olabilmektedir (Öktem, Erzurumlu ve Uzman, 2007, s: 1171-1172). Enjeksiyon üretiminde kullanılan pek çok farklı plastik malzeme bulunmaktadır. Bunlar PVC (polivinil klorür), PP (Polipropilen) veya PE (Polietilen) gibi malzemelerdir. Kullanılan bu malzemeler ürünün özelliklerini etkileyebildiği gibi, üretim esnasında oluşan proses şartları da ürün üzerinde etkilidir (Arburg, 2004, s:140-142).

Bir plastik enjeksiyon makinesinin üretime alınmasından önce yapılması gereken işlemler aşağıdaki gibidir (Megep, 2006, s:16-27).

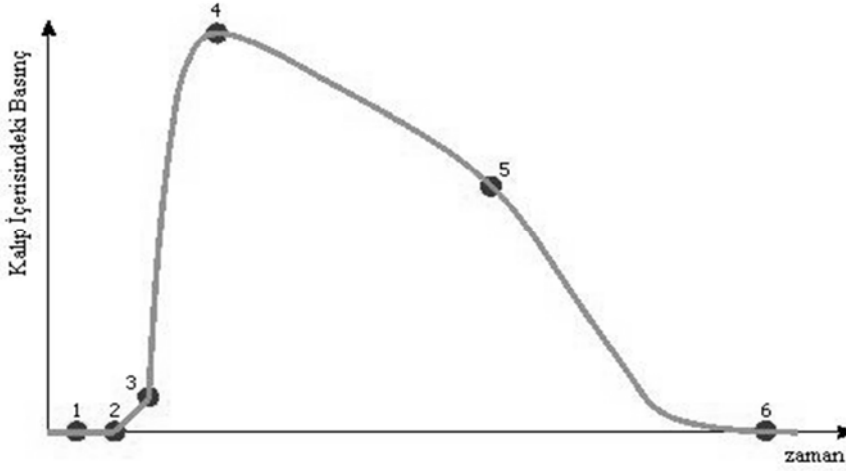
1. Makine, kalıp ve hammaddenin hazırlanması,
2. Redüktör ayarlarının yapılması,
3. Mengene açma ve kapama mesafesinin, hızının ve basıncının ayarlanması,
4. İtici ileri ve geri vuruş mesafesinin, hızının ve basıncının ayarlanması,
5. İtici vuruş sayısının ayarlanması,
6. Soğuma zamanının ayarlanması,
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,

Yukarıdaki adımlar tamamlandıktan sonra, makine ürünün seri üretimine hazırdır. Parametre hataları olduğunda, ürün kalıpta yeterince sertleşemez ve homojen dağılım gösteremez. Bu durumda ürün kırılabilir, şekilsel olarak istenilen özellikleri taşısa dahi, mukavemet değerlerini sağlayamaz. Bu gibi durumlarda kalıp içerisinde yapışma olabilmekte ve üründe çapak adı verilen istenmeyen plastik parçaları oluşumu gözlenebilmektedir (Megep, 2006, s:16-27).

Bir plastik enjeksiyon çevrimi, eriyik haldeki plastik hammaddenin makinenin vida bölgesine iletilmesi ile başlamaktadır. Eriyik hammadde vidanın hatvelerinden ilerleyerek kalıp gözlerini doldurur. Basınç en yüksek seviyede iken kalıp içi soğutma devam eder ve yavaş yavaş basınç

düşmeye başlar. Daha sonra kalıp açılır ve basınç çok daha hızlı bir şekilde düşmeye başlar. Ürünün çıkarılması ile enjeksiyon prosesi tamamlanmış olur (Akkurt, 2007, s:302-303). Plastik enjeksiyon prosesinde basınç parametresi üç farklı tip basınçtan oluşmaktadır. Bunlar, enjeksiyon basıncı, ütüleme basıncı (art basınç veya tutma basıncı) ve geri basınçtır. Enjeksiyon basıncı, makinenin enjeksiyona başladığı anda, vida da oluşan basınç olup, vidanın erimiş haldeki plastik malzemeyi kalıba aktarırken uygulamış olduğu kuvvettir. İşlem adımları Şekil 1'de şematik olarak anlatılmıştır.

