



**DÖKÜM HATALARININ DENEYSEL
TASARIM VE İSTATİSTİKSEL VERİ
ANALİZİ METODLARI KULLANILARAK
AZALTILMASI**

Birsen BEDİR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖKÜM HATALARININ DENEYSEL
TASARIM VE İSTATİSTİKSEL VERİ
ANALİZİ METODLARI KULLANILARAK
AZALTILMASI**

Birsen BEDİR
0000-0003-4188-7560

Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU
0000-0002-2744-2744
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

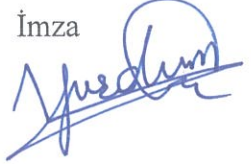
Birsen BEDİR tarafından hazırlanan “DÖKÜM HATALARININ DENEYSEL TASARIM VE İSTATİSTİKSEL VERİ ANALİZİ METODLARI KULLANILARAK AZALTILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU

Başkan: Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU
0000-0002-2744-2744
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Doç. Dr. A. Yurdun ORBAK
0000-0002-4921-4275
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Doç. Dr. Aytaç YILDIZ
0000-0002-0729-633X
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

..!./....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

05/09/2019

Birsen BEDİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DÖKÜM HATALARININ DENEYSEL TASARIM VE İSTATİSTİKSEL VERİ ANALİZİ METODLARI KULLANILARAK AZALTILMASI

Birsen BEDİR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU

Günümüz piyasa koşulları içerisinde, müşterilerin taleplerinin karşılanabilmesi ve rakiplerle rekabet edebilmek için birçok noktada kalite iyileştirme faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir. Döküm süreci de üzerinde iyileştirme yapılabilecek gerçek uygulamalı problemlerden bir tanesidir. Çalışma sırasında kum kalıba döküm metodu ile üretilen kapak parçasında oluşan çekinti hatasının azaltılması için deneysel tasarım metodu ve istatistiksel veri analizi metotları kullanılmıştır. Çekinti hatasına etki edebilecek faktörler belirlenmiş, deneyler yapılmış ve sonuçlarda da belirlenen faktörlerin çekinti oluşumunda etkisi olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deneysel tasarım, kesirli faktöriyel, döküm prosesi, çekinti.

2019, vii + 65 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**DECREASING CASTING DEFECTS BY USING EXPERIMENTAL DESIGN AND
STATISTICAL DATA ANALYSIS METHODS**

Birsen BEDİR

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU

Quality improvement activities should be carried out at many points, in order to meet the demands of the customers and compete with the competitors in today's market conditions. The casting process is one of the real practical problem that can be improved. During this study, experimental design methodology and statistical data analysis methods were used to decrease shrinkage defects at a casting part called cover, which is produced with the sand molding casting method. The factors that could effect the shrinkage problem were defined and experiments were done. Results showed that all defined factors are effecting the shrinkage defect ratio of this part.

Key words: Design of Experiment (DOE), fractional factorial design, casting process, shrinkage

2019, vii + 65 pages.

TEŐEKKÖR

BaŐta tez çalıŐmam boyunca beni yÖnlendiren, cesaretlendiren ve çalışmanın oluŐmasında bÖyÖk katkıları olan sevgili hocam Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU'ya teŐekkÖrÖ bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalıŐmam boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, en sıkıntılı zamanlarda hep yanımda olan sevgili eŐime, her an gÖlÖmseme sebebim biricik oğluma ve tÖm hayatım boyunca desteğini hep hissettiğim canım babama teŐekkÖrlerimi sunarım.

Birsen BEDİR
05/09/2019



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | vii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 3 |
| 2.1. Literatür Araştırması..... | 3 |
| 2.2. Deney Tasarımı..... | 5 |
| 2.2.1. Deney Tasarımı Tanımı..... | 6 |
| 2.2.2. Deney Tasarımı Tarihçesi..... | 7 |
| 2.2.3. Deney Tasarımı Amaçları..... | 7 |
| 2.2.4. Deney Tasarımı Temel Kavramları ve Tanımları..... | 8 |
| 2.2.5. Deney Tasarımı Uygulama Süreci..... | 9 |
| 2.3. Klasik Metodoloji ile Deney Tasarımı..... | 10 |
| 2.4. Faktöriyel Tasarım..... | 11 |
| 2.4.1. Tam faktöriyel tasarımlar..... | 11 |
| 2.4.2. Kesirli Faktöriyel Tasarımlar..... | 13 |
| 2.4.3. Plackett-Burman Tasarımı..... | 14 |
| 2.4.4. Rechtschaffner Tasarımı..... | 14 |
| 2.4.5. D-Optimal Tasarımı..... | 15 |
| 2.4.6. Taguchi Metodu..... | 15 |
| 2.5. Döküm Prosesi..... | 15 |
| 2.5.1. Döküm İmalat Yönteminin Tarihsel Gelişimi..... | 17 |
| 2.5.2. Kum Kalıba Döküm..... | 18 |
| 2.5.3. Hammadde ve Yardımcı Maddeler ile Tesis ve Ekipman Üretimi..... | 23 |
| 2.5.4. Döküm Proses Adımları..... | 23 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 32 |
| 3.1. Materyal..... | 32 |
| 3.2. Yöntem..... | 32 |
| 3.2.1. Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımının Kullanıldığı Durumlar..... | 33 |
| 3.2.2. Deneysel Tasarım Uygulama Adımları..... | 34 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA..... | 37 |
| 4.1. Uygun Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi..... | 37 |
| 4.2. Uygun Deney Tasarımının Oluşturulması..... | 40 |
| 4.3. Hipotezlerin Kurulması..... | 42 |
| 4.4. Deneylerin Gerçekleştirilme Süreci..... | 45 |
| 4.5. Verilerin Analizi..... | 47 |
| 4.5.1. Deney Sonuçlarının Analizi..... | 50 |
| 4.5.2. Regresyon ve ANOVA Tablosunun Analizi..... | 53 |
| 4.5.3. Faktör Etkileri..... | 58 |
| 5. SONUÇ..... | 61 |
| KAYNAKLAR..... | 63 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 65 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|------------------|--|
| X_k | k. Faktör (Bağımsız Değişken) |
| $X_k \times X_y$ | k. Faktörün y. faktör ile ikili etkileşimi |
| C | Karbon |
| Cr | Krom |
| Mg | Magnezyum |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|---|
| DT | Deneysel Tasarım |
| DOE | Design of Experiment (Deneysel Tasarım) |
| TÜDOKSAD | Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği |
| RSM | Yanıt Yüzeyi Modellemesi |
| ZSM-5 | Yüksek Silika İçeren bir zeolit türü |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 2.1. Bir sürecin genel modeli | 6 |
| Şekil 2.2. Klasik yöntem deney tasarımı süreci | 11 |
| Şekil 2.3. Deney sayısı ve faktör sayısı ilişkisi | 13 |
| Şekil 2.4. Kum kalıba döküm..... | 19 |
| Şekil 2.5. Yaş kum kalıplarda dayanımın nem oranı ve tane büyüklüğü değişimi | 20 |
| Şekil 2.6. Yaş kum kalıplarda geçirgenliğin tane büyüklüğü ve nem oranı ile değişimi | 21 |
| Şekil 2.7. Döküm proses adımları | 24 |
| Şekil 4.1. Döküm parça hata oranı Pareto analizi | 37 |
| Şekil 4.2. Kapak parçası süreç şeması | 38 |
| Şekil 4.3. Balık kılçığı diyagramı | 39 |
| Şekil 4.4. Hata oranı cevap değişkeni için hata grafikleri – 1..... | 52 |
| Şekil 4.5. Hata oranı cevap değişkeni için hata grafikleri – 2..... | 57 |
| Şekil 4.6. Ana etkiler..... | 58 |
| Şekil 4.7. İkili etkileşimler | 59 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. 2^3 Tam faktöriyel deney tasarımı matrisi | 12 |
| Çizelge 2.2. 2^{3-1} Kesirli faktöriyel deney tasarımı matrisi | 14 |
| Çizelge 4.1. Faktörler ve seviyeleri..... | 40 |
| Çizelge 4.2. Deney tasarımı | 41 |
| Çizelge 4.3. Deney tablosu..... | 46 |
| Çizelge 4.4. Deney tasarımı ve deney sonuçları | 49 |
| Çizelge 4.5. Olağandışı gözlemler | 53 |
| Çizelge 4.6. ANOVA tablosu | 53 |
| Çizelge 4.7. Regresyon analizi sonuçları | 56 |
| Çizelge 4.8. ANOVA tablosu | 56 |



1. GİRİŞ

Kalite yıllardır olduğu gibi günümüzde de rekabet açısından çok önem taşımaktadır. Kalitenin yanı sıra artan rekabet koşullarında düşük maliyetli ürün üretimi de öncelikli amaçlardan biri haline gelmiştir. Bu sebeptendir ki, deneysel tasarım ve istatistiksel veri analizi metotları geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Deneysel tasarımın amacı, bir süreç hakkında bilgi toplayarak, kalite karakteristiklerine etki eden faktörleri tanımlamak ve kaliteyi iyileştirmek için hangi faktörlerin ne seviyede olması gerektiğini, özetle optimum proses parametrelerini belirlemektir.

Deney tasarımı imalat süreçlerinin performansının iyileştirilmesi, süreç geliştirme, ürün geliştirme ve ürünlerin kalitesinin iyileştirilmesi gibi birçok mühendislik çalışmasında kullanılmaktadır. Deney tasarımı metodunun kullanılmasıyla mevcut süreçlerdeki değişkenlik miktarı azalmaktadır ve süreçten ya da üründen beklenen performans iyileşmektedir.

Bu çalışma sfero bir döküm parça olan kapak parçasındaki döküm hataları ile ilgilidir. Çalışmada çekinti hataları üzerine yoğunlaşılacaktır. Çekinti hatası çoğunlukla parça işlendikten sonra tespit edilebilen ve %100 göz kontrol gerektiren bir hatadır. Ancak işlendikten sonra tespit ediliyor olması ve %100 kontrol gerektirmesi yüksek maliyet oluşturmaktadır. Göz kontrolde tespit edilememesi durumunda, hidrolik pompanın diğer parçaları ile montajlanacak ve yüksek ihtimalle pompa yüksek basınç testi sırasında uyarı verecektir. Test esnasında da yakalanamama durumunda ise iş makinasında bir süre çalıştıktan sonra çekinti olan bölgeden başlayarak kapak parçasında kırılma gözlenecektir.

Döküm yöntemi ile parça üretimi süreçleri uzun ve zorlu bir prosestir. Bunun yanı sıra parça kalitesine etki eden birçok faktör söz konusu olabilmektedir. Ayrıca faktör sayısına bağlı olarak kalite hatasına yönelik yapılacak deney sayısının fazla olması ve döküm prosesinin tümünün uzun olması nedeni ile yüksek maliyet gerektirmektedir. Aynı zamanda da müşteri taleplerinin zamanında iletilmemesi riskini doğurmaktadır.

Bu çalışmada da kum kalıba döküm metodu ile üretilen bir parçanın kalite hatalarının iyileştirilmesi için ve optimum proses parametrelerinin tespit edilmesi için deneysel tasarım ve istatistiksel veri analizi metotları kullanılmıştır. Böylelikle daha kısa sürede en uygun proses parametreleri bulunmaya çalışılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Araştırması

Çalışmaya başlamadan önce deneysel tasarım metodu, istatistiksel veri analizi ve döküm üretim yöntemi ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. İlk olarak çalışmanın başlangıcında incelenen bazı makaleler hakkında bilgiler verilecektir.

Ronald A. Fisher istatistiksel deney tasarımını kullanan ilk kişi olarak bilinmektedir. İlk çalışmalarını tarım alanında 1920'li yıllarda gerçekleştirmiştir. 1920'lerin ardından günümüze kadar ilerleme kaydeden deneysel tasarım metotları sağlık alanından endüstriye kadar birçok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun en büyük sebeplerinden biri süreç hakkında bilgi sahibi olunmasını ve süreci iyileştirebilecek verileri sağlamasıdır (Roy 2001).

Deney tasarımı mühendislik çalışmalarında üretim aşamalarının performansını arttırmak amacıyla kullanılır ve oldukça başarılı sonuçlar veren bir iyileştirme tekniğidir. Ayrıca deney tasarımı, yeni oluşturulan bir üretim sürecinin ya da yeni üretilen bir ürünün geliştirilmesinde ya da iyileştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Deney tasarımı teknikleri ile yapılan süreç iyileştirme çalışmalarında alttaki sonuçlara ulaşılır (Montgomery 1991);

- Çıktı miktarı artar,
- Süreç içerisinde değişkenlik azalır,
- Süreç iyileştirme çalışmaları için gerekli zaman azalır,
- Maliyet azalır.

Deney tasarımı, mühendislik çalışmalarından tasarım aşamasında da yoğun olarak kullanılır (Montgomery 1991). Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Temel tasarım adımlarının geliştirilmesinde ve alternatif adımların birbirleri ile kıyaslanmasında,

- Malzeme alternatiflerinin karar aşamasında,
- Kaliteli ürün için gerekli tasarım parametrelerinin belirlenmesinde,
- Ürün performansını etkileyen temel tasarım parametrelerinin belirlenmesinde.

Gökçe B. ve ark. (2009), makalelerinde kaliteli ürün geliştirmek ya da üretmek için yapılan ve yapılması tavsiye edilen deney tasarımları hakkında bilgiler vermişlerdir. Çalışmalarında tam faktöriyel deney tasarımı ve kesirli faktöriyel deney tasarımından bahsetmişler, Taguchi metodunu da detaylı bir şekilde aktarmışlardır.

Kaya A. (2005), “Kalite Değiştirmede Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi” isimli çalışmasında kalite geliştirme çalışmalarının bazı temel kavramlarını araştırmıştır. Ayrıca Taguchi felsefesinin Deming’in yönetim prensipleriyle, batı endüstrinde yaygın olan bazı felsefe ve metodolojilerle uyumunu incelemiştir.

Gunasegaram ve ark. (2008), makalelerinde döküm parçada çekinti porozite hatasına etki eden faktörleri deneysel tasarım metodu ile incelemişlerdir. Ancak deneyleri fiziken gerçekleştirmemişlerdir. MAGMASOFT paket programı aracılığı ile deney tasarımında tanımlanan deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler paket program ile gerçekleştirildiği için deney tasarımında tekrar öngörülmemiştir. Deney sonuçları MINITAB 07 paket programı ile değerlendirilmiş ve muhtemel etkin faktörler ortaya konmuştur.

Zhang D. ve ark. (2009), etanolü şablon olarak kullanarak ZSM-5 sentezini kesirli faktöriyel tasarım yolu ile uygulamışlardır. Optimum sentez şartlarını oluşturmak için çoğu literatür çalışmalarında yer aldığı gibi tek değişkeni değiştirip, diğer değişkenleri sabit tutarak deneyleri yapmayı tercih etmemişlerdir. Bunun en temel sebebi klasik deney metodunun maliyetinin yüksek olması ve zaman kaybettirmesidir. Bunun aksine kesirli faktöriyel tasarım yöntemini kullanarak sonuca ulaşmışlardır.

Guharaja S. ve ark. (2004), döküm prosesi parametrelerinin optimizasyonu için Taguchi metodunu kullanarak çalışmışlardır. Çalışmalarındaki amaçları optimum proses parametrelerini tespit ederek küresel grafit dökme demir için optimum kalite karakteristiklerini tespit etmektir. Yapılan çalışma sonucunda, Taguchi’nin parametre

tasarımı yöntemiyle kaliteyi mümkün olan en düşük maliyetle iyileştirerek, gürültü faktörlerinin tepki parametreleri üzerindeki etkisinin daha az olduğu optimum sinyal faktörü seviyelerini tespit etmenin mümkün olduğunu kanıtlamışlardır.

Leardi R. (2009), çalışmasında kimya alanında deneysel tasarımı incelemiştir. Klasik metodoloji ile deneysel tasarımda yapılan bir değişkeni değiştirip diğerlerini sabit tutarak yapılan çalışmalar yerine deneysel tasarım metodlarının kullanılması durumunda elde edilebilecek bilgi kalitesinin artması açısından gerçek avantajları göstermeyi amaçlamıştır. Matematiksel açıdan incelemek yerine gerekli zihinsel tutuma odaklanmış ve birçok bilimsel çalışmadan farklı bir çalışma ortaya koymuştur.

Montorsi M. ve ark. (2015), seramik karo üretimi için inkjet baskı teknolojisindeki renk kalitesinin iyileştirilmesi ve kusurların azaltılması çalışmalarını deneysel tasarım metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Deneysel tasarım metodunu kullanmalarının gerekçesini de objektif bir veri elde etmeyi hedefliyor oluşları olarak dile getirmişlerdir. Çalışma boyunca özellikle, proses parametreleri ile dekore edilmiş çinilerin, renk ve yüzey kusurlarının varlığı açısından kalitesi arasındaki korelasyonlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Demir Ö. ve ark. (2016), çalışmalarında uygun deneysel tasarım tipinin seçimi, istatistiksel eleme ile faktör sayısının düşürülmesi ve yanıt yüzeyi modellemesi (RSM) ile ilaç formülasyonlarının optimizasyonu hakkında özet bilgi verilmesi amaçlanmış olup, bu yöntemlerin, ilaç formülasyonu geliştirmedeki uygulamalarından da kısaca bahsetmişlerdir.

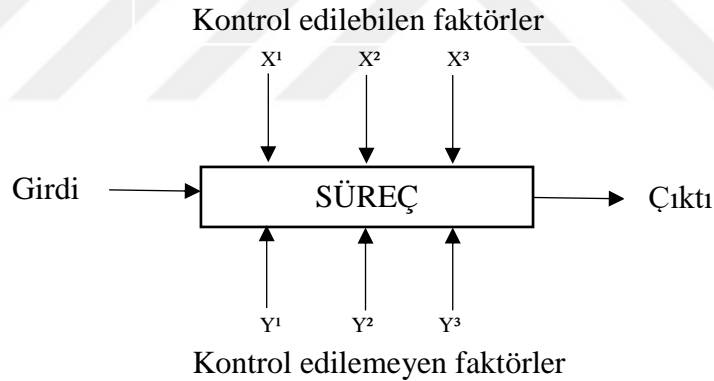
2.2. Deney Tasarımı

Şirvancı'nın (1997) tanımına göre deneysel tasarım "Etkenlerin değişik koşullarda bağımlı değişkeni nasıl etkilediğini araştırmak üzere gerekli tasarımları hazırlayan ve çözümlerini veren istatistik dalıdır."

