



**ÇELİK DÖKÜM MALZEMELERİN AŞINMASINA
C – MN ETKİSİ VE AŞINMA DAYANIMIN
ARTIRILMASI**

Oğuzhan BİLDİK

**2022
DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**ÇELİK DÖKÜM MALZEMELERİN AŞINMASINA C - Mn ETKİSİ VE
AŞINMA DAYANIMININ ARTIRILMASI**

Oğuzhan BİLDİK

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**KARABÜK
Haziran 2022**

Oğuzhan BİLDİK tarafından hazırlanan “ÇELİK DÖKÜM MALZEMELERİN AŞINMASINA C - Mn ETKİSİ VE AŞINMA DAYANIMININ ARTIRILMASI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Tez Danışmanı, End. Tas. Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU (SÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Tansel TUNÇAY (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Oğuzhan BİLDİK

ÖZET

Doktora Tezi

ÇELİK DÖKÜM MALZEMELERİN AŞINMASINA C - Mn ETKİSİ VE AŞINMA DAYANIMININ ARTIRILMASI

Oğuzhan BİLDİK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Haziran 2022, 136 sayfa

Bu çalışmada, iş makinelerinde, kamyonlarda ve asfalt üretim tesislerinde aşınmaya maruz alanlarda kullanılan çelik levhalara alternatif geliştirmek amacıyla, dört farklı alaşımda (Ana alaşım elementi isimlendirilmeleri ile 0.48C 0.95Mn, 0.54C 1.49Mn, 0.59C 1.55Mn, 0.58C 1.19Mn) 15 mm kalınlıkta çelik bloklar üretilmiştir. Üretimi yapılan çelik blokların, aşınma dayanımlarını daha da arttırmak amacıyla, sıcak haddeleme yöntemiyle 10 mm kalınlığa indirilmiştir. Haddelenmiş bloklardan aşınma numuneleri elde edilmiş, bu numuneler; aşınma dayanımlarını tespit etmek amacıyla, salınım hareketli lineer hareket modülü ASTM G-133 test standartlarında 20 N, 40N ve 60 N' luk yükler altında abrasif olarak aşındırılmışlardır. Aşınan yüzeylerin modifikasyonlarını görmek amacıyla SEM ve EDX incelemeleri yapılmıştır. Aynı zamanda piyasadan temin edilen 2 farklı aşınma plakasına aynı test standartlarında aşınma testi uygulanmış ve kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca aşınma davranışlarının teorik modeli oluşturulmuş ve ANSYS-Workbench yazılımı kullanılarak Archard

aşınma denklemiyle çözümler oluşturulmuş, teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan analiz ve aşınma deneyleri sonucunda malzeme üzerine uygulanan yük miktarı artışının aşınma miktarını artırdığı, çelik döküm malzeme içerisinde yer alan karbon (C) ve mangan (Mn) miktarı artışının aşınma direncini artırdığı tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerden en yüksek aşınma direnci gösteren malzemenin 0,54C 1,49Mn olduğu tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda yapılan kıyaslamalar neticesinde üretmiş olduğumuz malzemelerin piyasadan temin edilen aşınma plakalarından aşınma dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel ve sonlu elemanlar analizi kıyaslamasında meydana gelen farklılıkların ansys yazılımının malzemeyi elastik davranışlı mükemmel malzeme olarak kabul etmesi, artan yük miktarları ile birlikte aşınan malzeme yüzeyindeki değişen pürüzlülük değerinin etkisinin gözardı edilmesi ve yük miktarı ile artan kontak noktasındaki sıcaklığın ihmal edilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Çelik, Aşınma, Haddeleme, SEM ve EDX incelemeleri, Ansys Analizi,

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

C - Mn EFFECT ON THE WEAR OF STEEL CASTING MATERIALS AND INCREASING THE WEAR RESISTANCE

Oğuzhan BİLDİK

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Industrial Design Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