Şekil 1: Enjeksiyon Prosesinde Basınç-Zaman Grafiği



Şekil 1'deki grafikte, zaman ile kalıp içerisine uygulanan basınç değişimi gösterilmektedir. 1. nokta, enjeksiyon basıncını göstermektedir. Bu esnada vidanın ileri hareketi yapılmakta olup, proseste hidrolik basıncın artışı meydana gelmektedir. 1. ve 2. noktalar arasında, eriyik haldeki malzemenin kalıp gözlerine enjekte edilmesi anlatılmaktadır. 2. nokta, kalıp içerisindeki basıncın artmaya başladığı noktadır. 2. ve 3. noktalar arasında, kalıbın gözleri eriyik malzeme ile dolmaya başlar. Akış direncine bağlı olarak enjeksiyon basıncı gerçekleşir. 3. nokta, kalıp gözlerinin hacimsel olarak malzeme ile dolduğu noktadır. Proseste hacim-basınç sıkıştırması devam etmektedir. 3. ve 4. noktalar arasında eriyik haldeki malzeme sıkıştırılmaktadır. Plastik malzemenin hacimsel olarak çekmesi dengelenmektedir. 4. noktada en yüksek göz basıncına ulaşıldır. Bu aşamada enjeksiyon basıncının sabitlenmesi söz konusu olup, malzemenin şekilsel özellikleri belirlenir. 5. nokta ise akışın bitiş noktasıdır. Göz içerisine bir akış olmayıp, yolluk ağzında eriyik katılaşmaktadır. 4. ve 6. noktalar arası, basınç gözle görülür bir şekilde azalmaktadır. Plastik malzeme katılaşır ve malzemenin geriye doğru akışı yapılmaktadır. Son olarak 6. nokta çekme prosesinin başladığı noktadır (Kurt, Girit ve Talat, 2006, s:9-10).

Bahsedilen bu proses parametreleri, bir plastik enjeksiyon makinesi üzerinde operatör tarafından görülüp ayarlanabilmekte olup, makinenin veya kalıbın ayarlarını yapmak için kullanılır. İstenilen kalitede ürün üretebilmek, tüm bu ayarlamaların doğru yapılması ile mümkündür. Bu parametrelerin makine ile ilgili olanları ısı değerleri, hız değerleri ve basınç değerleri iken, kalıp ile ilgili işlem parametreleri itici sistemi, yolluk sistemi, ürün düşürme sistemi olabilmektedir (Engel, 2005, s:2-3).

Proses değerlerindeki hatalar, ürün üzerinde gözle de görülebilecek şekil bozukluklarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu hatalar, ürün üzerindeki çökmeler, çeşitli iz ve leke oluşumları olabildiği gibi, nem izleri, ısının düzgün dağılmamasından kaynaklanan yanma

izleri ve çapak oluşumu gibi farklı şekillerde de görülebilmektedir (Turaçlı, 2003, s:18-19). Bu hatalardan arındırılmış doğru ürünü üretebilmek, oldukça kritik olan proses parametrelerinin uygun değerlere ayarlanmasını gerektirmektedir.