Doğada her olay bir ya da birden fazla etkenin müdahalesi ile gerçekleşir ve bu durum deneyi karmaşık hale getirmektedir. Bağımlı değişken üzerinde istenmeyen etkenlerin müdahalesini ortadan kaldırmak ya da bunları kontrol altında tutabilmek gerçek hayatta zor olabilir. Deney tasarımı bu sorunlara yanıt arayan bir yöntemler topluluğudur.

2.2.1. Deney Tasarımı Tanımı

Deney tasarımı bir süreci iyileştirmek amacıyla, süreci etkileyen faktörlerin değerleri ya da kendilerinde değişiklikler yaparak, sürecin çıktısı üzerindeki değişkenliklerin gözlemlenmesi ve yorumlanmasıdır. Süreç, tanımlı bir ürün ya da hizmeti elde etmek için birbiriyle etkileşim halinde bulunan makine, malzeme, metot ve insan gibi kaynakların kullanıldığı faaliyetler dizisi olarak tanımlanabilir. Faktörler diğer adıyla bağımsız deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol edilebilen veya edilemeyen değişkenlerdir. Bir süreç ve bileşenleri genel olarak Şekil 2.1'deki gibi gösterilmektedir (Montgomery 1991).



Şekil 2.1. Bir sürecin genel modeli (Montgomery 1991)

İncelemeye alınan süreç üzerinde etkisi olduğunu düşündüğümüz kontrol edilebilen faktörlere değerler tanımlanıp, tüm deney boyunca sabit halde tutulabilir. Kontrol edilebilen faktörler, üretim parametreleri, ilerleme hızı, kullanılan takım türü, malzemenin tipi, fırın sıcaklığı, üretim süresi vb. olabilir. Bunların yanı sıra müdahale edilmesi zor ya da mümkün olmayan havadaki nem oranı, malzeme içerisinde eser miktarda bulunan kimyasal elementler vb. ise kontrol edilemeyen faktörler olarak adlandırılır (Demir 2004).

2.2.2. Deney Tasarımı Tarihçesi

Deney tasarımı ilk olarak 1920'lerde tarımda verimlilik çalışmalarında R. A. Fisher ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde deney tasarımı kalite geliştirmede, uygun parametre seçiminde ve süreç iyileştirme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şirvancı 1997).

Deney tasarımı teknikleri ilk olarak tarım ve biyoloji alanlarında uygulanmıştır. Tarım alanında, çeşitli gübre ve miktarları ile iklim şartlarının ve sulama miktarlarının çeşitli tarım ürünleri üzerinde etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. İlk endüstriyel uygulama ise 1930'larda İngiliz tekstil ve yün sanayisinde olmuştur. Deney tasarımı daha sonra kimya ve ilaç sektörlerinde de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları ancak 1970'li yıllarda Edwards Deming'in Japonya'da kaliteyi iyileştirme ve verimlilik üzerine yapılabilecek çalışmaları anlatmasının ardından Japonlar tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Deney tasarımı endüstriyel alanda kullanılmaya başlandıktan sonra üretim ve kalitesizlik maliyetleri düşmüştür (Montgomery 1991).

Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımı, Japon ürünlerinin nasıl kaliteli olduklarını araştırırken, tekrar keşfetmiştir. Deney tasarımı o tarihlerde Japonya'da Dr. Genichi Taguchi önderliğinde yoğun ve etkili bir şekilde uygulanmaktaydı. Taguchi deney tasarımı kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı sonuçlar alarak, deney tasarımının imalat sektöründe kendini ispatlamasını sağlamıştır (Şirvancı 1997).

2.2.3. Deney Tasarımı Amaçları

Deney tasarımının genel olarak amacı herhangi bir süreç hakkında bilgi toplayarak süreci etkileyen faktörleri belirlemek ve özellikle bu faktörlerin olması gereken seviyelerinin tespit edilmesidir. Böylelikle sürecin en etkin şekilde sonuç vermesini sağlayacak optimum parametre seviyeleri belirlenmiş olur ve sürecin etkinliği, kalitesi artmış olur.

Deney tasarımının amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Montgomery 1991):

- İlgilenilen bağımlı değişken üzerinde en çok etkili olan faktörleri belirlemek,
- İlgilenilen bağımlı değişkeni istenen değere en yakın kılan kontrol faktörleri kümesini belirlemek,
- İlgilenilen bağımlı değişkendeki değişkenliği en aza indirecek kontrol faktörleri kümesini belirlemek,
- Kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en aza indirecek kontrol faktörleri kümesini belirlemek.

Deney tasarımı yeni süreç geliştirmede ve mevcut bir süreci iyileştirmede önemli rol oynamaktadır. Özellikle yüksek maliyetli ve proses süresi uzun olan süreçler için daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle sonuçlar elde etmek deneysel tasarım yöntemleri ile mümkündür.

2.2.4. Deney Tasarımı Temel Kavramları ve Tanımları

Deney tasarımına ait temel kavramları alttaki şekilde sıralayabiliriz;

- **Bağımsız ve Bağımlı Değişken:** Bağımsız değişkenler, araştırmalarda değerleri belirli seviyelere ayarlanabilen değişkenlerdir. Bağımlı olarak adlandırılan değişkenler ise optimize edilmeye çalışılan değişkenlerdir ve sadece ölçülür ya da kayıt altına alınır (Gürsakal 2001).
- **Seviye:** Bağımsız olarak adlandırılan değişkenlere aynı zamanda faktör de denebilir. Faktörler için verilen değerler ya da tanımlamalar ise faktörlerin seviyelerini ifade eder. Örneğin; 2 seviyeli kurutma süresi için 10 dk ve 20 dk tanımlanabilir ya da 3 seviyeli boya değişkeni için kırmızı, mavi ve yeşil tanımlanabilir.
- **Varyans:** Mevcut veri setindeki değerlerin ortalamaya göre dağılımını ve değişimini gösterir.

Deney tasarımı yapılırken sürece etki eden faktörlerin seviyeleri değiştirilir ve deneyler yapıldıktan sonra elde edilen çıktılardaki değişim değerlendirilmeye çalışılır. Analiz aşamasında istatistiksel deney tasarımının doğru sonuç vermesi için, faktör ve seviyelerin

doğru tanımlanması, toplanan verilerin doğru olması büyük önem taşır. Bu sebeple her aşamada doğru veri kullanımına ve faktörlerin doğru tanımlanmış olmasına dikkat edilmelidir.

2.2.5. Deney Tasarımı Uygulama Süreci

Bir deney tasarımında izlenmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir (Kaya 2005);

- Problemin tanımlanması
- Bağımlı değişkenin tanımlanması
- İncelenecek faktör ve etkileşimlerin bilinmesi,
- Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi
- Uygun tasarımın seçimi
- Testlerin yürütülmesi
- Sonuçların analizi

Deney tasarımının uygulama aşamasında ilk adım “Problemin tanımlanması” adımıdır. Bu adımda deneyin amacı ile ilgili bilgiler toplanır ve deneyin amacı açık bir şekilde tanımlanır. Problemin açık ve net bir şekilde ortaya konması, sorunun en iyi şekilde anlaşılmasını ve problemin çözülmesini sağlayacaktır.

Deney tasarımının ikinci adımı bağımlı değişkenin yani çıktının tanımlanmasıdır. Hemen ardından ilgili sürece etki eden faktörlerin ve etkileşimlerinin belirlenir. Bu iki adım deneyin sağlıklı sonuçlar vermesi için büyük önem taşır. Ardından bu faktörlerin seviyelerinin tespit edilmesi gerekir. Bu adımda değerlendirilecek olan faktörlerin hangi seviyelerinde deneme yapılacağı, faktörlerin nasıl kontrol edileceği ve ölçüleceği belirlenir.

Faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri tanımlandıktan sonra süreç hakkında bilgi verecek çıktı yani bağımlı değişken tespit edilmelidir.

Deney tasarımının beşinci adımında ise söz konusu problemde hedefe bağlı olarak uygulanacak olan deney tasarımı türüne karar verilir. Bu adım örnek büyüklüğü kararını deneylerin yapılış sıralamasının kararını, bloklamanın yapılıp yapılmayacağına belirlenmesini ve diğer rassallık kısıtlarını içerir. Hangi deney tasarımı tekniğinin uygulanacağı deneyin amacına göre belirlenmelidir (Demir 2004).

Deney tasarımının altıncı adımı uygulama adımıdır. Seçilen deney tasarımı metoduna göre deneyler yapılır. Deneylerin yapılması aşamasında tasarımın dışına çıkacak şekilde deneyler yapılması deney tasarımı çalışmasının doğru sonuç vermemesine sebep olabilir. Tüm süreç yeniden başlatılmak durumunda kalabilir.

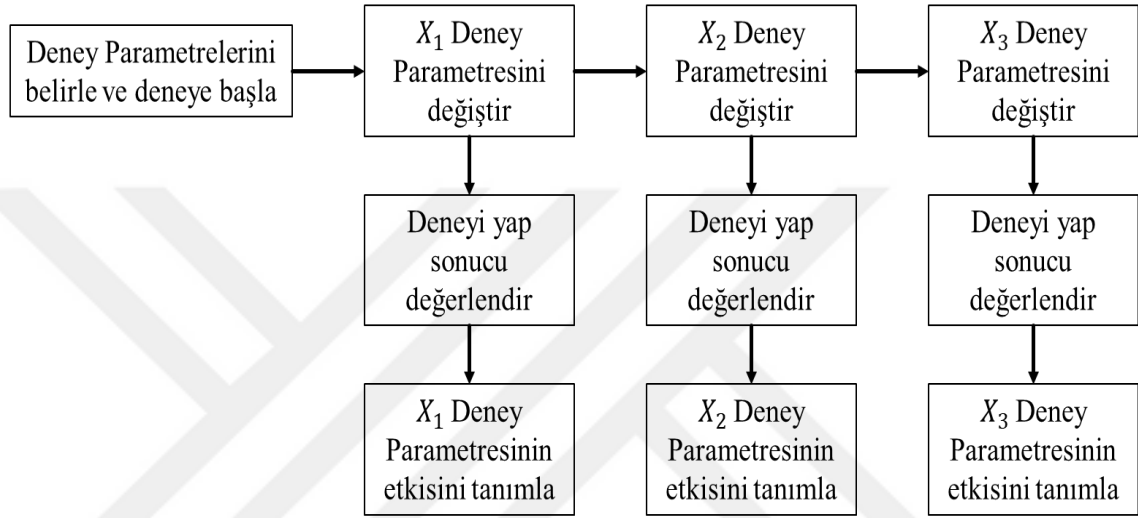
Deneyin tamamlanmasının ardından ortaya çıkan deney verileri, tarafsız sonuçlar elde etmek için istatistiksel metotlar ile değerlendirilir. Analizler için kullanılacak paket programlara örnek olarak MINITAB, SPSS, SAS vb. verilebilir. Verilerin yorumlanması için kullanılan en önemli tekniklerden birisi varyans analizidir. Varyans analizi neticesinde belirlenen faktörlerin bağımlı değişken üzerinde etkili olup olmadığı tespit edilmektedir. Varyans analizinin sonuçlarının uygunluğu, uygulanan modelin doğruluğuna bağlıdır. O nedenle modelin doğruluğunu kontrol etmek adına hata analizi yapılmalıdır (Sağol 2015).

Veri analizi tamamlandıktan sonra istatistiksel sonuçlar değerlendirilmelidir. Deney sonuçlarının geçerliliğini teyit etmek için de uygunluk testleri gerçekleştirilebilir. Tüm bu aşamalardan sonra incelenen problem hakkında geçerli bilgiler elde edilmiş olacaktır.

2.3. Klasik Metodoloji ile Deney Tasarımı

Klasik ya da geleneksel yöntem ile yapılan deney çalışmalarında, her defasında bir bağımsız değişken ya da faktör değiştirilir. Diğer bağımsız değişkenler ise sabit tutulur. Bu yöntem ile sistemin değişkenleri arasında o deneyde değiştirilenin sisteme etkisi araştırılır.

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi bir ürün geliştirmede ya da bir problemi çözmek için klasik metodoloji uygulanan tasarımlarda öncelikle deney parametreleri tanımlanır. Ardından her parametre ayrı ayrı değiştirilerek denemeye başlanır. Deneyde sırasıyla tüm parametreler değiştirilir, deneyin sonucu incelenir ve ilgili parametrenin deneye etkisi tanımlanmaya çalışılır, bu sırada diğer parametreler sabit tutulur (<https://www.slide share.net/HabipTaylan/deney-tasarm-10014223>, 2019).



Şekil 2.2. Klasik yöntem deney tasarımı süreci

2.4. Faktöriyel Tasarım

2.4.1. Tam faktöriyel tasarımlar

Klasik yöntem ile deney tasarımının aksine, tam faktöriyel tasarımlarda etkisi incelenecek bağımsız değişken ya da faktörün ve bu faktörlerin seviyelerinin tüm kombinasyonlarında deneyler yapılmaktadır. (Montgomery, 2009).

Tam faktöriyelde deney sayısı aşağıdaki formülle bulunur.

$$N = x^y * n \quad (2.1)$$

Burada “N” yapılacak deney sayısını, “x” seviyeyi, “y” faktör sayısını “n” ise tekrar sayısını gösterir. Örneğin 2 seviyeli, 3 faktörlü ve 2 tekrarlı bir deneyde $2^3 * 2 = 16$ deney yapılmalıdır.

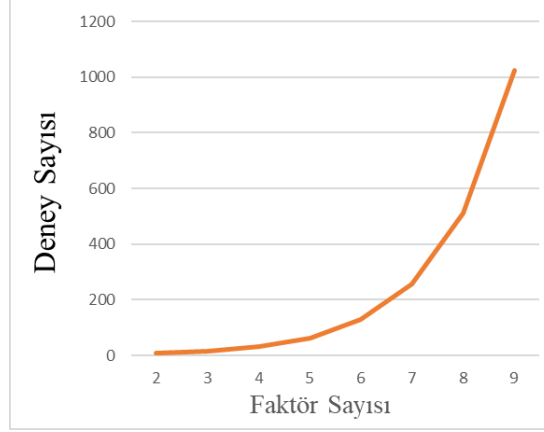
Çizelge 2.1. 2^3 Tam faktöriyel deney tasarımı matrisi

| Deney | X_1 | X_2 | X_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 | -1 | -1 | +1 |
| 2 | +1 | -1 | +1 |
| 3 | -1 | -1 | -1 |
| 4 | +1 | -1 | -1 |
| 5 | -1 | +1 | +1 |
| 6 | -1 | +1 | -1 |
| 7 | +1 | +1 | -1 |
| 8 | +1 | +1 | +1 |

Çizelge 2.1. 2^3 Tam faktöriyel bir tasarımı göstermektedir ve çizelgede yer alan “-1” ifadesi faktörün düşük seviyesini, “+1” ifadesi ise yüksek seviyesini göstermektedir.

Tam faktöriyel deneylerde faktörlerin tüm seviyelerine ait tüm ihtimallerin göz önünde bulundurulması deney sayısının çok artmasına sebep olur. Bu da maliyeti ve sonucun elde edilmesi için gerekli süreyi olumsuz yönde etkiler.

Ayrıca tam faktöriyel deney tasarımında faktör sayısı arttıkça deney sayısı parabolik olarak artmaktadır. Bu durumu ifade eden grafik Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Deney sayısı ve faktör sayısı ilişkisi

2.4.2. Kesirli Faktöriyel Tasarımlar

Bazı durumlarda tam faktöriyel deney tasarımı deney sayısı nedeni ile deney maliyetini çok arttırabilir. Ayrıca deney sayısı arttıkça sonuca ulaşmak için gerekli zaman da artacaktır. Bu gibi durumlarda yüksek dereceli etkileşimleri göz ardı edebilecek isek, odaklanmak istediğimiz noktalar ana etkiler ve düşük etkileşimler ise kesirli/kısmi faktöriyel tasarımlar tercih edilebilir.

Kesirli faktöriyel tasarımlarda deney sayısı aşağıdaki formülle bulunur.

$$N = x^{y-z} * n \quad (2.2)$$

Burada “N” yapılacak deney sayısını, “x” seviyeyi, “y” faktör sayısını, “z” ifadesi tam faktöriyele göre tasarımın boyutunu, “n” ise tekrar sayısını gösterir. Örneğin 2 seviyeli, 3 faktörlü ve 2 tekrarlı bir yarı kesirli faktöriyel deneyde $2^{3-1} * 2 = 8$ deney yapılmalıdır. Çizelge 2.2’de 2^{3-1} kesirli faktöriyele ait bir deney tasarımı görülmektedir.

Çizelge 2.2. 2^{3-1} Kesirli faktöriyel deney tasarımı matrisi

| Deney | X_1 | X_2 | X_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| 1 | -1 | +1 | -1 |
| 2 | +1 | -1 | -1 |
| 3 | -1 | -1 | +1 |
| 4 | +1 | +1 | +1 |

Çizelgede yer alan “-1” ifadesi faktörün düşük seviyesini, “+1” ifadesi ise yüksek seviyesini göstermektedir.

2.4.3. Plackett-Burman Tasarımı

Bu tasarım, iki seviyeli tam faktöriyel çözümlülük III tasarımıdır. Bu tasarım ile bir tek doğrusal modeller oluşturulabilir. Dolayısıyla ikili faktör etkileşimleri hakkında fikir vermez. Birçok faktör (örneğin 9 ve üzeri) arasından, çıktılara yüksek etkisi olabilecek faktör sayısının az olabileceği (örneğin 3-5 adet) öngörülebiliyorsa, uygun bir yöntemdir. Bu tasarımda, faktör sayısı + 1 adet kadar deneme yapılarak faktör sayısı düşürülebilir. Bu çalışmada değerlendirilecek olan döküm hatası için ikili etkileşimler de önem taşıdığından Plackett-Burman tasarımı uygun değildir (Demir 2016).

2.4.4. Rechtschaffner Tasarımı

Bu tasarım, çözümlülük V tipindeki 2^k ve 3^k faktöriyel tasarımlarının doymuş parçalarından oluşan ortogonal tasarımlardır. Tüm ana faktör etkileri ve birinci dereceden ikili etkileşimler, birbirine karıştırılmadan değerlendirilebilir. Özellikle 2^k Rechtschaffner tasarımı, 6 adet ve üzerinde faktör olduğunda ve ana faktör etkilerinin yanı sıra, ikili etkileşimlerin de değerlendirilmesi gerektiği durumlar için elverişlidir. 2^k Rechtschaffner tasarımı için yapılması gereken deneme sayısı $N= 1 + k + k(k-1)/2$ şeklindedir. Bu çalışmada incelenecek olan faktör sayısı 6 faktörün altında olduğu için Rechtschaffner tasarımı tercih edilmemiştir (Demir 2016).