June 2022, 136 pages

In this study, 15 mm thick steel blocks were produced in four different alloys (with the main alloying element nomenclature 0.48C 0.95Mn, 0.54C 1.49Mn, 0.59C 1.55Mn, 0.58C 1.19Mn) in order to develop an alternative to steel plates used in Wear-prone areas in construction machinery, trucks and asphalt production plants. In order to further increase the wear resistance of the manufactured steel blocks, they are reduced to 10 mm thickness by hot rolling method. Wear samples were obtained from rolled blocks, and these samples were abrasively corroded under loads of 20N, 40N and 60N in the test standards of the oscillation moving linear motion module ASTM G-133 to determine their wear resistance. SEM and EDX investigations were also carried out to see modifications of the wearing surfaces. At the same time, wear test was applied to 2 different wear plates supplied from the market under the same test standards and comparison was made. In addition, a theoretical model of wear behavior was created and solutions were created with the Archard wear equation using ANSYS-Workbench

software, comparisons of theoretical and experimental results were made. As a result of the analysis and wear tests, it has been determined that the increase in the amount of load applied to the material increases the amount of wear, and the increase in the amount of carbon (C) and manganese (Mn) in the steel casting material increases the wear resistance. From the data obtained as a result of the experiments, it was determined that the material with the highest wear resistance was 0.54C 1.49Mn. As a result of the comparisons made as a result of the experiments, it has been seen that the wear resistance of the materials we have produced is higher than the wear plates supplied from the market. It has been evaluated that the differences in the experimental and finite element analysis comparisons are due to the ansys software accepting the material as an excellent material with elastic behavior, ignoring the effect of the changing roughness value on the surface of the worn material with increasing load amounts, and neglecting the temperature at the contact point increasing with the load amount.

Key Word : Steel, Wear, Rolling, SEM and EDX examination, Ansys analysis

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başlangıç aşamasından itibaren planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşturulmasında ilgi ve desteğini hiç esirgemeyen, engin bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendirmeme yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Mustafa YAŞAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tezdeki yönlendirmeleri ve sağlamış oldukları katkılarından dolayı Doç.Dr. Tansel TUNÇAY, Dr. Öğr. Üyesi Hatice EVLEN hocalarıma ve tez yazımı, tez düzenlenmesinde katkı sağlayan Doç. Dr. Erkan KOÇ hocama teşekkür ederim. Ayrıca yönlendirmelerinden dolayı Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU hocama ve Prof. Dr. Mustafa ACARER hocama teşekkür ederim.

Deney numunelerimi ve evraklarımı şehir dışında olduğum zamanlarda D.Ç. Enstitüsüne iletilmesini sağlayan başta Öğretim Görevlisi İlyas TÜFEKLİ ve Arş. Gör. Abdurrahim TEMİZ'e teşekkürlerimi sunarım. Haddeleme işlemlerimde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Bilal ÇOLAK hocama teşekkür ederim.

Sevgili Aileme manevi olarak hiçbir yardımı esirgemeksizin yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu doktora tez çalışması, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Biriminin KBU-BAP 17-DR-271.numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğünün BAP birimine sağlamış oldukları katkıdan ötürü teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
ÇELİK MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI	6
2.1. SADE KARBONLU ÇELİKLER	7
2.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	7
2.1.2. Orta Karbonlu Çelikler	8
2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler	8
2.2. ALAŞIMLI ÇELİKLER.....	9
2.2.1. Düşük Alaşımli Çelikler	10
2.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler	12
2.3. ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTİNİN ETKİSİ	12
BÖLÜM 3	19
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE KALIP TASARIM ANALİZİ	19
3.1. SIVI METAL HAREKETİ VE AKIŞ DURUMU	27
3.1.1. Bernoulli Eşitliği.....	32
3.1.2. Kütleinin Korunumu	33

3.2. DÖKÜM YOLLUK SİSTEMLERİ ELEMANLARI VE MODEL HESAPLAMASI.....	34
3.2.1. Yolluk Sistemi	34
3.2.1.1. İdeal Bir Yolluk Sisteminden Beklenen Özellikler	35
3.2.2. Düşey Yolluk.....	36
3.2.3. Yatay Yolluk.....	38
3.2.4. Memeler.....	38
3.3. GENEL DÖKÜM YÖNTEMLERİ-KUM KALIP ÜRETİMİ.....	39
3.3.1. Kum Kalıba Döküm (Kum Kalıplama)	40
3.4. KUM KALIPLAMA İŞLEMİ.....	43
3.5. DÖKÜM İŞLEMİ.....	46
3.5.1. Döküm Öncesi Kalıpların Birleştirilmesi	46
3.5.2. Endüksiyon Ocakları	46
3.6. KATILAŞMA	49
3.6.1. Saf Metalin Katılaşması.....	50
3.6.2. Katılaşma Süresi	51
BÖLÜM 4	52
HADDELEME.....	52
4.1. SICAK HADDELEME	54
4.2. HADDELEME KUVVETLERİ.....	55
BÖLÜM 5	59
AŞINMA.....	59
5.1. AŞINMA TÜRLERİ	60
5.1.1. Adeziv Aşınma	60
5.1.2. Abrasif Aşınma.....	61
5.1.3. Oyuklanma(Pitting) ve Yenme(Spalling).....	62
5.2. AŞINMADA SONLU ELEMANLAR ANALİZİ	62
BÖLÜM 6	64
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	64