Proses parametrelerinden basınç uygulama süresi, plastiğin çekme özelliğinden kaynaklanan çökme ve iz oluşumunu engellemek amacıyla, hammaddenin kalıp içerisinde ilerlediği kanalların donuncaya kadar malzeme ile doldurulmasına devam edildiği süreçtir. Enjeksiyon vidasının dönmeye başlaması ile vida sisteminin uç kısmına yeni plastik malzeme dolmaya başlamaktadır. Böylece bir sonraki çevrim başlayacaktır. Yapılan bazı araştırmalar göstermektedir ki enjeksiyon prosesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de soğuma sistemidir. Bu parametrenin doğru ayarlanması ürünün çevrim süresini kısaltacak ve üründe ölçüsel problemlerin meydana gelmesini önleyecektir (Demirer, Çakırgil, Çoban, Durat, 2009, s:1-2). Soğuma süresinin yüksek belirlenmesi ise çevrim süresini uzatacağından, ürün maliyetini arttırmaktadır (Krauss Maffei, 2001, s:46-47).

Aşağıdaki formülde görüldüğü gibi çevrim süresi ürünün maliyetini direkt olarak etkilemektedir. (Rosato, Rosato ve Rosato, 2000, s:1172-1173). Bu nedenle optimum değeri tespit etmek oldukça kritiktir.

$$\text{Ürün Maliyeti} = \text{Malzeme Maliyeti} + \text{Makine Kirası} \times \text{Çevrim Süresi} \quad (11)$$

Plastik enjeksiyon prosesinde sıcaklık kavramı, makinenin, kalıbın ve hammaddenin sıcaklıkları olmak üzere üç farklı sıcaklık parametresi ile açıklanmaktadır. Rauweudaal (2008) çalışmasında, eriyik sıcaklığının enjeksiyon prosesindeki en önemli sıcaklık parametresi olduğundan söz etmektedir. Eriyik haldeki plastik malzeme, makinenin 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. Ürün boşluklarını çevreleyen soğutma kanallarından çoğunlukla su, bazen de gaz dolaşarak ürünün eşit oranda soğuması sağlanmaktadır. Kalıp, malzemedan aldığı ısıyı transfer etmeye başlar ve eriyik haldeki malzeme soğumaya başlar. Bu nedenle kalıp ve makinenin sıcaklık parametrelerinin doğru ayarlanması kritiktir.

Enjeksiyon zamanı, vidanın eriyik haldeki plastik hammaddeyi kalıba aktarıırken geçen süreyi ifade eder. Mal alma hızı, vidanın geri dönüş hızını ifade eder. Bu parametre, vidanın akış yolu boyunca sahip olduğu hız olup, milimetre/saniye olarak gösterilmektedir. Makinenin kapama

gücü diğerk bir önemli parametredir. Kalıbın bağlanacağı makine tespit edilirken, ürünün üretilebilmesi için gerekli basınç ve bunu uygulayacak tipteki makinenin doğru seçilmiş olması oldukça önemlidir.

4. Uygulama

Üretim işletmelerinin temel amacı, doğru ürünü, en hızlı ve en düşük maliyet ile üreterek müşteriye ulaştırmaktır. Ürünün üretimi esnasında proseste kontrol dışı olduğunda, bunun nedenleri tespit edildikten sonra gerekli ise proses parametreleri değiştirilir. Her değişiklikten sonra bir süre beklenerek sağlam ürün elde edilene kadar gözlem yapılmalıdır. Gözlem süresince doğru ürün üretilemeyecek ve fire oluşacaktır. Bu da işletmeye hem zaman kaybettirecek hem de maliyet artışına neden olacaktır. Bu çalışmada, proses parametrelerinin belirlenmesinde deney tasarımı yaklaşımı ile en uygun çözümün bulunması hedeflenmektedir. Pratik uygulamalarda görülmektedir ki işletmeler 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, Kwong ve Lau, 1999, s:225-236).

Yapılacak deneyler, aynı makinede, aynı hammaddeler kullanılarak ve aynı operatör ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sadece proses parametrelerinin fire üzerindeki etkisinin daha doğru olarak tespit edilmesine çalışılmıştır. Çalışmanın amacı, minimum fire ve maksimum üretim miktarını sağlayacak enjeksiyon proses parametrelerini Plackett-Burman deney tasarımı kullanarak tespit etmektir. Plackett-Burman tasarımının kullanılmasının nedeni 3.3'de belirtilen sebeplerden ötürüdür.