2.4.5. D-Optimal Tasarımı

Demir ve ark. (2016) “İlaç Formülasyonu Geliştirilmesinde Deneysel Tasarım (DoE) Seçimi ve Kullanımı” isimli çalışmalarında; D-Optimal Tasarımını “Bu tasarım hem eleme hem de formülasyon optimizasyonu amacıyla kullanılabilen, klasik tasarımların aksine bilgisayar türetilmiş bir tasarımdır. Bu tasarımda, bilgi matrisinin determinant değeri en yüksek hale getirilerek, öngörülen regresyon katsayılarının toplam varyansının en düşük değere gelmesi sağlanır.” şeklinde açıklamışlardır.

2.4.6. Taguchi Metodu

Taguchi metodu; parametre tasarımı, sistem tasarımı ve tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deneysel tasarım ve optimizasyon yöntemidir. En yaygın olarak, kalite güvence sistemleri kapsamında toplanan verilerin istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Taguchi metodu, farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasında optimum kombinasyonu yakalamak adına oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Güral, 2003).

Taguchi metodunda, diğer deneysel tasarım metodlarının aksine kontrol edilemeyen faktörler de deney içerisinde yer alır. Böylelikle ortam koşulları taklit edilerek deney tüm yönleri ile incelenmeye çalışılır. Bu kontrol edilemeyen faktörlere gürültü faktörü denir. Taguchi metodu ile diğer yöntemlere göre çok daha az sayıda deney, çok daha fazla sayıda faktör incelenebilir. Ancak az sayıda deney yapıldığı için birbiri ile etkileşimli faktörlerin etkisi hesaplanırken zorluklar yaşanabilir. O nedenle Taguchi metodu ile tasarım oluştururken faktör ve seviyelerinin dikkatli bir şekilde tanımlanması gerekmektedir (Roy 2001).

2.5. Döküm Prosesi

Aran (2007) döküm prosesini “Döküm metal veya alaşımlarının eritilerek önceden hazırlanmış bir kalıp boşluğuna doldurulması ile parça imalatını kapsamaktadır. Bir adımda basit veya karmaşık şekilli parçalar eritilebilen herhangi bir malzemeden üretilebilir” şeklinde açıklamıştır.

Döküm çeşitlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz (Davis 1996).

- Kum kalıba döküm
- Metal kalıba basınçlı döküm
- Metal kalıba basınçsız döküm
- Savurma (santrifüj) döküm
- Sürekli döküm
- Hassas döküm
- Kabuk kalıba döküm

Bu çalışmanın uygulama kısmında kum kalıba döküm ile üretilen bir ürünün kalite hatalarını en aza indirmek üzere deneysel tasarım ve istatistiksel veri analizi metotları kullanılacaktır.

Döküm yönteminin birçok üretim yöntemine göre belirgin üstünlükleri aşağıdaki gibidir;

- Seri üretime uygun ve çok ekonomik bir yöntemdir.
- Boyut olarak çok büyük ve çok küçük parçalar üretilebilir.
- Aşınmaya karşı dayanımları birçok yöntemle göre daha başarılıdır.
- Özellikle dökme demirlerin titreşim sönümlenme özellikleri çok iyidir.
- Genellikle tüm alaşımların dökümü yapılabilmektedir (Aran 2007).

Döküm yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre zayıf olduğu noktalar aşağıdaki gibidir;

- Az sayıda ve küçük parça üretiminde ekonomik değildir.
- Volfram ve tantal gibi ergime sıcaklığı yüksek olan metaller için ideal bir yöntem değildir.
- Üretim ortamı çok pistir ve çoğunlukla çevreyi kirleten etkileri vardır.
- İnce kesitlerin elde edilmesi zordur (Gavas 2015).

2.5.1. Döküm İmalat Yönteminin Tarihsel Gelişimi

İnsanlık tarihinin en eski mesleklerinden biri olan metalleri işleme ve şekillendirmeye ait izler ilk M.Ö. 9000’li yıllara rastlamaktadır. Bulgular ilk olarak metal ve metal oksitlerinin kullanılmasına işaret etmektedir. Çayönü Tepesi ve Çatalhöyük’te M.Ö. 7500’e C14 radyografik analizleri ile tarihlenen bakır boncuk, çengel ve levhalar, madenlerin ilk olarak Anadolu’da kullanılmaya başlandığına dair örneklerdir (<http://www.moment-expo.com/dokum-sektoru-gelecege-kosuyor>, 2019).

Eski çağlarda kullanılan eritme ocaklarında genellikle bakır cevheri ile odun, tabakalar halinde doldurulur ve ayakla çalışan keçi derisi körükler yardımıyla eritilen metal, taş ya da pişmiş kilin işlenmesiyle oluşan kalıplara dökülürdü. İlk etapta yekpare kalıplarla balta ve benzeri yassı parça üretimi için kullanılan döküm tekniği, keskin hatları olmayan yuvarlak şekilli parçaların üretilmesi için iki veya daha çok parçalı kalıpların kullanımıyla geliştirildi. M.Ö. 2000 yıllarından itibaren parça içerisindeki boşlukların oluşturulabilmesi için kilden maçalar kullanılmaya başlandı. Bunun yanında kalıplamada mum modelleri kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terk etmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yöntemi de aynı dönemde gelişti. M.Ö.1500 yılından başlayarak döküm tekniğinin özellikle Mezapotamya ve Çin’de çok geliştirildiği ve Çinlilerin çok parçalı kalıplarla karmaşık parçaların üretiminde ustalaştığı görülmektedir (Uçar 2016).

Tüm bu teknikler savaşlar ve göçebe yaşam nedeni ile Akdeniz havzasına ve daha sonra Avrupa’ya kadar yayıldı. Avrupada ilk olarak kilise çanı dökümü ile başlayan döküm çalışmaları sonrasında bronz top dökümü ile devam etmiştir. Bunun yanında özellikle İtalya’da sanatsal döküm çalışmaları yapılmış, döküm teknolojisi hakkında ilk kitaplar yazılmıştır. Rönesans döneminden sonra özellikle sanat uygulamaları ve ticaret, bağımsız bir döküm sanayinin gelişmesine sebep olmuştur (Aran 2007).

Arsenikli bakırdan, bronz ve pirince uzanan değişik döküm imalatları, Kuzey Mezopotamya, Doğu ve İç Anadolu’da tarih boyunca var olmuş devletler tarafından kullanılmıştır. Tarihte ilk defa demir bir tahta Hitit Kralı oturmuştur. Osmanlı döneminde

döküm yönteminin ilk önemli uygulamaları askeri amaçlı olmuştur. Fatih Sultan Mehmet tarafından Topخانه'de kurulan top dökümhanesi, diğer padişahlar tarafından da geliştirilmiştir. Cumhuriyet döneminde de büyük dökümhaneler kurulmuştur. 1960'lardan sonra otomotiv ve inşaat sektöründeki gelişmelere paralel olarak ülkemizde döküm sanayi hızlı bir gelişme göstermiştir. Halen ülkemizde sanayinin yoğun olduğu bölgelerde farklı kapasitelerde birçok dökümhane bulunmaktadır (Anonim 2013).

Binlerce yıllık bir geçmişi olan döküm imalat yöntemi, en büyük gelişimi "Sanayi Devrimi" ile yaşamıştır. Bu gelişimde, klasik pik döküm yerine geliştirilen çelik, sfero, alüminyum ve magnezyum malzemelerin dökümü de önemli bir rol oynamaktadır (Anonim 2013).

Günümüzde en çok kullanılan döküm yöntemleri ve bu yöntemlerin metal üretimindeki payı yaklaşık olarak aşağıdaki gibidir (Gavas 2015).

- Kum kalıba döküm - %60
- Hassas döküm - %7
- Metal kalıba basınçlı döküm - %9
- Metal kalıba basınçsız döküm - %11
- Savurma döküm - %7
- Kabuk kalıba döküm - %6

Bu çalışma içerisinde incelenecek probleme konu olan parça kum kalıba döküm metodu ile üretildiğinden, kum kalıba döküm metodu daha detaylı incelenecektir.

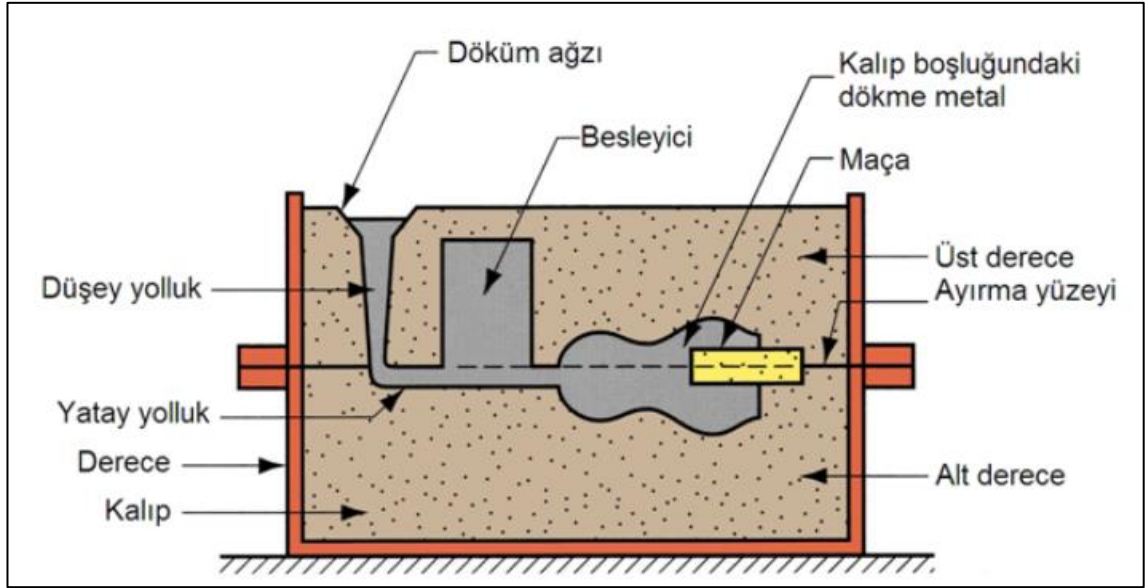
2.5.2. Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm en yaygın kullanılan döküm yöntemidir. Hemen hemen tüm metal ve alaşımlar kum kalıplar kullanılarak rahatlıkla şekillendirilebilmektedir. Ancak kum kalıp dökümcülüğünde üretim hızı genelde düşüktür. Özellikle oldukça karmaşık ve büyük metal parçaların dökümünde veya az sayıda döküm parçaya ihtiyacı varsa kum kalıba döküm işlemi tercih edilmektedir. Bu parçalar 30-40 gram olabildiği gibi 400-500 ton da olabilmektedir. Dişli, kasnak, krank mili, bağlama çubukları, pervane gibi nispeten küçük

parçalar ile motor blokları, motor manifoldları, silindir kafaları ve transmisyon kutusu gibi büyük otomobil parçalarının yapımında kum kalıba döküm yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin bir avantajı da çelik, nikel ve titanyum gibi yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin dökümüne imkan vermesidir (Gavas 2015).

Kum kalıba döküm işlemi; ergitme ocağı, ergitilecek metal, model ve kum kullanımını gerektirmektedir. Kalıplama işlemine başlamadan önce, dökülecek parça modeli, özel kalıp kumu, uygun ölçülerde ve sayıda derece (özel metal çerçeve) ve içi boş çıkması gereken döküm parçalar için ayrıca maça hazırlanması gerekmektedir. Kalıp boşluğu, derece içine konan bir model etrafının kalıp kumu ile sıkıştırılması ve daha sonra modelin sıkıştırılmış kumdan çıkarılması ile elde edilir. Genellikle iki parçalı olarak hazırlanan kalıplar yolluk, besleyici ve çıkıcı görevini yapacak boşlukları da içermelidir. Ergitme ocağında ergitilen metal ve alaşımlar kepçe veya taşıma potası ile taşınarak kalıp üzerinde önceden oluşturulmuş bu yolluk sistemi üzerinden kalıp boşluğuna dökülür. Metal katılaştıktan sonra, genelde iki parçalı olan kum kalıplar bozulur ve katılmış döküm parçalar kumdan çıkarılır (Gavas 2015).

Kum kalıba döküm görsel olarak Şekil 2.4'te görüldüğü gibi anlatılabilir. (<https://malzemebilimi.net/kum-kaliba-dokum-derece-ile-kaliplama-yontemi.html>, 2019)



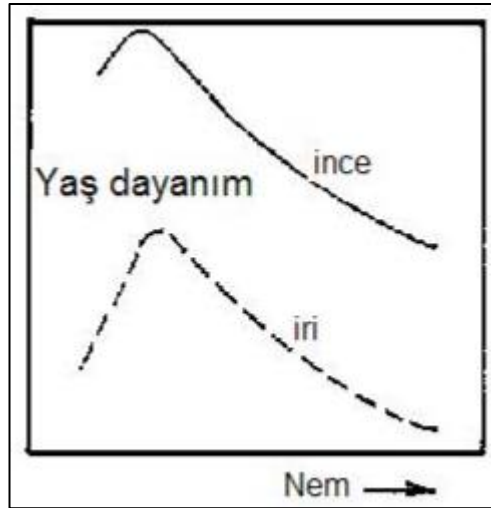
Şekil 2.4. Kum kalıba döküm

Kum Esaslı Kalıp Malzemelerinin Özellikleri

Kum esaslı kalıp malzemelerinin başlıca özellikleri dayanım, geçirgenlik, sertlik, genleşme ve yüzey kalitesi olup, bunlar kullanılan kumun tane biçimi tane büyüklüğü, tane dağılımı, bağlayıcı türü ve miktarı gibi faktörlerle belirlenir.

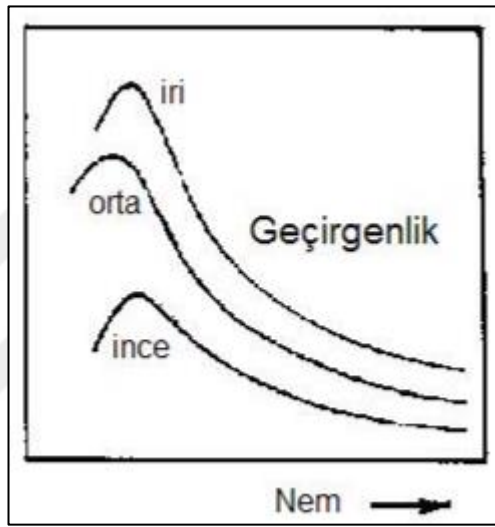
Dayanım: Kum esaslı kalıp malzemelerin dayanım özelliği, kalıbın biçimini koruma kabiliyetini göstermektedir. Karışım içerisindeki kum taneleri ne oranda ince ise toplam bağlama yüzeyi de o oranda fazla ve dayanım da bir o kadar yüksek olur. Ayrıca kum tanelerinin biçimi ve tane büyüklüğü, dağılımı, sıkı istiflemeye ne kadar uygun olursa, dayanım o kadar artacaktır. Dayanımı etkileyen önemli faktörlerden biri de, bağlayıcının türü ve miktarıdır. Ancak bağlayıcı miktarının artması ile kalıp geçirgenliği olumsuz etkileneceğinden bağlayıcı miktarı için en uygun değer aranır.

Kum-kil-su karışımları olan yaş kum kalıplarda dayanım, su miktarı ile çok değişir ve yüksek dayanımların elde edilebilmesi için su oranının çok iyi kontrol edilmesi gerekir. Şekil 2.5.'de yaş kum kalıplarında dayanımın nem oranı ve tane büyüklüğü ile etkileşimi verilmiştir (Aran 2007).



Şekil 2.5. Yaş kum kalıplarda dayanımın nem oranı ve tane büyüklüğü değişimi

Geçirgenlik: Döküm sırasında oluşan buhar ve diğer gazların kalıp malzemesi içinden geçerek kalıbı terk etmesini sağlayan özelliktir. Yuvarlak biçimli tanelerde taneler arası boşlukların hacim oranı büyüktür. O nedenle geçirgenliğin olumsuz etkilenmemesi için kum karışımında bu boşlukları doldurabilecek boyutta küçük tanelerin yer almaması gerekir. Ortalama tane büyüklüğü azaldıkça, taneler arasındaki aralıklar daralacağından, kalıbı terk edebilen gazın oranı da azalacaktır ve kalıbın geçirgenliği düzecektir. Şekil 2.6.'da yaş kum kalıplarda geçirgenliğin tane büyüklüğü ve nem oranı ile değişimi verilmiştir (Aran 2007).



Şekil 2.6. Yaş kum kalıplarda geçirgenliğin tane büyüklüğü ve nem oranı ile değişimi

Sertlik: Kalıp ile ilgili olarak kontrol edilecek noktalardan biri de kalıbın sertliğidir. Kalıp sertliği, kalıp yüzeyine tanımlanmış bir kuvvet ile uygun bilyanın batırılmasına karşılık kalıp malzemesinin verdiği direnç ölçülerek bulunur. Kalıbın sertliği ne kadar yüksek olursa döküm yüzeyi o kadar pürüzsüz olur. Dar tolerans aralıklarının da yakalanması daha kolay hale gelir. Ancak tüm bunların yanı sıra kalıbın geçirgenliği ise olumsuz yönde etkilenir.

Genleşme: Kalıp kumu, sıcaklığa maruz kaldığı zaman genleşmeye uğrayacaktır. Bu genleşme miktarı fazla olursa kalıp boşluğunun ölçüleri de değişeceğinden parçanın ölçüsel sorunlarına ortam hazırlayacaktır (Erbul 2017).

Aşırı sıkıştırılmış kum kalıplarda çatlama ve dökülmeler görülebilir. Bu nedenle kalıp malzemesi, kum tanelerinin genişmesine olanak tanıyacak şekilde hazırlanmalıdır. Kalıp kumunu aşırı sıkıştırmaktan kaçınılmalıdır.

Yüzey kalitesi: Üretilen döküm parçanın yüzey kalitesinin iyi olması istenirse ince taneli tercih edilmesi gerekir. Kum taneciği ne kadar ince olur ise yüzey kalitesi o oranda başarılı olacaktır. Geçirgenlik arttıkça yüzey kalitesi düşer. Taneler arası boşluklar azaldıkça da yüzey kalitesinin artması beklenir.

Döküm Prosesi için Gerekli Hammaddeler

Metalik Hammaddeler: Demir ve çelik döküm sektöründe kullanılan en önemli metalik hammaddeler, pik ve çelik hurdasıdır.

Silis kumu: Kumun esas bileşenidir. Kalıp kumunun büyük oranı silistir. Metalin erime sıcaklığının çok üzerinde 1700 °C ye kadar erimedenden kalabilir. Silisli kumların şekilleri çok farklı olabilir. Oval, yuvarlak, düzgün yüzeyli bazen de pürüzlü yüzeye sahip silis kumları kullanılabilir (Davis 1996).

Kumun tane büyüklüğü ve dağılımı, kalıp kumu karışımının birçok özelliğini belirler. İnce taneli kum kullanılması halinde döküm parçanın yüzey kalitesi daha iyi olur. Buna karşın iri taneli kum içeren kalıpların gaz geçirgenliği daha yüksektir. O nedenle talep edilen özelliğe göre silis kumu tercihi de şekillenecektir.

Yuvarlak şekilli tanelerde, birbirine değen yüzeyler az olduğundan geçirgenlik yüksek olur. Yuvarlak taneli kumların akıcılık özelliğinin oluşu, makinalı kalıplamada önemli bir avantajdır. Köşeli taneler ise daha yoğun olarak istiflenebilirler. Yuvarlak olmayan tanelerde birbirine değen yüzeyler daha yoğun olacağından, kalıbın dayanımı yüksek olacaktır (Aran 2007).

Kil: Kalıp kumuna gerekli bağlanma kuvvetini ithal eder, böylece kalıplama işleminden sonra kalıp şeklini kaybetmez. Ayrıca kilin miktarı azaldıkça da kalıbın geçirgenliği

azalacaktır. Kilin ticari olarak en yaygın kullanılanı bentonit olarak adlandırılır (Jain 2003).

Su: Kalıp kumu rutubetsiz veya çok az rutubetli olunca kuru halde görünür. Bu durumdaki kil bağlayıcılık özelliği gösteremez. Bunun için döküm kumlarına belirli oranda su katılır. Fazla su katılmamasına dikkat edilmelidir aksi takdirde kalıbın mukavemeti azalabilir (<https://rahmiunal.net/dersler/uretim/01dokum.pdf>, 2019).

Diğer Maddeler: İlave oksitler ve organik maddeler kalıp üretiminde kullanılacak kumun özelliklerini iyileştirmek için eklenebilir. Bunlar mısır unu, öğütülmüş zift, yumuşak kömür tozu, talaş, silis tozu, demir oksit gibi örneklendirilebilir (Jain 2003).

2.5.3. Hammadde ve Yardımcı Maddeler ile Tesis ve Ekipman Üretimi

Ayrıca üretim yapabilmek için döküm tesisinde bulunması gereken ekipmanlar ve ilave hammaddeler de altta sıralanmıştır (Jain 2003).

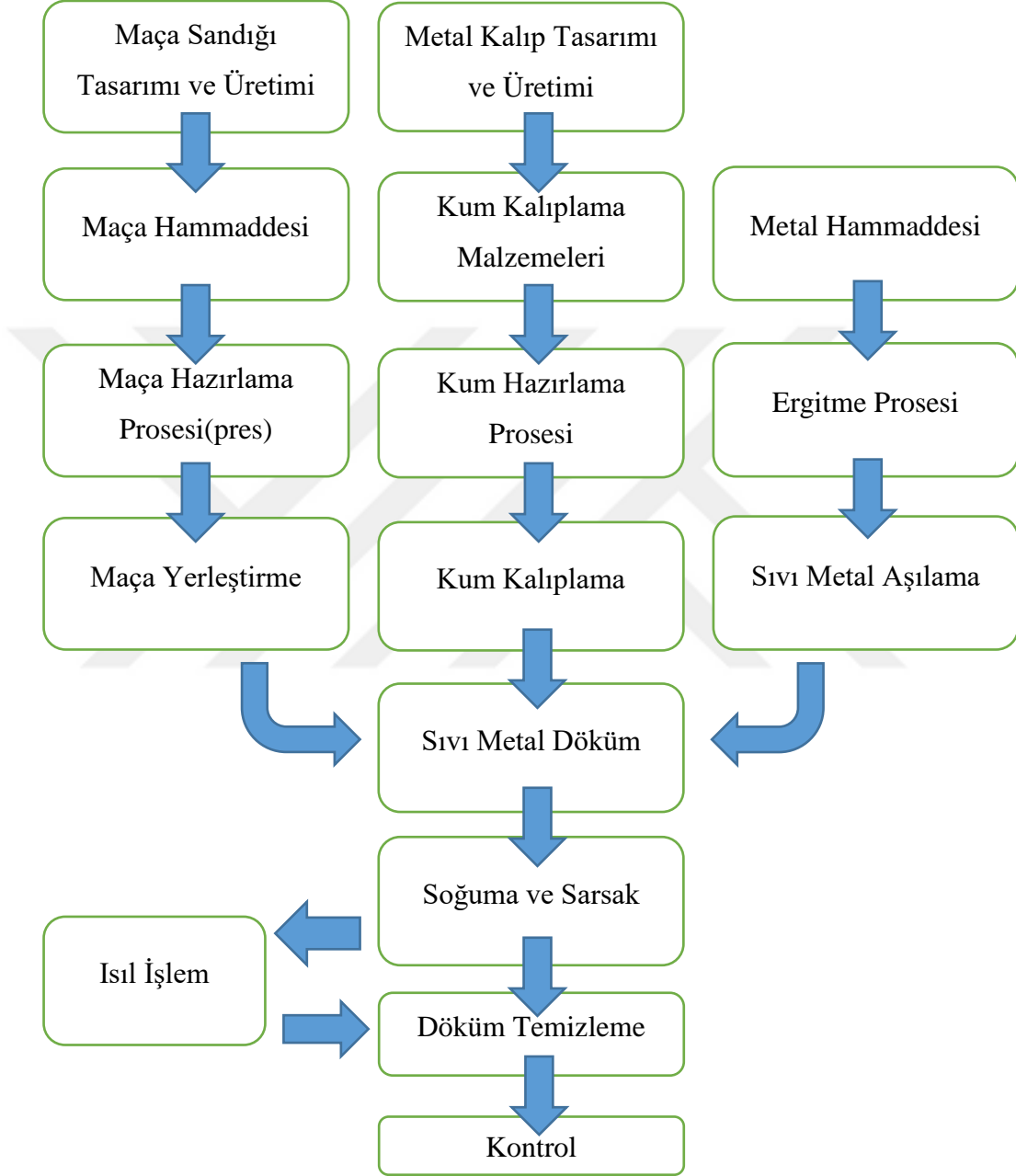
- Döküm Kimyasalları
- Endüksiyon, Ark Ocakları, Fırınlar
- Makine Teçhizat, Tesis üretimi
- Döküm kalıpları, Modeller

2.5.4. Döküm Proses Adımları

Kum kalıba döküm için temel proses adımları ve temel proses şeması Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Süreç akış şeması parça tipine ve gerekliliklerine göre zaman zaman değişiklikler gösterebilir.

- Metal kalıp / maça sandığı tasarımı ve üretimi
- Kalıp ve maça üretimi
- Ergitme
- Sıvı metalin dökülmesi ve katılaştırılması

- Biten döküm parçasının temizlenmesi
- Isıl işlem (gerekli ise)
- Kontrol



Şekil 2.7. Döküm proses adımları

Metal kalıp / maça sandığı tasarımı ve üretimi

Metal Kalıp/maça sandığı tasarımı ve üretiminde dikkat edilecek parametreler alttaki şekildedir.

- Çekme Payı: Dökülmüş sıvı metal katılaşma sırasında kendini toplar ve döküm parçanın boyutu küçülür ve bu sebeple modellerin bir miktar büyük tasarlanması gerekir. Bu paya çekme payı adı verilir. Bu pay parçanın boyutları, metalin türü, döküm kalıbının sıcaklığı ve kalıbın döküm esnasında metalin kendini çekmesine karşı gösterdiği dirence karşı göre hesaplanmalıdır (Aran 2007).
- Model/maça tasarımının konik yapılması: Model ve maça tasarımları yapılırken parçanın çıkarılması esnasında oluşabilecek pürüzlülük hataları ve yüzey hatalarını önlemek amacı ile konik tasarlanması gerekir. Hesaplanan açılı doğrultusunda tasarım konik olarak gerçekleştirilmeli ve parça çıkışı kolaylaştırılmalıdır (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf>, 2019).
- Modelin Kalıptan sökülmesi: Kum kalıba döküm metodu ile yapılan üretimlerde parçanın kalıptan çıkarılması zor olacağından kalıp çoğunlukla iki parça olacak şekilde tasarlanır.
- İşleme Payı: Nihai ürün teknik resimlerinde parça boyutları parçaların işlenmiş şekline göre verilir. Kum kalıp metodu ile üretilen parçalar çoğunlukla talaşlı imalat ile üretim sürecine devam ederler. Bu sebeple döküm parçalar işleme payı kadar büyük dökülmelidir ya da tasarım sırasında bu öngörülmelidir (Davis 1996).

Kalıp Üretimi

Kalıp yapımında esas malzeme kumdur. Kalıp kumu, silis + kil + rutubet'ten oluşur. Burada kumun asıl fonksiyonu ve ana görevi katılaşma işlemi tamamlanana kadar gerekli boşluğu korumasıdır. Sıvı metal boşluğu doldurana kadar bozulmadan kalıbın kalabilmesi için de bazı özellikleri karşılaması gerekmektedir. Bu özellikler alttaki şekilde sıralanabilir (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf>,2019).

- Gaz Geçirgenliği: Kum özelliklerinin anlatıldığı 2.5.2.1. *Kum Esaslı Kalıp Malzemelerinin Özellikleri* bölümünde de bahsedildiği gibi sıvı metal içerisinde olan ya da döküm sırasında reaksiyonlar oluşan gazların atılması gerekmektedir. Gaz geçirgenliği istenen oranda değilse ürün yüzeyinde kabarcıklar ve gözenekler gözlemlenebilir (Jain 2003).
- Mukavemet: Kum kalıbın döküm sırasında metalin basıncı ile bozulmamasıdır.
- Ateşe Dayanıklılık: Kalıp kumları ateşe dayanıklı olmadığı takdirde kum tanecikleri birbirine yapışır ve toprak haline dönüşürler. Bu durumda da sıcak metal kalıbı parçalayarak kalıbın dışına çıkar.
- Düzgün Yüzey: Döküm parça yüzeyinin pürüzlülük değerinin düşük olması talep edildiği halde, kalıbın parça yüzeyine yakın kısmının ince taneli kumdan üretilmiş olmalıdır.
- Yeniden Kullanma: Döküm üretm metodunda kalıp kumları sistem içerisinde yeniden kullanılabilir olmalıdır.
- Sünek: Yüksek sıcaklıkta sertleşmeden kalabilen kum sünektir (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf>, 2019).

Maça Üretimi

İçi boş olması gereken parçaların döküm işleminden sonra da boşluklu olabilmesi için, dökülen parçanın boş kısmının şeklini oluşturan negatif parçalara maça denir. Maça malzemeleri çoğunlukla kumdur. Ancak maça kumları kalıp kumundan farklı olmalıdır. En önemli fark da kalıp kumundaki kilin aksine bağlayıcıların kullanılmasıdır. Maça kumunda kullanılan bağlayıcıları iki grupta toplayabiliriz. Bunlar organik ve inorganik bağlayıcılar olarak adlandırılırlar. (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf>, 2019)

Organik bağlayıcılara örnek olarak reçine, maça yağları ve tahıl unları verilebilir. Mısır unu, buğday unu, nişasta gibi tahıl esaslı bağlayıcıların maça yağları ile kullanılması tercih edilir. En çok tercih edilen organik bağlayıcı reçinedir. Çoğunlukla sıcak kutu metodu ile 200-260°C arasındaki sıcaklıklarda pişirilerek sertleştirilen reçinelerin yanı

sıra, oda sıcaklığında reçinelerin, katalizör yardımı ile serleştirilmesi şeklinde üretilen soğuk kutu metodu da denen türleri mevcuttur (Aran 2007).

İnorganik bağlayıcılar ise killer, sodyum silikat, çimento, ve değişik kimyasal maddelerdir. İnorganik bağlayıcılar döküm sırasında gaz oluşturmadıkları için tercih edilebilirler ancak dökümden sonra kolay dağılmazlar (Aran 2007).

Maça kumlarında su da bulunur fakat suyun görevi bağlayıcılığın aksine, maça kumu içerisindeki diğer bağlayıcıların işlevini gerçekleştirmesini sağlamaktır. Katılan su miktarının doğru oranda olması gerekir. Az ya da çok olması durumunda maçalar istenen özellikte olmaz ya da pişirme süresinde uzamalar yaşanabilir (Davis 1996).

Maça Hazırlama Prosesinde kritik parametreler aşağıdaki gibidir;

- Maça mukavemeti
- Maça gazlarının sistemden uzaklaştırılması (azot, hidrojen vs..)
- Maça bağlayıcılarının içeriği (azot, hidrojen bileşiği)
- Maça nemi

Maçaların kalıp içine konumlandırılacağı göz önünde bulundurularak kum kalıp içerisinde gerekli boşluklar bir diğer adı ile maça yuvaları bırakılır. Maçaların kendi ağırlıkları ve ergimiş metalin kaldırma kuvvetiyle, konumlarının değişmemesi için önlemler alınmalıdır. Bunun için maça kilidi ya da desteklerinden yararlanılabilir. Maça destekleri döküm sırasında parçaya kaynayıp içinde kalacağından, dökülen metale yakın alanlardan tercih edilmelidirler (Aran 2007).

Maçalar genellikle ahşap, metal, plastik vb. malzemelerden yapılmış maça sandığı adı verilen kutularda, elle veya makinalarla sıkıştırılarak üretilirler. Maça sandıkları tek parça, iki parça ya da açılır kapanır olabilirler. Maçalara yeterli gaz geçirgenliği kazandırmak için iç kısımlarında hava kanalları açılabilir. Ayrıca, dayanımlarını arttırabilmek için maçaların içine destekleyici malzemeler konulabilir. Bu destekleyiciler tel ve çubuk şeklinde iskeletler olabilir (Aran 2007).

Maça üretiminde en yaygın olarak kullanılan makineler maça üfleyicisi olarak adlandırılan makinelerdir. Bu makineler maça kumunu kum haznesinden bir hava akımı aracılığı ile makinedeki maça sandığına taşırlar. Bu işlem çok kısa süre içerisinde gerçekleşir (Jain 2003).

Maçanın maça üfleyicisi makineden çıkmasının ardından sıvı yakıtlı veya elektrikli fırınlarda pişirilme süreci başlar. Pişirme sıcaklığı ve süresi ise maça içerisindeki bağlayıcı türü, su miktarı, maçanın boyutu vb. faktörlere göre değişkenlik gösterebilir (Jain 2003).

Maçalar döküm işleminden sonra katılaştıran metal içerisinde çekiçle sarsılarak ya da sarsak adı verilen makinelerde titreşimli bant üzerinde ilerletilerek çıkartılırlar. Maçaların ana maddesi kum olduğu için döküm sonrası kolaylıkla dağılmaktadırlar. Bu durum da maçanın parçadan uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır (<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf>, 2019).

Ergitme

Döküm yönetimi ile üretim metodunda ergitme prosesi en temel proseslerden biridir. Metalin yüksek sıcaklık altında eritilmesi için çeşitli eritme ocakları kullanılır. Ergitilecek metal ve çeşitli diğer maddeler ocak içerisine alınarak yüksek sıcaklık altında eritilir. Bunlar kupol ocakları, pota ocakları, elektrik ocakları şeklindedir. Bu çalışmada incelenecek olan parçanın üretimi sırasında pota ocağı kullanılmaktadır.

Ergitme prosesi prensibi şu şekilde açıklanabilir. Pota dışında yer alan endüksiyon bobininden geçen alternatif akım, devamlı yön değiştirerek elektromanyetik alanlar oluşturur. Malzeme içerisinde oluşan bu endüktiv elektrik alanları ise malzemenin öz direnci vasıtası ile ısı enerjisine dönüşür (Jain 2003).

Ergitme prosesi için kritik parametreler aşağıdaki gibidir;

- Şarj kimyasal kompozisyonu
- Şarj malzemelerinin kirliliği
- Aşılama malzemesi

Sıvı metalin dökülmesi ve katılaştırılması

Ergimiş metalin kalıp içerisinde istenen şekli alana kadar akacağı sisteme yolluk sistemi denir. Sıvı metal parça şeklinde açılan boşluğa ulaşabilmek için bu yolu takip eder. Yolluk sistemi aracılığı ile kalıbı dolduran metal boşluklar tamamen dolana kadar akmaya devam eder (Jain 2003).

Katılma ise yolluk aracılığı ile kalıp boşluğunu dolduran ergimiş metalin tekrar katı bir form almasıdır. Katılma ergimiş metalin içerisinde çekirdek oluşumu ile başlar, çekirdeklerin sıcaklığı düşmeye başladıkça, bu düşüşle orantılı olarak dentrit haline dönüşür. Dentritler sıcaklık düşmeye devam ettikçe büyür ve birbirleri ile temas ederler. Temas sonrasında da tane denen yapılar oluşur ve katılma süreci sora erer (Davis 1995).

Sıvı metalin dökülmesi ve katılaştırılması prosesinde kritik parametreler alttaki şekildedir.

- Döküm sıcaklığı
- Döküm hızı, türbülans riski
- Soğuma hızı
- Kalıbın kapatılması esnasında kum parçalarının kırılma riski

Biten Döküm Parçasının Temizlenmesi

Ergitilmiş metal kalıp içerisinde katıldıktan sonra parçanın bir süre belirli bir sıcaklığı yakalayan kadar kalıp içerisinde kalması gerekir. Bu sıcaklık değeri bazı kriterlere göre belirlenir. Kısaca bu kriterler aşağıdaki şekildedir (Jain 1995).