Yapılacak deney iki seviyeli olduğundan Tablo 3'de görüldüğü gibi deneyde kullanılacak parametrelerin alt ve üst düzeyleri gösterilmiştir. Deneyin yapılış sırası Minitab® 16 paket programı tarafından verilmektedir. Son olarak sonuçlar yorumlanmak üzere Minitab® 16 paket programına girilmiştir.

Plackett-Burman tasarımında ele alınan parametreler ve düzeyleri aşağıdaki gibi belirlenmişlerdir. Düzeyler belirlenirken plastik enjeksiyon makinalarının kullanıldığı bölüm yöneticileri ve çalışanlarının görüşlerinden yararlanılmıştır.

Tablo 3: 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 |
| No | Parametrenin Tanımı | Birimi | Alt Düzey | Üst Düzey |
| 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 |

4.1. Deney Bulguları

Deneylerin tamamlanmasının ardından elde edilen çıktılar Minitab® 16 paket programı ile yorumlanmıştır. Deneyde güven aralığı 95 olarak tanımlanmıştır. 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 artırır, 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 artışından etkileniyor olması (adj) R^2 'nin veri sayısından etkilenmiyor olmasıdır.

Aşağıda Plackett-Burman tasarımı ve buna bağlı olarak yapılan iki tekrarlı deneylerin Minitab® 16 paket programında analizi sunulmuştur. İki tekrarlı deneylerde Plackett-Burman tasarımı için yapılacak deney sayısı Tablo 2'ye göre 27 faktör için 28 olduğundan 56'dır.

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.

Anova Tablosu : Minitab® 16 paket programında, estimated effects and coefficients tablosunda, $p = 0,05$ 'den küçük olanlar sonuç üzerinde etkili faktörleri göstermektedir.

Tablo 4 : Fire miktarı değişkeni için anova tablosu

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 | | | | |

Bu sonuçlara göre fire miktarı çıktısı için ;

- Soğuma Süresi = 0,000
- Art Basınç Süresi = 0,000
- Maça Açma 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.

Tablo 5 : Üretim miktarı değişkeni için anova tablosu

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 Tonajı | -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 Tonajı | 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 | | |

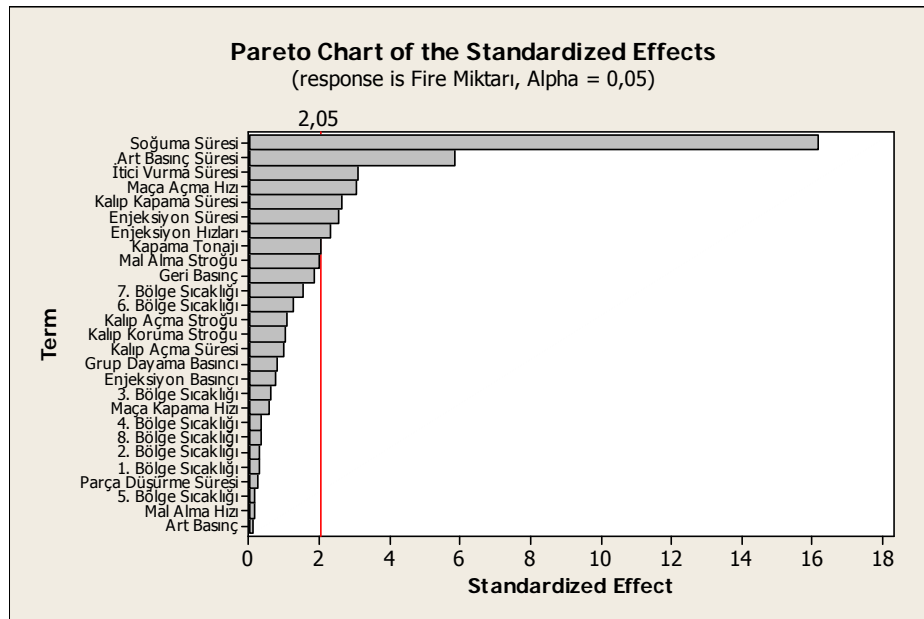
Bu sonuçlara göre üretim miktarı çıktısı için;