- Katılma sürecinin ardından kalıp bozulduktan sonra, biçimini koruyabilir dayanımda olmalıdır.
- Katılma süreci tamamlanan parçanın kendi formuna ulaşabilmesi için kalıp mümkün olduğunca erken bozulmalıdır.
- Kalıp bozulduktan sonra parçada hızlı soğumalar olabilir, bu soğumalara karşılık da parçada çarpılmalar ya da gerilmeler olabileceğinden sıcaklık hesaplanırken bu durum hesaba katılmalıdır. Sıcaklık hesaplaması sırasında dikkate alınacak bir diğer nokta ise ilgili malzeme özelinde oluşabilecek iç yapı değişimleridir.

Katılmanın ve parçanın kalıptan çıkarılmasının ardından halen bitmiş ürüne ulaşılmamıştır. Bir takım bitirme ya da temizleme adımı verilen ilave işlemler daha gereklidir. Bunlar yolluk ve çıkıcıların parçadan uzaklaştırılması, temizleme, çapak alma, onarım, gerekli ise ısıl işlem ve son yüzey temizleme adımları olarak adlandırılır (Aran 2007).

Kalıp içerisinde katılması tamamlanan parçanın, tanımlanan sıcaklığa kadar kalıp içinde soğuması gereklidir. Kalıbın üretildiği yöntem, parça şekli ve dökümün ana malzemesine bağlı olarak bu sıcaklık belirli kriterlere göre tanımlanır (Aran 2007).

- Kum kalıp dağıtıldığında, parça katılmış olmalı ve şekilsel bozulmalar yaşamamalıdır.
- Kalıptan çıkarma sıcaklığı tanımlanırken faz diyagramı gözden geçirilmeli ve olası iç yapı problemleri öngörülmelidir.
- Kum kalıbın dağıtılmasından sonra başlayacak hızlı sıcaklık düşüşü parçada iç gerilmeye sebep olabilir. Aynı zamanda soğuma kaynaklı çarpılmalar da görülebilir.
- Kalıp içinde katılma evresini tamamlayan parçanın serbestçe nihai şeklini alabilmesi için kalıp çok uzun süre bekletilmeden dağıtılmalıdır.

Biten döküm parçasının temizlenmesi prosesinde dikkate alınması gereken kritik parametreler aşağıdaki gibidir:

- Sarsak hızı ve süresi

- Taşlama talimatı
- Kumlama süresi
- Kum tanecik büyüklüğü

Isıl İşlem

İlgili döküm parçanın üretim süreçlerinde parçadan istenen teknik özellikleri karşılayabilmek için ısıl işlem adımı tanımlanabilir. Döküm parça için ısıl işlem proseslerine örnek olarak aşağıdaki iki tür ısıl işlemi verebiliriz.

- Ferritik Tavlama (<%15 perlit): Döküm parçalar 1-4 saat 850-900°C’de tutulur. Bundan sonra fırında çok yavaş olarak 650°C’ye kadar sıcaklığı düşürülür. Ardından fırından çıkarılır ve oda sıcaklığında soğuması beklenir. Böylece parçaya ferritik bir yapı kazandırılır.
- Gerilim giderme tavlama: Parçanın yapısında artık gerilimleri minimize ederek daha sonraki üretim aşamaları ya da parçanın son kullanımında oluşabilecek boyutsal değişim risklerini azaltır (Davis 1995).

Isıl işlem prosesinde kritik parametreler aşağıdaki gibidir:

- Isıl işlem süresi
- Isıl işlem sıcaklığı
- Homojen sıcaklık dağılımı
- Parça dizilimi

Kontrol

Tüm proses adımları tamamlanmış parçanın ölçüsel kontrolleri ilgili ölçüm aletleri ile yapılırken bazı yüzeysel döküm hataları göz kontrole tabi tutulur. Ayrıca gözle görülemeyen diğer döküm hataları için ultrason cihazı, röntgen cihazı ya da X-Ray cihazı kullanılabilir. Bu çalışmada incelenecek olan çekinti hatası ise işleme sonrası göz kontrol ile tespit edilebilmekte olup, hatanın kanıtlanması için parça ilgili bölgeden kesilerek tahribatlı kontrol yapılabilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada kum kalıba döküm metodu ile üretilen sfero kapak parçasında yüksek oranda tespit edilen çekinti hatasının hata oranının, deneysel tasarım ve istatistiksel veri analizi metotları kullanılarak azaltılması hedeflenmiştir.

Çalışmaya konu olan parça sfero döküm parçası olup iş makinaları için tasarlanmış yüksek basınçla çalışan pompalarda kullanılmaktadır. İlgili parçaya kapak ismi verilmektedir ve kum kalıba döküm metodu ile otomatik kalıplama hatlarında üretilmektedir.

Dökümün kalitesine etki eden birden fazla değişken söz konusudur. Döküm prosesi aynı anda birçok değişkenin etkileşim halinde olduğu oldukça zor ve karmaşık bir prostedir. Prosesin karmaşıklığının yanı sıra kalite hatalarının tespit edilebildiği proses adımları da değişkenlik göstermektedir. Yüzeysel gaz boşlukları, artı metaller, kum batması vb. bazı döküm hataları final kontrolde tespit edilebilirken, birçok hata döküm parçanın yüzeyine yakın bölgelerde gizli olduğu için parça işlenmeden tespit edilememektedir. Parça işlendikten sonra hatalarının tespit ediliyor olması ise verimlilik kaybının yanı sıra yüksek işleme ve hata maliyetlerine neden olmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada mümkün olan en kısa sürede ve en az maliyet ile sonuca ulaşmak hedeflenmektedir.

3.2. Yöntem

Döküm prosesinde kalite hatasını önlemeye yönelik yapılacak çalışmalar, döküm prosesinin tümünün oldukça uzun sürmesi ve birden fazla olan değişken için yapılacak deneme sayısının çok olması, yüksek maliyet ve müşterinin üretimini durdurma riski içermektedir. Problemin çözülebilmesi için deneysel çalışmalar yapmak problemin çözümünün vazgeçilemez bir unsurudur.

Deneysel çalışmalarda kısa sürede ve daha düşük maliyetle, doğru bir sonuca varabilmek için, deney tasarımının uygun şekilde tasarlanması, faktörlerin de uygun şekilde belirlenmesi ve deney çıktısının ne olacağı net olmalıdır.

Sfero kapak parçasındaki yüksek oranda tespit edilen çekinti hatasının hata oranının azaltılması için gerçekleştirilen bu çalışmada tam faktöriyel deney tasarımı öngörülmemiştir. Bunun sebebi faktör sayısına bağlı olarak tam faktöriyel deney tasarımında, deney sayısının fazla olması ve döküm prosesinin maliyetli oluşudur. Ayrıca müşterinin sevkiyat baskısı söz konusudur. Bu nedenle kısmi faktöriyel deney tasarımı metoduna göre deneyler tasarlanacak ve uygulanacaktır.

3.2.1. Kısmi Faktöriyel Deney Tasarımının Kullanıldığı Durumlar

Tam faktöriyel deney tasarımı çalışmalarında faktörlerin tüm seviyelerinin diğer faktörler ile birleşimlerinin tamamı deneye tabi tutulduğundan maliyet yükselmektedir. Ayrıca deneyler için harcanan zaman da artmaktadır. Kısacası tam faktöriyel deney tasarımının sonuçlanması uzun süre ve maliyet gerektirmektedir.

Maliyetten ve zamandan kazanmak sistematik bir şekilde deney sayısını azaltmak kesirli faktöriyel deney tasarımı ile mümkündür. Örneğin 8 faktörlü ve 2'şer seviyeli bir deney tam faktöriyel olarak yapıldığında $2^8 = 252$ deney yapılması gerekir. Bunun $\frac{1}{2}$ kesiri yani 128 deney, ya da $\frac{1}{4}$ yani 64, ya da $\frac{1}{8}$ yani 32 deney ile yapılabilir (Gökçe 2009).

Eğer araştırmacı yüksek dereceli etkileşimleri ihmal edebilirse, ana etkiler ve düşük dereceli etkileşimler kısmi faktöriyel deney tasarımı ile ortaya konabilir.

3.2.2. Deneysel Tasarım Uygulama Adımları

Deney tasarımı uygulama adımları yedi aşamadan oluşmakta olup aşağıda anlatılmaktadır.

Problemin Tanımı

Deneysel tasarım ya da başka bir deyişle deney çalışmaları bir prosesle, sistemle ilgili bilgi alınması, proses girdilerinin optimum seviyelerinin belirlenmesi, girdilerin çıktı üzerine etkilerinin tanımlanması için yapılır. O nedenle çalışmaya başlamadan önce problemin ne olduğu çok net ifade edilmelidir. Bu çalışmada kapak parçası döküm hatalarının deneysel tasarım ve istatistiksel veri analizi metotları kullanılarak azaltılması planlanmaktadır. Kısaca bu problem hidrolik pompa montajı öncesi işlenen kapak parçasında çıkan döküm hatalarının azaltılması problemidir.

Cevap Değişkeninin Seçimi

Cevap değişkeni bağımlı değişkeni ifade eder. Bağımlı değişken, yani cevap değişkeni bağımsız değişkenlerin etkilerine ve birbirleri ile etkileşimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Cevap değişkenine karar verilirken seçilen değişkenin deneyin amacına yönelik olmasına dikkat edilmelidir. Cevap değişkeni deneyin amacı hakkında kesin bilgiler vermelidir. Cevap değişkeninin nasıl ölçüleceği ve bu ölçümlerin güvenilirliği hakkında da dikkatli olunmalıdır (Durakovic 2017).

Problem, döküm parça hata oranının azaltılması olduğu için, bu problemde cevap değişkeni olarak, çekinti hata oranı seçilmiştir. Döküm parçalar işlendikten sonra yapılacak kalite kontrol aşaması ardından ilgili lot içerisindeki hatalı parça sayısına bağlı yüzdesel olarak hata oranı tanımlanacaktır.

Uygun Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

Hedeflenen çıktıyı ya da cevap değişkenini etkileyen her girdi bağımsız değişken olarak adlandırılabilir. Bir başka deyişle hedefi etkileyen her bağımsız değişken bir faktör olarak adlandırılır. Bir süreçten hedeflenen sonucu, çıktıyı alamıyorsak, sürecin iyileştirilmesi gerekir. Bu iyileştirme çalışmalarında sürece etki eden bağımsız değişkenleri tanımlamak için balık kılçığı, beyin fırtınası, süreç akış şeması vb. metotlar kullanılır (Durakovic 2017).

Bu çalışmada bağımsız değişkenleri tanımlamak için balık kılçığı (sebep sonuç diyagramı) kullanılacaktır.

Uygun Deney Tasarımının Oluşturulması

Tanımlanan cevap değişkeni problemin bağımlı değişkenidir. Problemin bağımlı ve bağımsız değişkenlerinin tanımlanması ve ardından belirlenen faktörlerin seviyeleri doğru şekilde tanımlandıktan sonra sıra uygun deney tasarımının belirlenmesine gelir. Tasarımı seçerken etkenler faktörlerin seviyelerine, deneylerin gerçekleşme sırasına, bloklama yapılıp yapılmayacağına, rastgeleleştirme durumuna bağlıdır. Bu aşamayı gerçekleştirmek için istatistiksel paket programları kullanılabilir (Demir 2004).

Tasarımın seçiminde deneyin amacından sapılmamalıdır. Yapılan mühendislik çalışmalarının birçoğunda hangi faktörlerin değişime etki ettiği bilinmektedir. O nedenle mühendislik deneyleri çoğunlukla optimum seviyenin tespit edilmesi amacıyla gütmektedir.

Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Tasarlanan deney tasarımına göre deneyler gerçekleştirilirken, tüm çalışmalar plan dâhilinde olmalıdır. Deneylerin gerçekleştirilmesi aşamasında yapılacak hatalar deneyin geçerliliğinin kaybedilmesine sebep olabilir. Genellikle tasarlanan deneyler öncesinde bir kaç deneme veya pilot deneyler yapılması faydalı olabilmektedir. Bu pilot deneyler,

deneyde kullanılacak materyallerin uygunluğu hakkında da bilgi verir, ölçüm sisteminin gözden geçirilmesini de sağlar ve deneysel hatalar hakkında da kabaca fikir verir (Ensarioğlu 2015).

Deneý Sonuęlarının İstatistiksel Analizi

Verilerin analizi aşamasında istatistiksel metotlar objektif yaklaşmamızı sağlar. Eęer deneý tasarımı doğru ve uygulama aşamamız da plan dahilinde yapıldı ise çok detaylı istatistiksel analiz olmaksızın sonuca ulaşılabilir. Bu aşamaya kadarki tüm adımlar doğru şekilde organize edildiği takdirde cevap aranan problemler ve cevap bekleyen sorular kolaylıkla çözümlenebilir.

Bu aşamada veri analizi için paket programlar kullanılır. Bu çalışmada elde edilen deneý sonuçları MINITAB 18 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

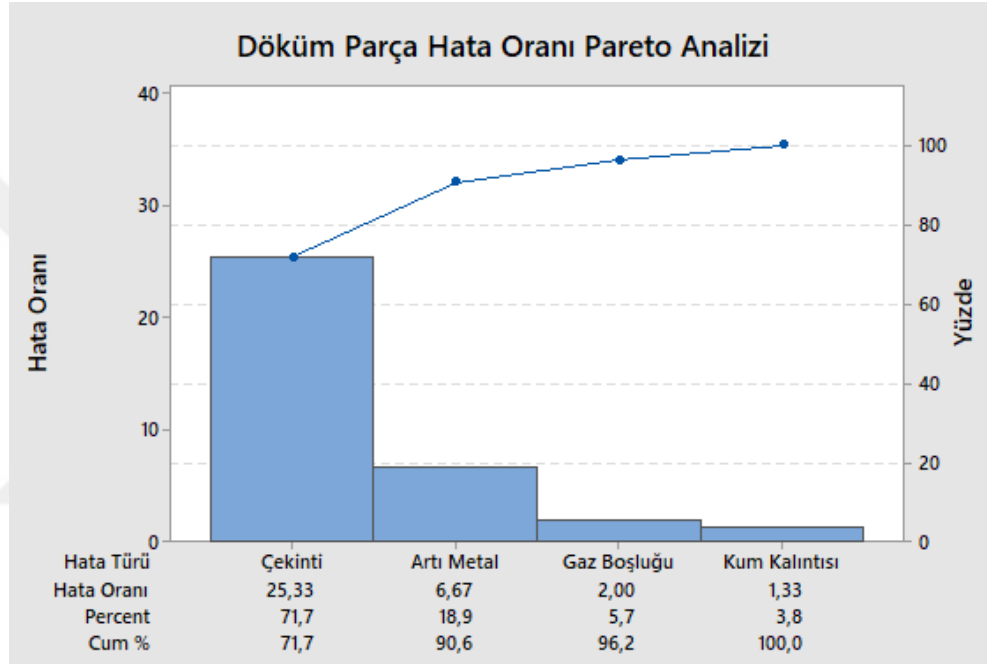
Bulgular ve Öneriler

Analiz sonrasında çeşitli grafikler ve tablolar eşliğinde çıkan sonuçlar değerlendirilir ve verilerin dağılımına bakılır. Hataların normal dağılımı temsil edip etmediği kontrol edilir ve objektif sonuçlar elde edilir. Hangi bağımsız değişkenin, bağımlı değişken üzerinde hangi oranda etkili olduğu belirlenir ve hedef doğrultusunda optimum proses parametreleri ya da soruların yanıtları bulunur.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Uygun Faktör ve Seviyelerin Belirlenmesi

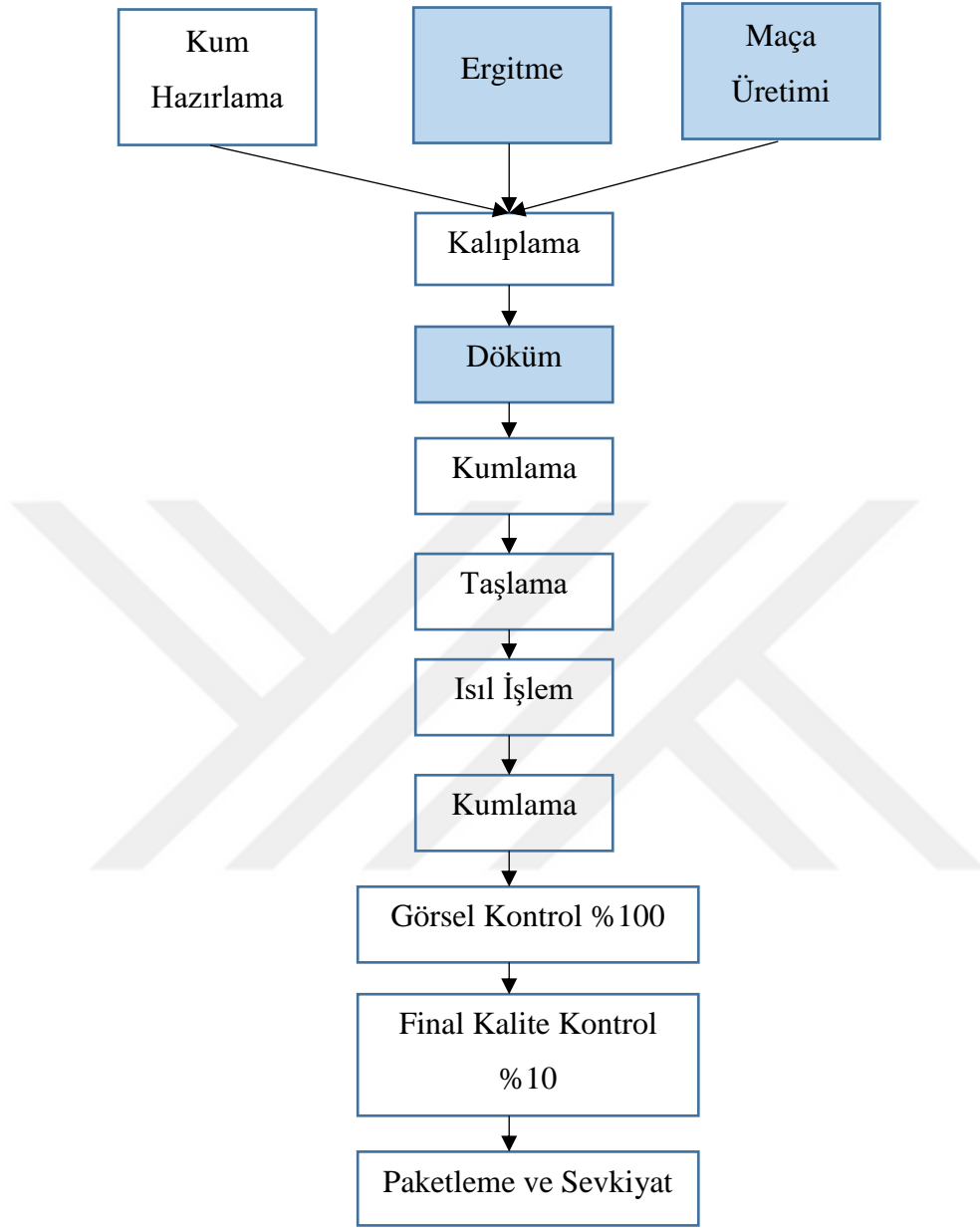
Şekil 4.1. kapak parçasındaki hata çeşitleri ile ilgili Pareto diyagramı olup, kapak parçasında oluşan tüm hata çeşitleri incelenmiş ve en yüksek oranda görülen çekinti problemi üzerine odaklanılmıştır.