- Enjeksiyon Basıncı = 0,000
- Art Basıncı = 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 :

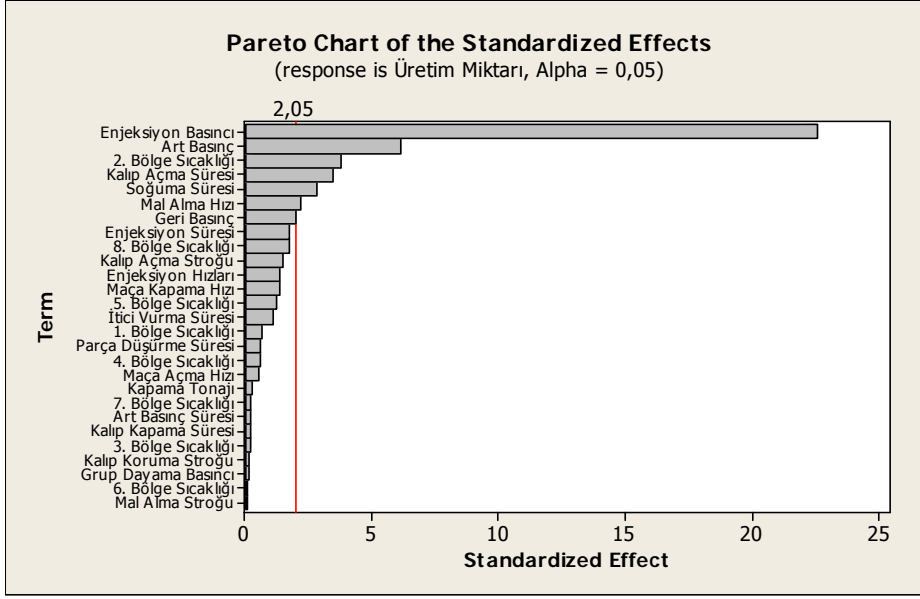
Pareto grafiği standardize edilmiş etkileri göstermekte olup, fire miktarı ve üretim miktarı çıktıları için oluşturulmuştur. Grafikte görüldüğü gibi 0,05 anlamlılık düzeyinde eşik değeri 2,05 'dir. Bu değer, t tablosundaki ilgili serbestlik derecesi ve anlamlılık düzeyi için verilen değerdir. Eşik değerini geçen faktörler Şekil 2’de görüldüğü gibidir.

Şekil 2: Fire Miktarı Bağımlı Değişkeninin Pareto Diyagramı



Şekil 2’de fire değişkeni için, kırmızı çizginin sağında kalan parametreler çıktıları etkileyen parametrelerdir. Bunlar, soğuma süresi, art basınç süresi, maça açma hızı, itici vurma süresi, kalıp kapama süresi, enjeksiyon süresi ve enjeksiyon hızlarıdır.

Şekil 3: Üretim Miktarı Bağımlı Değişkeninin Pareto Diyagramı

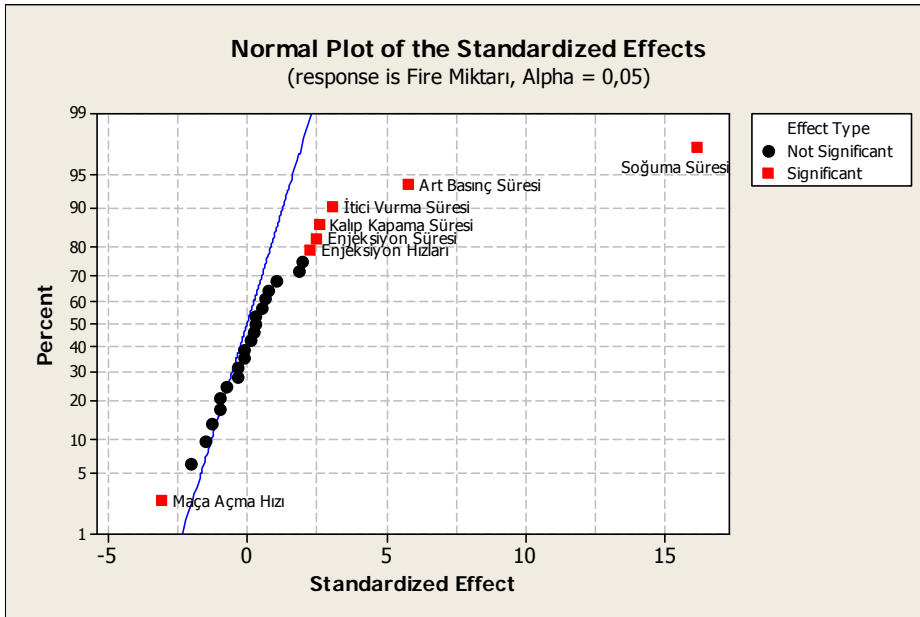


Şekil 3’de ise üretim miktarı değişkeni için, kırmızı çizginin sağında kalan parametreler çıktılarını etkileyen parametrelerdir. Bunlar, enjeksiyon basıncı, art basıncı, 2. bölge sıcaklığı, kalıp açma süresi, soğuma süresi ve mal alma hızıdır.

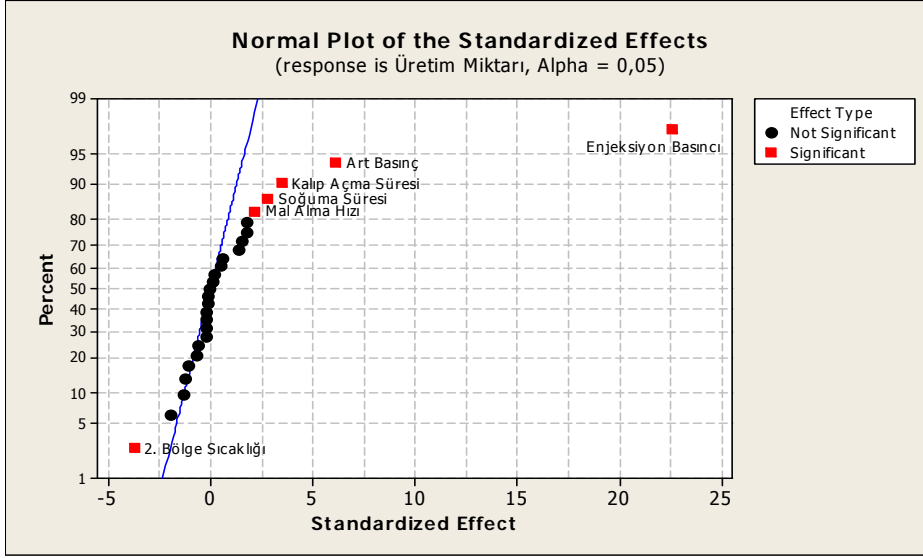
Logaritmik Grafik :

Grafikte çizginin etrafında dağılım gösteren faktörler çıktı üzerinde etkisi olmayan faktörleri göstermektedir. Çizgiden uzak olan noktaların her biri proses üzerinde önemli etkiye sahip faktörlerdir. Logaritmik grafiğin x eksenini standardize edilmiş etki değerlerini temsil etmekte, y eksenini ise Weibull olasılık dağılımını temsil etmektedir.