Şekil 4.1. Döküm parça hata oranı Pareto analizi

Öncelikle ilgili parçanın Şekil 4.2.'de belirtilen süreç şeması incelenmiş ve hatanın oluşabileceği proses adımları tespit edilmiştir. Hataya sebep olan faktörlerin etkili olduğu proses adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

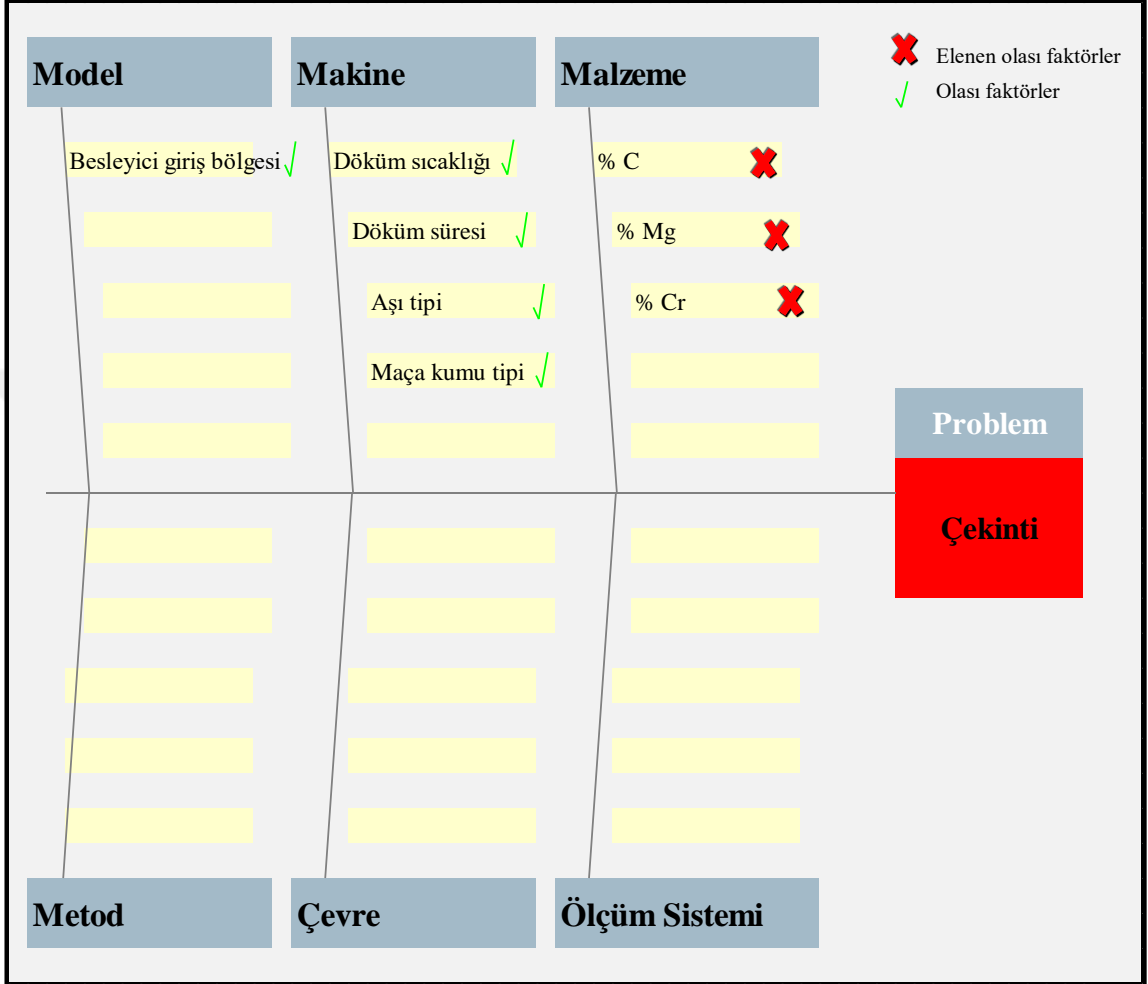
- Maça Üretimi
- Ergitme
- Döküm



Şekil 4.2. Kapak parçası süreç şeması

Ardından da bu probleme sebep olabilecek potansiyel kök nedenler balık kılçığı metodu ile belirlenmiştir. Şekil 4.3. konuyla ilgili yapılan balık kılçığı diyagramını göstermektedir. Balık kılçığı uygulaması sırasında dökümhane çalışanlarının tecrübelerinden faydalanılmıştır. Olası faktör olarak belirlenen kimyasal elementler (C, Mg, Cr) döküm parçasının nihai mekanik özelliklerini sağlamakta ana rolü üstlenmektedir.

Kimyasal elementlerin az da olsa çekinti hatasına etkisi olabilir, ancak bu elementlere müdahale edildiğinde mekanik özelliklerde de sapmalar yaşandığından müdahale edilmesi tercih edilmemektedir. Bu sebeple kapsam dışı bırakılmıştır.



Şekil 4.3. Balık kılıcı diyagramı

Balık kılıcı çalışmasının ardından döküm reçeteleri incelenip, beyin fırtınası yapılarak ilgili faktörler için seviyeler tanımlanmıştır. Bu faktör ve seviyeler Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Faktörler ve seviyeleri

| Faktör | 1.Seviye (-) | 2.Seviye (+) | Açıklama |
|----------------------------------|---|--|---|
| X_1 Besleyici Giriş Bölgesi | Parça üzerinde böbrek bölgesine yakın | Parça üzerinde böbrek bölgesine uzak | Böbrek bölgesine yakın bir besleyici ile en son soğuyan bölge ilgili alan olacağından çekinti hatasını iyileştirmeye yardımcı olabilir. (Böbrek bölgesi olarak tanımlanan alan parçanın orta kısmında maça boşluğunun yer aldığı ince cidarlı bölgedir.) |
| X_2 Maça Kumu Tipi | Düşük gaz geçirgenliği (Küçük taneli) | Yüksek gaz geçirgenliği (iri taneli) | Maça kumu tipi gaz geçirgenliği özelinde çekinti hatası için etkili olabilir, çünkü hatanın tespit edildiği bölge maça yüzeyine yakın bir bölgededir. |
| X_3 Aşı Tipi | X | Y | Aşı, döküm grafit parçacıklarının çekirdeklenen kısımlarının sayısının artırılması yoluyla dökme demirin yapı ve özelliklerinin iyileştirilmesidir. Aşı tipine göre içerisinde yer alan nadir elementler grafit yapısında küreselleşmeye katkıda bulunduğundan yüksek oranda bulunan nadir elementler çekintiye sebep olabilir. |
| X_4 Döküm Süresi | 8 sn | 12 sn | Merkez nokta olarak nominal değer olan 10 sn deney tasarımına eklenmiştir. |
| X_5 Döküm Sıcaklığı | 1400 °C | 1420 °C | Merkez nokta olarak nominal değer olan 1410 °C deney tasarımına eklenmiştir. |

4.2. Uygun Deney Tasarımının Oluşturulması

Toplam 5 faktörlü ve her faktör için tanımlanmış 2 seviyeli bir tasarım için tam faktöriyel bir deney tasarımı ele alındığında $2^5 = 32$ adet deney yapılması gerekmektedir. Döküm sürecinin maliyetli olması ve nihai sonuca ulaşmak için gereken sürenin uzun olması nedeni ile $\frac{1}{2}$ kesirli faktöriyel tasarım kullanılarak $2^{5-1}=16$ deney ile bu çalışma sonuçlandırılabilir. Fakat güvenilirliği arttırmak için deneyler 2 kez tekrarlanacaktır. Bu şekilde toplam 32 deney ile problem sonuçlanabilir. Ancak problemimizde yer alan faktörler 2 seviyelidir ve 2 seviyeli faktöriyel denemelerde dağılımın doğrusal olması beklenir. Eğer faktörler arasındaki etkileşim eğrilik gösteriyorsa, sonuçlar yanlış yönlendirebileceğinden, merkez nokta tanımlanarak eğrilik değerlendirilebilir. Bu nedenle nicel olarak seviyeleri belirtilmiş olan faktörler için merkez noktalar

tanımlanmıştır. Merkez noktaları içeren deneyler de eklendiğinde toplamda 40 deney ile bu problem değerlendirilecektir.

Problem için oluşturulan deney tasarımı çizelgesi alttaki şekildedir. Deney tasarımı çizelgesinde faktörler A,B,C,D,E olarak tanımlanmıştır. Tasarımda bloklama yapılmamıştır. Merkez noktaların da ilavesi neticesinde Çizelge 4.2’de görünen 40 deneylik bir tasarım ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.2. Deney tasarımı

| Run | Blk | A | B | C | D | E |
|-----|-----|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | + | + | + | 0 | 0 |
| 2 | 1 | + | + | - | - | + |
| 3 | 1 | + | - | - | - | - |
| 4 | 1 | - | - | + | 0 | 0 |
| 5 | 1 | + | - | + | - | + |
| 6 | 1 | + | + | - | 0 | 0 |
| 7 | 1 | - | - | + | - | - |
| 8 | 1 | + | - | + | + | - |
| 9 | 1 | - | + | + | - | + |
| 10 | 1 | + | - | + | - | + |
| 11 | 1 | + | + | + | - | - |
| 12 | 1 | - | - | - | 0 | 0 |
| 13 | 1 | - | - | - | - | + |
| 14 | 1 | - | - | - | - | + |
| 15 | 1 | - | + | - | - | - |
| 16 | 1 | - | + | - | 0 | 0 |
| 17 | 1 | - | + | - | - | - |
| 18 | 1 | - | - | + | - | - |
| 19 | 1 | + | - | + | + | - |
| 20 | 1 | - | - | + | + | + |
| 21 | 1 | - | + | + | - | + |
| 22 | 1 | - | + | + | + | - |
| 23 | 1 | + | + | + | + | + |
| 24 | 1 | - | - | + | + | + |
| 25 | 1 | + | + | + | - | - |
| 26 | 1 | - | + | + | 0 | 0 |
| 27 | 1 | + | - | - | 0 | 0 |
| 28 | 1 | + | - | + | 0 | 0 |
| 29 | 1 | - | - | - | + | - |
| 30 | 1 | + | + | - | + | - |
| 31 | 1 | + | + | + | + | + |
| 32 | 1 | - | - | - | + | - |
| 33 | 1 | + | - | - | - | - |
| 34 | 1 | - | + | - | + | + |
| 35 | 1 | + | + | - | + | - |
| 36 | 1 | + | + | - | - | + |
| 37 | 1 | - | + | - | + | + |
| 38 | 1 | - | + | + | + | - |
| 39 | 1 | + | - | - | + | + |
| 40 | 1 | + | - | - | + | + |

Deneyin Kimliği;

Faktörlerin tanımlandığı Çizelge 4.1’de belirtilen X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 faktörlerinin deney tasarımı tablosundaki faktörler ile ilişkisi alttaki şekilde belirtilebilir.

$$X_1 = A \quad X_2 = B \quad X_3 = C \quad X_4 = D \quad X_5 = E \quad (4.1)$$

Buna bağılı olarak deneyin kimliğı ortaya konulduğunda alttaki şekilde deney açıklanabilir. Kimlik tüm faktörlerin +1 olduğu deneydir.

$$I = ABCDE \quad (4.2)$$

Eşdeşlikler ise alttaki şekilde sıralanır.

$$\begin{array}{lll}
 A=BCDE & AB=CDE & BD=ACE \\
 B=ACDE & AC=BDE & BE=ACD \\
 C=ABDE & AD=BCE & CD=ABE \\
 D=ABCE & AE=BCD & CE=ABD \\
 E=ABCD & BC=ADE & DE=ABC
 \end{array} \quad (4.3)$$

Deneyin yukarıda belirtilen kimliğı incelediğinde çözünürlük V tasarımı olduğu görülmektedir. Bu tasarıma göre ana etkiler ve ikili etkileşimler başka ana etkiler ve ikili etkileşimler ile karışmaz ancak ikili etkileşimler üçlü etkileşimler ile karışabilir. Bu nedenle bu tasarıma göre sadece ana etkiler ve ikili etkileşimler incelenecektir.

4.3. Hipotezlerin Kurulması

Yapılan çalışmanın amacı kum kalıba döküm metodu ile üretilen sfero kapak parçasının hata oranının azaltılması ve çekinti hatasına etki eden faktörler için optimum değerlerin belirlenmesidir. Çalışmanın devam edebilmesi için öncelikle problemin sonucuna yönelik, değişkenlerin etkisi ile ilgili önermelerin tanımlanması gerekmektedir. Çözülecek problem ile ilgili tanımlanan, doğruluğı henüz test edilip kanıtlanmamış önermelere hipotez denir. Bu çalışmada çözümlenmesi hedeflenen problem için oluşturulmuş hipotezler aşağıda belirtilmiştir.

Problem için tanımlanmış hipotezlerde,

- μ_i Besleyici giriş bölgesi faktörünün i.seviyesinin etkisini,
- ∂_j maça kumu özelliği faktörünün j.seviyesinin etkisini,
- e_1 aşı tipi faktörünün k.seviyesinin etkisini,
- σ_l döküm süresinin l.seviyesinin etkisini,
- λ_m döküm sıcaklığı faktörünün m. seviyesinin etkisini,
- $(\mu\partial)_{ij}$ besleyici giriş bölgesi ve maça kumu özelliği faktörleri arasındaki etkileşimi,
- $(\mu e)_{ik}$ besleyici giriş bölgesi ve aşı tipi faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(\mu\sigma)_{il}$ besleyici giriş bölgesi ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(\mu\lambda)_{im}$ besleyici giriş bölgesi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(\partial e)_{jk}$ maça kumu özelliği ve aşı tipi faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(\partial\sigma)_{jl}$ maça kumu özelliği ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(\partial\lambda)_{jm}$ maça kumu özelliği ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(e\sigma)_{kl}$ aşı tipi ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimi,
- $(e\lambda)_{km}$ aşı tipi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimini,
- $(\sigma\lambda)_{lm}$ döküm süresi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimi ifade etmektedir.

Besleyici giriş bölgesi faktörünün çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: \mu_i=0$$

$$H_1: \mu_i \neq 0, \text{ herhangi bir } i \text{ için, } i=1,2$$

Maça kumu özelliği faktörünün çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: \partial_j=0$$

$$H_1: \partial_j \neq 0, \text{ herhangi bir } j \text{ için, } j=1,2$$

Aşı tipi faktörünün çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: e_k=0$$

$$H_1: e_k \neq 0, \text{ herhangi bir } k \text{ için, } k=1,2$$

Döküm Süresi faktörünün çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: \sigma_l=0$$

$$H_1: \sigma_l \neq 0, \text{ herhangi bir } l \text{ için, } l=1,2$$

Döküm Sıcaklığı faktörünün çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: \lambda_m=0$$

$$H_1: \lambda_m \neq 0 \text{ herhangi bir } m \text{ için, } m=1,2$$

Besleyici giriş bölgesi ve maça kumu özelliği faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\mu \partial)_{ij}=0$$

$$H_1: (\mu \partial)_{ij} \neq 0, \text{ herhangi bir } (i, j) \text{ çifti için, } i=1,2; j=1,2$$

Besleyici giriş bölgesi ve aşı tipi faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\mu e)_{ik}=0$$

$$H_1: (\mu e)_{ik} \neq 0, \text{ herhangi bir } (i, k) \text{ çifti için, } i=1,2; k=1,2$$

Besleyici giriş bölgesi ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\mu \sigma)_{il}=0$$

$$H_1: (\mu \sigma)_{il} \neq 0, \text{ herhangi bir } (i, l) \text{ çifti için, } i=1,2; l=1,2$$

Besleyici giriş bölgesi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\mu \lambda)_{im}=0$$

$$H_1: (\mu \lambda)_{im} \neq 0, \text{ herhangi bir } (i, m) \text{ çifti için, } i=1,2; m=1,2$$

Maça kumu özelliği ve aşı tipi faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\partial e)_{jk}=0$$

$$H_1: (\partial e)_{jk} \neq 0, \text{ herhangi bir } (j, k) \text{ çifti için, } j=1,2; k=1,2$$

Maça kumu özelliği ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\partial\sigma)_{jl}=0$$

$$H_1: (\partial\sigma)_{jl}\neq 0, \text{ herhangi bir } (j, l) \text{ çifti için, } j=1,2; l=1,2$$

Maça kumu özelliği ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\partial\lambda)_{jm}=0$$

$$H_1: (\partial\lambda)_{jm}\neq 0, \text{ herhangi bir } (j, m) \text{ çifti için, } j=1,2; m=1,2$$

Aşı tipi ve döküm süresi faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (e\sigma)_{kl}=0$$

$$H_1: (e\sigma)_{kl}\neq 0, \text{ herhangi bir } (k, l) \text{ çifti için, } k=1,2; l=1,2$$

Aşı tipi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (e\lambda)_{km}=0$$

$$H_1: (e\lambda)_{km}\neq 0, \text{ herhangi bir } (k, m) \text{ çifti için, } k=1,2; m=1,2$$

Döküm süresi ve döküm sıcaklığı faktörlerinin arasındaki etkileşimin çekinti hata oranına etkisini test etmek üzere;

$$H_0: (\sigma\lambda)_{lm}=0$$

$$H_1: (\sigma\lambda)_{lm}\neq 0, \text{ herhangi bir } (l, m) \text{ çifti için, } l=1,2; m=1,2$$

4.4. Deneylerin Gerçekleştirilme Süreci

40 deneyden oluşan deney tasarımına göre üretim organizasyonu yapılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.

Döküm prosesinin ardından parçalar işlemeye alınmış ve sonrasında yapılan ısıl işlem prosesinin ardından parçalar göz kontrole tabi tutulmuştur. Göz kontrol sonrası sonuçlar

kayıt altına alınmıştır. Hata kataloğuna göre uygun olmayan parçalar hatalı kabul edilmiş ve her lottan hatalı olarak tespit edilen bir adet parçadan kesit alınarak hata kanıtlanmıştır. Çizelge 4.3'te MINITAB 18 programında analiz edilecek olan hata oranı sonuçlarının işleneceği deney tablosu mevcuttur.

Çizelge 4.3. Deney tablosu

| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı |
|--------------|--------------|--------------|--------|----------------------------|--------------------------|----------|-----------------|--------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 |
| 20 | 3 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 |
| 23 | 4 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 |
| 30 | 5 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 |
| 34 | 6 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 |
| 18 | 7 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 |
| 11 | 8 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 |
| 26 | 9 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 |
| 2 | 10 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 |
| 36 | 11 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 |
| 9 | 12 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 |

Çizelge 4.3. Deney tablosu (devam)

| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı |
|--------------|--------------|--------------|--------|-------------------------------|----------------------------|----------|-----------------|--------------------|
| 28 | 13 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 |
| 22 | 14 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 |
| 24 | 15 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 |
| 29 | 16 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 |
| 13 | 17 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 |
| 39 | 18 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 |
| 40 | 19 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 |
| 14 | 20 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 |
| 8 | 21 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 |
| 7 | 22 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 |
| 4 | 23 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 |
| 10 | 24 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 |
| 32 | 25 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 |
| 16 | 26 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 |
| 17 | 27 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 |

Çizelge 4.3. Deney tablosu (devam)

| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı |
|--------------|--------------|--------------|--------|----------------------------|--------------------------|----------|-----------------|--------------------|
| 3 | 28 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 |
| 19 | 29 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 |
| 25 | 30 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 |
| 37 | 31 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 |
| 6 | 32 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 |
| 33 | 33 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 |
| 27 | 34 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 |
| 15 | 35 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 |
| 35 | 36 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 |
| 31 | 37 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 |
| 38 | 38 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 |
| 12 | 39 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 |
| 21 | 40 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 |

4.5. Verilerin Analizi

Tasarıma uygun olarak her bir deney kombinasyonu için 2 adet gözlem ve merkez noktaların eklendiği 8 deney yapılmış olup analiz aşamasında toplamda 40 gözlem alınmıştır. Analiz aşamasında sırasıyla, faktör etkileri incelenmiş, varyans analizi yapılmış ve regresyon modeli oluşturulmuştur ve hata analizi yapılmıştır.

Deneysel Çizelge 4.3.'de görülen deney tasarımı matrisi kodlama yöntemi ile MİNİTAB 18 istatistik paket programı yardımıyla oluşturulmuştur. Deney tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen hata oranları Çizelge 4.4'de verilmiştir. Hata oranları için çıkan sonuçların yüzdesinin küçük olması beklenir.

Çizelge 4.4. Deney tasarımı ve deney sonuçları

| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı | Hata Oran |
|--------------|--------------|--------------|--------|-------------------------------|----------------------------|----------|-----------------|--------------------|--------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 | 6 |
| 5 | 2 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 | 6 |
| 20 | 3 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 | 19 |
| 23 | 4 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 | 12 |
| 30 | 5 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 | 16 |
| 34 | 6 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 | 24 |
| 18 | 7 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 | 27 |
| 11 | 8 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 | 12 |
| 26 | 9 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 | 20 |

Çizelge 4.4. Deney tasarımı ve deney sonuçları (devam)

| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı | Hata Oranı |
|--------------|--------------|--------------|--------|----------------------------|--------------------------|----------|-----------------|--------------------|---------------|
| 2 | 10 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 | 26 |
| 36 | 11 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 | 16 |
| 9 | 12 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 | 8 |
| 28 | 13 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 | 17 |
| 22 | 14 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 | 15 |
| 24 | 15 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 | 22 |
| 29 | 16 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 | 3 |
| 13 | 17 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 | 2,5 |
| 39 | 18 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 | 14 |
| 40 | 19 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 | 16 |
| 14 | 20 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 | 22 |
| 8 | 21 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 | 19 |
| 7 | 22 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 | 15 |
| 4 | 23 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 | 22 |
| 10 | 24 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 | 18 |

Çizelge 4.4. Deney tasarımı ve deney sonuçları (devam)

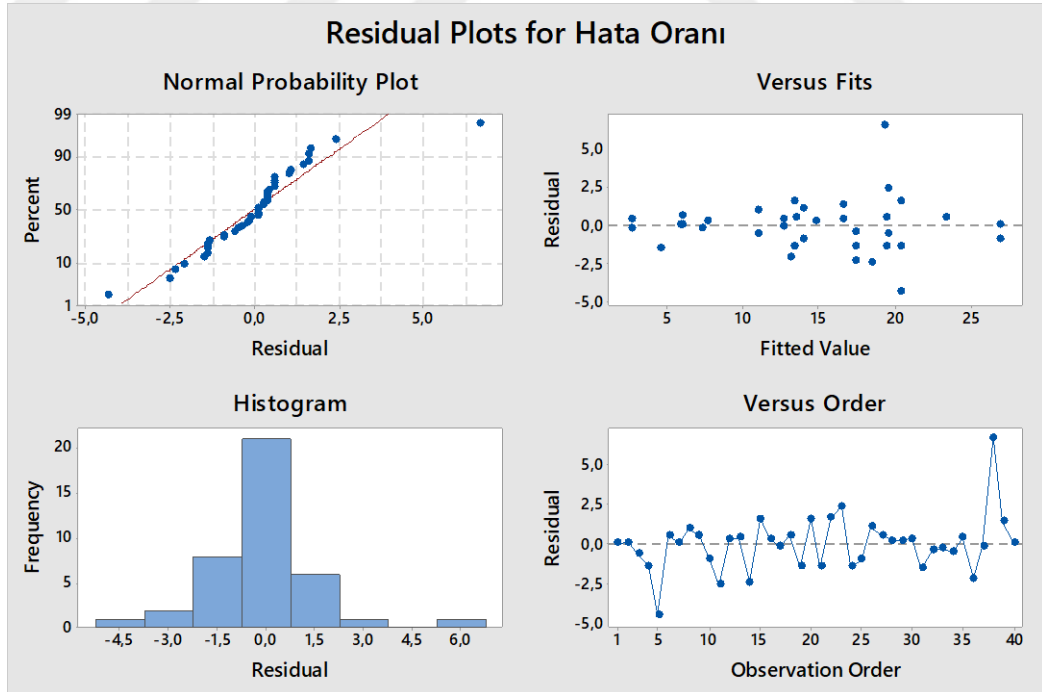
| StdOr der | RunO rder | Center Pt | Blocks | Besleyici giriş bölgesi | Maça kumu özelliği | Aşı tipi | Döküm süresi | Döküm Sıcaklığı | Hata Oranı |
|--------------|--------------|--------------|--------|----------------------------|--------------------------|----------|-----------------|--------------------|---------------|
| 32 | 25 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 | 13 |
| 16 | 26 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1420 | 15 |
| 17 | 27 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 8 | 1420 | 6,5 |
| 3 | 28 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 | 15 |
| 19 | 29 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 8 | 1400 | 15 |
| 25 | 30 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 | 8 |
| 37 | 31 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 | 3 |
| 6 | 32 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1420 | 17 |
| 33 | 33 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 | 7 |
| 27 | 34 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1420 | 10,5 |
| 15 | 35 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 | 13 |
| 35 | 36 | 0 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 10 | 1410 | 11 |
| 31 | 37 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Yüksek gaz geçirgenliği | Y | 12 | 1400 | 12,5 |
| 38 | 38 | 0 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 10 | 1410 | 26 |
| 12 | 39 | 1 | 1 | Böbrek bölgesinden uzak | Yüksek gaz geçirgenliği | X | 12 | 1400 | 18 |
| 21 | 40 | 1 | 1 | Böbrek bölgesine yakın | Düşük gaz geçirgenliği | Y | 8 | 1400 | 6 |

4.5.1. DeneY Sonuçlarının Analizi

İlk olarak ana faktör ve faktörlerin ikili etkileşimlerinin çekinti hata oranına etkisinin olup olmadığını tespit etmek üzere analizler yapılmıştır. Yapılan deneY tasarımı çalışmasında ½ kesirli faktöriyel deneY tasarımı metodu kullanılmıştır.

DeneY tasarımı tekniğinde cevap için hata değeri normal dağılıma uyması beklenir. Bu varyans analizinin temelinde yer alan ilk varsayım olarak açıklanabilir. DeneY hataları ortalaması 0, varyansı σ^2 olan normal dağılıma uygun olmalıdır. Analizler ancak bu koşullarda sağlıklı sonuç verebilir.

Bu çalışmada da verilerin, öncelikli olarak tüm deneY sonuçları ile ANOVA analizi yapılmıştır. Ardından olağandışı noktalar çıkartılarak tekrar ANOVA analizi yapılmış, etkin değişkenler ile regresyon denklemi kurulmuş ve hataların analizi yapılmıştır. Tüm deneY verilerinin MINITAB 18 paket programında analizi ile Şekil 4.4.'de görünen sonuçlar çıkmaktadır.



Şekil 4.4. Hata oranı cevap değişkeni için hata grafikleri – 1

Şekil 4.4’de verilen grafikte görüldüğü üzere hata değerleri normal dağılıma uymaktadır. Ancak versus fits grafiğinde bir miktar düzensizlik söz konusudur. Bu durumu gidermek için MINITAB’da olağandışı olarak tespit edilen gözlemler çıkartılmış ve tekrar analiz yapılmıştır.

MINITAB sonuçlarına göre olağandışı olarak görünen gözlemler Çizelge 4.5’dedir.

Çizelge 4.5. Olağandışı gözlemler

| Obs | Hata Oranı | Fit | Resid | Std Resid | |
|-----|------------|-------|-------|-----------|---|
| 5 | 16,00 | 20,39 | -4,39 | -2,70 | R |
| 38 | 26,00 | 19,33 | 6,67 | 3,54 | R |

Olağandışı belirtilen noktalar çıkartıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlar incelenerek analize devam edilmiştir.

4.5.2. Regresyon ve ANOVA Tablosunun Analizi

Tekrarlanan analiz sonuçları Çizelge 4.6’da yer alan ANOVA tablosunda verilmiştir.

Çizelge 4.6. ANOVA tablosu

| Değişkenlik Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-Değeri | P-Değeri |
|-------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Model | 16 | 1497,19 | 93,574 | 58,12 | 0,000 |
| Doğrusal | 5 | 1166,47 | 233,295 | 144,91 | 0,000 |
| Besleyici giriş bölgesi | 1 | 903,46 | 903,462 | 561,16 | 0,000 |
| Maça kumu özelliği | 1 | 39,94 | 39,940 | 24,81 | 0,000 |
| Aşı tipi | 1 | 36,23 | 36,231 | 22,50 | 0,000 |
| Döküm süresi | 1 | 34,15 | 34,153 | 21,21 | 0,000 |
| Döküm Sıcaklığı | 1 | 73,40 | 73,397 | 45,59 | 0,000 |
| İkili Etkileşimler | 10 | 346,59 | 34,659 | 21,53 | 0,000 |

Çizelge 4.6. ANOVA tablosu (devam)

| Değişkenlik Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-Değeri | P-Değeri |
|--|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Besleyici giriş bölgesi*Maça kumu özelliği | 1 | 253,69 | 253,687 | 157,57 | 0,000 |
| Besleyici giriş bölgesi*Aş1 tipi | 1 | 5,82 | 5,815 | 3,61 | 0,071 |
| Besleyici giriş bölgesi*Döküm süresi | 1 | 2,98 | 2,981 | 1,85 | 0,188 |
| Besleyici giriş bölgesi*Döküm Sıcaklığı | 1 | 9,47 | 9,469 | 5,88 | 0,024 |
| Maça kumu özelliği*Aş1 tipi | 1 | 23,20 | 23,200 | 14,41 | 0,001 |
| Maça kumu özelliği*Döküm süresi | 1 | 14,16 | 14,163 | 8,80 | 0,007 |
| Maça kumu özelliği*Döküm Sıcaklığı | 1 | 16,86 | 16,864 | 10,47 | 0,004 |
| Aş1 tipi*Döküm süresi | 1 | 7,48 | 7,475 | 4,64 | 0,043 |
| Aş1 tipi*Döküm Sıcaklığı | 1 | 2,91 | 2,906 | 1,80 | 0,193 |
| Döküm süresi*Döküm Sıcaklığı | 1 | 0,25 | 0,254 | 0,16 | 0,695 |
| Eğrisellik | 1 | 3,96 | 3,959 | 2,46 | 0,132 |
| Hata | 21 | 33,81 | 1,610 | | |
| Uyumsuzluk | 6 | 11,81 | 1,968 | 1,34 | 0,299 |
| Saf Hata | 15 | 22,00 | 1,467 | | |
| Toplam | 37 | 1531,0 | | | |

Deney tasarımına merkez noktalar dahil edildiği için eğrisellik dahil edilerek ANOVA tablosu oluşturulmuştur. Eğrisellik P-değeri $> 0,05$ olduğundan anlamlı bir eğrisellik söz konusu değildir. Deneyler sonucunda elde edilen çekinti hata oranı değerleri ile regresyon analizi yapılmış ve Çizelge 4.7’de regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Deneyin modeli alttaki şekilde ifade edilebilir;

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}X_1X_2 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{25}X_2X_5 + b_{34}X_3X_4 \quad (4.4)$$

Bu durumda bu sisteme ait regresyon eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \text{Hata Oranı} = & 14,467 + 4,999 \text{ Besleyici giriş bölgesi} \\ & + 1,051 \text{ Maça kumu özelliği} - 1,001 \text{ Aşı tipi} \\ & - 1,064 \text{ Döküm süresi} - 1,561 \text{ Döküm sıcaklığı} \\ & - 2,649 \text{ Besleyici giriş bölgesi} * \text{Maça kumu özelliği} \\ & - 0,561 \text{ Besleyici giriş bölgesi} * \text{döküm sıcaklığı} \\ & + 0,801 \text{ maça kumu özelliği} * \text{aşı tipi} - 0,686 \text{ maça kumu özelliği} \\ & * \text{döküm süresi} + 0,784 \text{ maça kumu özelliği} * \text{döküm sıcaklığı} \\ & + 0,498 \text{ aşı tipi} * \text{döküm süresi} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Regresyon eşitliği incelendiğinde ana faktörlerin ve ikil etkileşimlerin hata oranına negatif ve pozitif etkileri kolaylıkla görülebilir. Örneğin pozitif(+) katsayıya sahip besleyici giriş bölgesi ana faktörü deney tasarımında tanımlanan (+) değerine yaklaştıkça hata oranı artarken, negatif katsayıya sahip aşı tipi deney tasarımında tanımlanan (+) değerine yaklaştıkça çekinti hata oranı azalır. Diğer ana faktör etkileri ve ikili etkileşimler de aynı şekilde yorumlanabilir.

Bu sonuçlara göre seçilen faktörler, sistemi %95,38 gibi yüksek bir oranda açıklamaktadır.

Çizelge 4.7. Regresyon analizi sonuçları

| Terim | Etki | Katsayı | Standart hata katsayısı | T-Değeri | P-Değeri |
|--|--------|---------|-------------------------|----------|----------|
| Sabit Katsayı | | 14,467 | 0,231 | 62,59 | 0,000 |
| Besleyici giriş bölgesi | 9,998 | 4,999 | 0,211 | 23,69 | 0,000 |
| Maça kumu özelliği | 2,102 | 1,051 | 0,211 | 4,98 | 0,000 |
| Aşı tipi | -2,002 | -1,001 | 0,211 | -4,74 | 0,000 |
| Döküm süresi | -2,129 | -1,064 | 0,231 | -4,61 | 0,000 |
| Döküm Sıcaklığı | -3,121 | -1,561 | 0,231 | -6,75 | 0,000 |
| Besleyici giriş bölgesi*Maça kumu özelliği | -5,298 | -2,649 | 0,211 | -12,55 | 0,000 |
| Besleyici giriş bölgesi*Döküm Sıcaklığı | -1,121 | -0,561 | 0,231 | -2,43 | 0,024 |
| Maça kumu özelliği*Aşı tipi | 1,602 | 0,801 | 0,211 | 3,80 | 0,001 |
| Maça kumu özelliği*Döküm süresi | -1,371 | -0,686 | 0,231 | -2,97 | 0,007 |
| Maça kumu özelliği*Döküm Sıcaklığı | 1,496 | 0,748 | 0,231 | 3,24 | 0,004 |
| Aşı tipi*Döküm süresi | 0,996 | 0,498 | 0,231 | 2,15 | 0,043 |
| R-sq(adj) = 95,38% | | | | | |

Regresyon analizi için oluşturulan hipotez ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_{12} = b_{14} = b_{23} = b_{24} = b_{25} = b_{34} = 0$$

$$H_1: b_j \neq 0, \text{ en azından bir } j \text{ için, } j=1,2,3,4,5,1-2,1-4,2-3,2-4,2-5,3-4$$

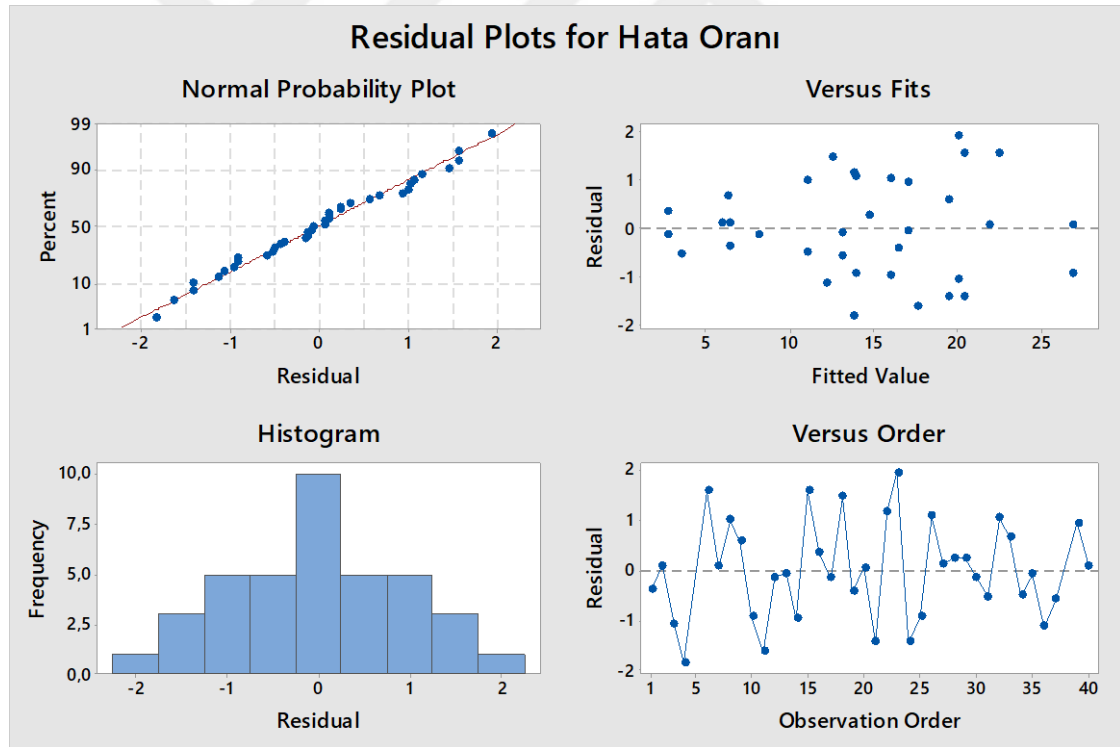
Çizelge 4.8. ANOVA tablosu

| Değişkenlik Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-Değeri | P-Değeri |
|---------------------|---------------------|-----------------|--------------------|----------|----------|
| Regresyon | 11 | 1481,26 | 134,660 | 70,39 | 0,000 |
| Hata | 26 | 49,74 | 1,913 | | |
| Toplam | 37 | 1531,00 | | | |

Olağandışı noktalar çıkarıldıktan sonra oluşan ANOVA tablosu ve regresyon analizinde ana faktörlerin tamamının etkin olduğu ve P-value değerinin 0,05'den küçük olduğu bazı ikili etkileşimlerin de etkisi görülmektedir. Özetle ANOVA ve regresyon analizi sonuçlarına göre ana faktörlerin yanı sıra ikili etkileşimlerden *besleyici giriş bölgesi x maça kumu özelliği*, *besleyici giriş bölgesi x döküm sıcaklığı*, *maça kumu özelliği x aşı tipi*, *maça kumu özelliği x döküm süresi*, *maça kumu özelliği x döküm sıcaklığı*, *aşı tipi x döküm süresi* de çekinti hata oranına 0,05 anlamlılık düzeyinde etki etmektedir. ($p < 0,05$).