Şekil 4: Fire Miktarı Değişkenine Ait Logaritmik Grafiği



Şekil 5: Üretim Miktarı Değişkenine Ait Logaritmik Grafiği



Wiebull olasılık dağılımının bulunmasında, grafik yöntemde öncelikle veriler küçükten büyüğe doğru sıralamaktır. İkinci olarak, 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, s:73-87).

$$\frac{i - 0,3}{N + 0,4} \times 100 \quad (12)$$

Yukarıda açıklanan pareto ve logaritmik grafiklerin yanı sıra, histogram grafikleri, kalıntı analizleri ve yayılım grafikleri de incelenmiştir. Buna göre kalıntıların sıfırın etrafında yayılım göstermesi bize hatalar için normallik varsayımının sağlandığını göstermiştir. Kalıntı analizinde yine herhangi bir örüntüye rastlanmamıştır. Kalıntı grafiğinde noktaların çizgi etrafında toplanmış olması, her iki değişkenin de normal dağılım gösterdiğinin belirtisidir.

Response Optimization – Çıktıların Optimizasyonu:

Minitab® 16 paket programında bulunan bu araç sayesinde elde edilmek istenen sonuca en yakın değerlere ulaşmak mümkündür. Şekil 6'da görülen optimizasyon tablosunda amaç, üretim miktarının maksimizasyonu, fire miktarının ise minimizasyonu için, görülen kırmızı çizgilerin sağa ve sola hareketi ile en uygun sonuç bulunmaya çalışılmaktadır.

Şekil 6: Fire Adedi ve Üretim Miktarı Değişkenleri İçin Optimizasyon Tablosu

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

Fire miktarı değişkeni için deney formülasyonu aşağıdaki gibidir.

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

Üretim miktarı değişkeni için deney formülasyonu aşağıdaki gibidir.

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

Bu yöntemle bulunan parametreler aşağıdaki Tablo 6 'da görüldüğü gibi tespit edilmiştir.

Tablo 6: 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 |

Elde edilen deney sonuçları makineye girilerek seri üretimde üretim miktarı ve fire miktarı bilgileri toplanmıştır. Proses parametreleri eski değerler ile olduğunda günlük ortalama üretim miktarı 3.185 adet, fire oranı ise %4,93 idi. Parametreler Tablo 4’de tespit edilen değerlere göre

ayarlanmış ve bu değerler ile üç adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Yapılan üç doğrulama deneylerinde ortalama üretim miktarının 3.828 'e çıktığı, ortalama fire oranının ise %1,69 'e düştüğü görülmüştür. Elde edilen bulgular 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

Çalışmada Plackett-Burman deney tasarımı kullanılmasının amacı, çok sayıda faktörün etkilerinin aynı anda incelenmek istenmesidir. Elde edilen bulgular, Minitab® 16 paket programı yorumlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Deney ortamından elde edilen veriler, sabit bir makinede, sabit bir kalıpta, aynı tedarikçiye ait hammadde kullanılarak ve sabit bir operatör tarafından yapılmıştır.

Bu çalışma, 27 faktörlü, iki düzeyli ve iki tekrarlı bir deneyin plastik enjeksiyon prosesinde fire analizinde kullanılması açısından ilktir. Faktör sayısının artması, daha objektif çıktılar elde edilmesini sağlamaktadır. Plackett-Burman tasarımının dezavantajı, etkileşim etkilerini ihmal ediyor olmasıdır. Bu deneyde de çok sayıda faktörün etkisini görebilmek amacıyla etkileşim etkileri ihmal edilmiştir. Çalışmamız, 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 faktör sayısı arttırılarak deneyler yapılabilir Ayrıca Plackett-Burman deney tasarımında proses üzerinde etkili olduğu belirlenen faktörler ile ayrıca tam faktöriyel deney tasarımı yapılabilir.

KAYNAKÇA

AKKURT, Selma, 2007, **Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı**, İstanbul, Birsen Yayınevi.

ARBURG, V. Goodship, 2004, **Practical Guide to Injection Moulding**, Rapra Technology Limited and Arburg Limited.

BAILEY, Richard A, 2008, **Design of Comparative Experiments**, ABD., Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics.

DEMİRER, Ahmet, ÇAKIRGI, Ertan, ÇOBAN, Aslan, DURAT, Mesut, 2009, *PP ve YYPE Malzemelerin Enjeksiyon Kalıplarında Üretmesinde Soğutma Sistemlerinin Parça Kalitesine Etkisi*, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, IATC'09, Karabük, s:1-2 .

ENGEL, 2005, **Plastik Parçalar Üzerindeki Yüzey Hataları**, İstanbul, Engel.

GUSTAFSSON, Anders, HERRMANN, Andreas, HUBER, Frank, 2007, **Conjoint Measurement Methods and Applications**, Almanya, Springer.

KURT, Mustafa, GİRİT, Oğuz, İNAN, Talat A., 2006, *Ürün Kalitesinde Kararlılığı Sağlayabilmek için Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Piezoelektrik Sensörler ile Denetimi*, **Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Market Dergisi**, No:2, s:9-10.

KRAUSS MAFFEI, 2001, **Guide to Surface Defects on Thermoplastic Injection Moulded Parts**, Lüdenscheid, Kunststoff Institut Lüdensheid.

MEGEP, 2006, **Plastik Teknolojisi, Enjeksiyon Makinelerinde Üretim**, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, Milli Eğitim Bakanlığı.

MENDENHALL, William, 1968, **Introduction to Linear Models and The Design and Analysis of Experiment**, ABD., Wadworth Publishing.

MOK, S.L., C.K. KWONG, W.S. LAU, 1999, *Review of Research in the Determination of Process Parameters for Plastik Injection Molding*, **Advances in Polymer Technology** , c:18, No:3, s:225-236.

MONTGOMERY, Douglas C, 2005, **Design and Analysis of Experiment**, ABD, John Wiley & Sons, Inc.

OKTEM, Hasan, ERZURUMLU, Tuncay, UZMAN, İbrahim, 2007, *Application of Taguchi Optimization Technique in Determining Plastic Injection Molding Process Parameters for a Thin-Shell Part*, **Materials and Design**, No.28, s:1171-1172.

POTSCH, Gerd, MICHAELI, Walter, 2007, **Injection Molding an Introduction**, Almanya, Hanser Gardner Publications.

RAUWEUDAAL, Chris, 2008, **Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion**, Germany, Hanser Garsner Publications Inc.

REKAB, Kamel, SHAIKH, Muzaffar, 2005, **Statistical Design of Experiments with Engineering Applications**, ABD, CRC Pres.

ROSATO, Dominick V., ROSATO, Donald V., ROSATO Marlane G., 2000, **Injection Molding Handbook**, ABD., Kluwer Academic Publishers.

ŞENOĞLU, Birdal, ACITAŞ, Şükrü, 2010, **İstatistiksel Deney Tasarımı**, Ankara, Nobel Yayınları.

ŞİRVANCI, Mete, 1997, **Kalite için Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı**, İstanbul, Literatür Yayınları.

TAMHANE, Ajit C., 2009, **Statistical Analysis of Designed Experiments**, ABD., John Wiley & Sons, Inc., Publication.

TURAÇLI, Hasan, 2003, **Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri**, İstanbul, Pagev Yayıncılık Turizm ve Tic. Ltd. Şti.

ZEYTİNOĞLU, Filiz Ç., 2009, *Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri için İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırması*, **İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, No:15, s:73-87.

ZHENG, Rong, ROGER I. Tanner, FAN, XI-Jun., 2011, **Injection Molding, Integration of Theory and Modeling Methods**, ABD., Spinder Hidelberg.