Analizler sonucunda elde edilen veriler neticesinde H0 hipotezi red edilmiştir.

Regresyon analizi ve olağandışı gözlemler çıkarıldıktan sonra yapılan analizler neticesinde oluşan hata grafikleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Bu grafiklerde de görüldüğü üzere versus fits grafiğinde noktalar rassal dağılmaktadır.



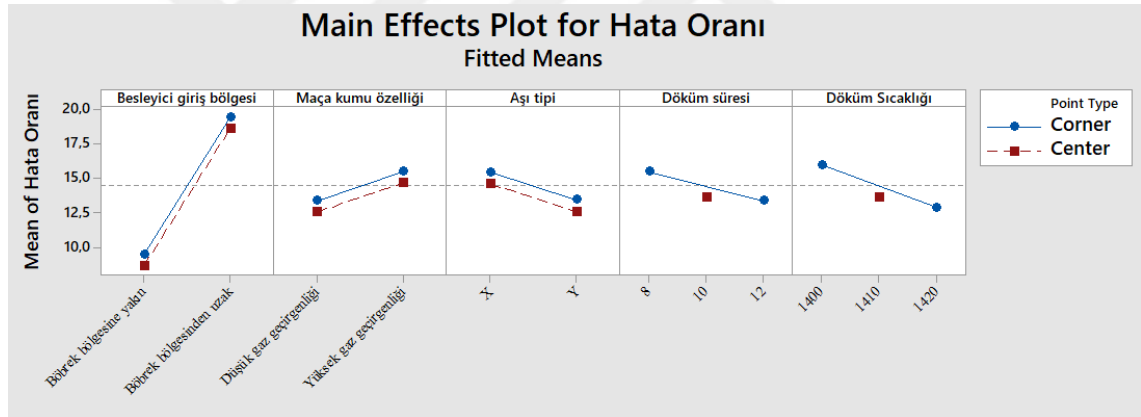
Şekil 4.5. Hata oranı cevap değişkeni için hata grafikleri – 2

Şekil 4.5'de verilen son hata analizi grafiğine göre de, sonuçlar normal dağılıma uygunluk göstermektedir. Bu durumda verilerin istatistiksel analizi sağlıklıdır.

4.5.3. Faktör Etkileri

Çekinti hata oranı üzerinde etkili olduğu öngörülen ana faktörlerin, sonuç üzerindeki etkileri Şekil 4.6.'da belirtilmiştir. Ana faktörlerin sonuç üzerindeki etkisi incelendiğinde alttaki sonuçlara ulaşılır.

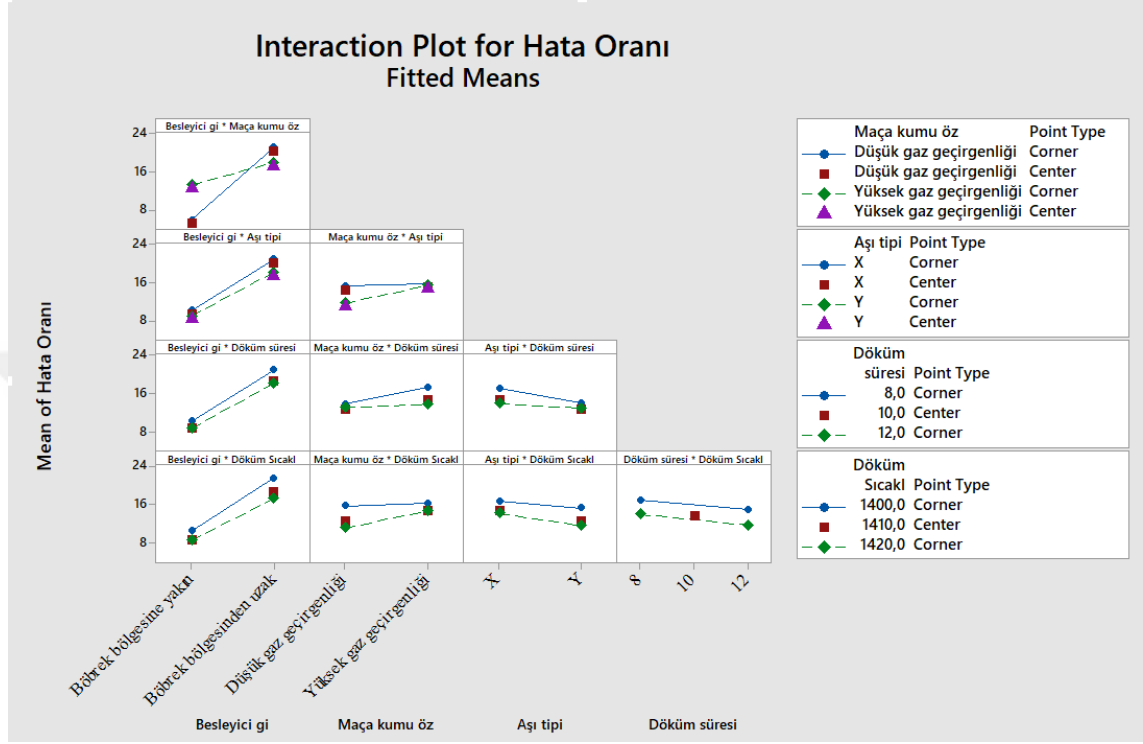
- Besleyici giriş bölgesi böbrek bölgesinden uzaklaştıkça çekinti hata oranı artmaktadır.
- Maça kumunun gaz geçirgenliği arttıkça çekinti hata oranı artmaktadır.
- Aşı tipi “Y” olarak belirlendiğinde çekinti hata oranı azalmaktadır.
- Döküm süresi 8 saniye olarak belirlendiğinde çekinti hata oranı, 12 saniye olarak belirlendiğinde oluşan çekinti hata oranına göre daha yüksektir.
- Döküm sıcaklığı 1400°C olarak belirlendiğinde çekinti hata oranı, 1420°C olarak belirlendiğinde oluşan çekinti hata oranına göre daha yüksektir.



Şekil 4.6. Ana etkiler

Çekinti hata oranı üzerinde etkili olduğu öngörülen ikili etkileşimlerin, sonuç üzerindeki etkileri Şekil 4.7.'de belirtilmiştir. Eğer bir faktörün etkisi diğer faktörün seviyesine bağlı ise bu durum etkileşim grafiği (interaction plot) ile görselleştirilebilir. Etkileşim grafiği üzerindeki doğrular paralellik gösterip birbirleri ile kesişmez ise bu iki faktör arasında çekinti hata oranını etkileyen anlamlı bir etkileşim yoktur. Şekil 4.7'de görüleceği üzere çekinti hata oranına etki eden en büyük ikili etkileşim *besleyici giriş bölgesi x maça kumu özelliği* etkileşimidir. Besleyici konumu etkisi yüksek gaz geçirgenliği olduğu takdirde çok küçüktür. Ancak düşük gaz geçirgenliği olduğu takdirde besleyici konumunun etkisi

oldukça yüksektir. Çekinti hata oranını azaltabilecek parametrelere ve en iyi hata oranı sonucuna böbrek bölgesine yakın besleyici konumu ve düşük gaz geçirgenliği özelliği içeren maça kumu ile ulaşılır.



Şekil 4.7. İkili etkileşimler

Optimum proses parametreleri değerlendirildiğinde ise karşımıza alttaki sonuçlar çıkmaktadır.

Besleyici Giriş Bölgesi → Böbrek bölgesine yakın

Maça Kumu Özelliği → Düşük gaz geçirgenliği

Aşı tipi → Y

Döküm süresi → 8 sn

Döküm sıcaklığı → 1420°C

Ana faktörlere bakıldığında döküm süresinin 12 saniyen olması durumunda hata oranının daha düşük olacağı görülmektedir. Ancak ikili etkileşimlerin çekinti hata oranına etkisi ile en uygun döküm süresi 8 saniye olarak değişmektedir. Yapılan tüm değerlendirmeler

neticesinde hedeflenen minimum hata oranına ulaşmak için besleyici girişinin böbrek bölgesine yakın konumlandırılması, maça üretiminde kullanılacak kumun gaz geçirgenliğinin düşük olması, aşı tipi olarak “Y” ile adlandırılan aşının seçilmesi, döküm süresinin 8 sn olarak belirlenmesi ve döküm sıcaklığının da 1420°C olması gerekmektedir. Tanımlanmış optimum proses parametrelerinin, üretim proses kartlarına eklenmesi önerilmiştir.



5. SONUÇ

Üretim yapan firmalar en iyi kaliteyi en düşük maliyetle elde etmeye çalışırlar. Bunun için de birçok bilimsel yöntem uygularlar. Deneysel tasarım metodu da bu yöntemlerden birisidir. Deneysel tasarımın en büyük avantajı farklı bakış açıları ile her üretim şekli ve durum için uygulanabilir olmasıdır.

Her bilimsel yöntemde olduğu gibi deneysel tasarımda da önemli olan incelenecek sistemin iyi tanınmasıdır. Girdi ve çıktılarının net olarak tanımlanması ve geçmiş tecrübelerle istinaden tanımlanan faktörlerin davranışlarının tahmin edilmesi gerekir. Bu nedenle problem üzerine çalışacak kişiler ilgili prosese ve deneysel tasarıma hakim kişiler olmalıdır ya da bu kişiler birlikte çalışmalıdır.

Bu çalışmada da öncelikle deneysel tasarım metodu ve döküm prosesi ile ilgili kuramsal bilgiler paylaşılmıştır. Ardından kum kalıba döküm metodu ile üretilen kapak parçasının döküm hataları incelenmiş ve en yüksek hata oranına sahip çekinti hatası ele alınmıştır. Çekinti hatası için tanımlanmış belirli faktörlerin çekinti hata oranına etkisi $\frac{1}{2}$ kesirli faktöriyel deney tasarımı metodu ile incelenmiştir.

İlk olarak potansiyel kök nedenler başka bir deyişle çekinti hata oranına etki edebilecek faktörler besleyici giriş bölgesinin konumu, maça kumu özelliği, aş tıpi, döküm süresi ve döküm sıcaklığı olarak tanımlanmıştır. Ardından da bu faktörlere ait seviyeler belirlenmiştir. $\frac{1}{2}$ kesirli faktöriyel deney tasarımı metodu seçilerek deney tasarımı oluşturulmuştur. Deney tasarımı tekniği ile yapılan bu çalışmada, gerçekleştirilen deneyler neticesinde çıkan veriler analiz edilerek, sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan istatistiksel analiz neticesinde çekinti hata oranı üzerine etkili olduğu düşünülen faktörlerin tamamının ana etki grafiğine göre çekinti hata oranında etkiye sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca çekinti hata oranına etki eden faktörlerin optimum seviyeleri tanımlanmıştır.

Deneysel tasarım metodu kullanılarak yüksek orandaki çekinti hata oranının en aza indirilmesine yönelik öneride bulunulmuştur.

Unutulmaması gereken en önemli noktalardan biri, döküm prosesinde etkili faktörlerin ilgili parçanın geometrisine göre değişiklik gösterebileceğidir. Bu çalışmada incelenen parça için çıkan sonuçlar, farklı geometrideki parçalar için geçerli olmayabilir. O nedenle farklı parçalar için tespit edilen hatalar ya da yapılması talep edilen iyileştirme çalışmaları olması durumunda faktörlerin ilgili parça geometrisi göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi ve yeni bir deneysel tasarım çalışması yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Anonim, 2013.** TÜDOKSAD. 2013 Yılına Girerken Mevcut Durum. <https://docplayer.biz.tr/731159-Turkiye-dokum-sanayi-2013-yilina-girerken-mevcut-durum.html> (Erişim Tarihi: 08.06.2019)
- Akçay S., 2019.** Kum Kalıba Döküm (Derece ile Kalıplama) Yöntemi. <https://malzemebilimi.net/kum-kaliba-dokum-derece-ile-kaliplama-yontemi.html> (Erişim Tarihi: 15.05.2019)
- Aran A. 2007.** Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları. İTÜ Makine Fakültesi 107 s.
- Ay İ. , 2019.** Döküm Yolu ile İmalat <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy1/dokum.yolu.ile.imalat.pdf> (Erişim Tarihi: 15.05.2019)
- Davis J.R. 1996.** ASM Speciality Cast Irons. *ASM Internationals*. The Materials Information Society. 501 pp.
- Demir L. 2004.** İstatistiksel Deneysel Tasarımı Yönetimi ve Bir Tekstil İşletmesinde Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Demir Ö. , Aksu B. , Özsoy Y. 2016.** İlaç Formülasyonu Geliştirilmesinde Deneysel Tasarımı (DoE) Seçimi ve Kullanımı. *Marmara Pharmaceutical Journal* 21(2): 216-227, 2017.
- Durakovic B. 2017.** Design of Experiments Application, Concepts, Examples: State of the Art. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. Vol 5, No3, pp. 421-439.
- Ensarioğlu K. , 2015.** Kalıp Parametrelerinin Çapak Oluşumuna Etkisinin Deneysel Tasarım Teknikleriyle İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Erbul A. 2017.** Dökme Demirlerin Kum Kalıba Döküm Tekniğinde Yolluk Sistemlerinin Dizaynı ve Simulasyon Sonuçlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Gavas M. , Yaşar M. , Aydın M. , Altunpak Y. 2015.** Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri. Seçkin Yayıncılık, Ankara. 520 s.
- Gökçe B. , Taşgetiren S. 2009.** Kalite için Deneysel Tasarım. *Teknolojik Araştırmalar*, e-ISSN:1304-4142.
- Guharaja S., Noorul Haq A., Karuppannan K. M. 2006.** Optimization of green sand casting process parameters by using Taguchi's method. *Springer – Verlag London Limited*: 1040 -1048.
- Güral, G. 2003.** Gazaltı Kaynağında Proses Parametrelerinin Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül, İZMİR.
- Gürsakal N. , 2001.** Bilgisayar Uygulamalı İstatistik I. Alfa Yayınları, Bursa. 515 s.
- Denizci U. 2019.** Döküm Sektörü Geleceğe Koşuyor. <http://www.moment-expo.com/dokum-sektoru-gelecege-kosuyor> (Erişim Tarihi: 19.07.2019)
- Jain P.L. 2003.** Principles of Foundry Technology. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi, 405 pp.
- Kaya A. 2005.** Kalite Geliştirmede Deneysel Tasarım ve Taguchi Yöntemi, Ege Üniversitesi Tire Kutsan Meslek Yüksekokulu, İzmir.
- Montgomery, D. C. 1991.** Design and Analysis of Experiments, (3rd Ed.), John Wiley Sons, United States of America, 649 pp.
- Roy R.K. , 2001.** Design of Experiments Using The Taguchi Approach. John Wiley Sons. United States of America, 545 pp.

- Uçar A. 2016.** Döküm Esasları ve Yöntemleri, Uçar Yayıncılık, 41 s.
- Sağol E. 2015.** İstatistiksel Deney Tasarımının Çayırhan Bölgesi Linyitlerinin Flotasyonunda Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Şirvancı, M., 1997** Kalite için deney tasarımı Taguchi yaklaşımı, Literatür yayınları, İstanbul, 112 s.
- Taylan H. , 2019.** Deney Tasarımı. <https://www.slideshare.net/HabipTaylan/deney-tasarm-10014223> (Erişim Tarihi: 05.06.2019)
- Unal R. , 2019.** Döküm. [.https://rahmiunal.net/dersler/uretim/01dokum.pdf](https://rahmiunal.net/dersler/uretim/01dokum.pdf) (Erişim Tarihi: 11.07.2019)
- Zhang D. , Wang R. , Yang X. , 2009.** Application of fractional factorial design to ZSM-5 synthesis using ethanol as template, *Elsevier Microporous and Mesoporous Materials* 126 (2009) 8-13.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Birsen BEDİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Kırcaali 19.08.1986
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi - 2004
Lisans : Balıkesir Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği - 2008
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi - 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bursa Ecza Koop / 2008 – 2009
Bosch Rexroth – 2010 - ...

İletişim (e-posta) : birsenturk@gmail.com