	<u>Sayfa</u>
6.1. MODELİN ANALİZİ	64
6.1.1. Kalıp Boşluğu için Modelin 3d Yazıcı Kullanılarak Oluşturulması	67
6.2. DÖKÜM İŞLEMİ.....	67
6.2.1. Ocak Reçetesi Hesaplanması	68
6.3. LABARATUVAR ORTAMINDA YAPILAN HADDELEME İŞLEMİ.....	71
6.3.1. Sıcak Haddeleme Hadde Yükleri	74
6.4. NUMUNE HAZIRLANMASI.....	75
6.5. SPEKTRAL ANALİZ İŞLEMİ.....	77
6.6. BRİNELL SERTLİK DENEYİ.....	79
6.7. MİKRO YAPI İNCELEMESİ.....	81
6.8. AŞINMA DENEYİNİN YAPILIŞI.....	82
6.8.1. Aşınma Deney Sonuçları	83
6.9. AŞINMA DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ.....	89
6.10. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ VE AŞINMA DENEYİ VERLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI.....	100
6.11. SEM ve EDX İNCELEMESİ.....	102
BÖLÜM 7	105
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY CİHAZLARI-VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ..	108
EK AÇIKLAMALAR B. ANSYS ÇÖZÜM ADIMLARI.....	113
EK AÇIKLAMALAR C. ANSYS MAKRO ÖRNEĞİ.....	121
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	136

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çikara D.'nin yapmış olduğu dökme çelik çalışmasında kullandığı ekskavatör ve bıçak kalıplarının kalıplarının görünüşü	22
Şekil 3.2. a)Yükleyici kesici kenarının tipik geometrisi, b) yükleyicinin kesici kenarındaki bazı yükleme koşullarının şeması, c) bir kesici kenarın altından aşınmış yüzey (zemine ve çakıla bakan yüzey)	23
Şekil 3.3. Sıvı metal malzeme için Reynold sayısına bağlı akış durumu.....	30
Şekil 3.4. Bernoulli eşitliği için değerlerin gösterimi	32
Şekil 3.5. Süreklilik denklemi	33
Şekil 3.6. Döküm işleminde dikey yolluk kesit görüntüsü.....	37
Şekil 3.7. Model tasarım şekli	39
Şekil 3.8. Genel döküm yöntemleri.....	40
Şekil 3.9. Kum kalıba döküm işlemi akış şeması.....	41
Şekil 3.10. Kalıp türleri: (a) direk olarak parçanın şeklindeki kap olan açık kalıp; ve (b) kalıbın şeklinin daha karışık olduğu ve kalıp boşluğuna giden bir yolluk sistemi barındıran kalıp şekline sahip kapalı kalıp	42
Şekil 3.11. Kum kalıp öncesi derece ve model görüntüsü.	42
Şekil 3.12. Model ve derecenin sabitleyip kum kalıp öncesi grafitleme.....	43
Şekil 3.13. Kum-Reçine ve sertleştirici oranları	44
Şekil 3.14. Reçine-Sertelli kum karışımının derece içerisindeki modele kalıplanması.	45
Şekil 3.15. Kum kalıbın modelden ayrılmış hali ve alüminyum dökümle kalıbın denenmesi.....	45
Şekil 3.16. Kalıpların döküm öncesi birleştirilerek neminin alınması.	46
Şekil 3.17. İndüksiyon ocağı örneği	48
Şekil 3.18. Saf Metalin Döküm İşlemindeki Soğuma Eğrisi.	50
Şekil 3.19. Saf bir metalin dökümünde karakteristik tane yapısı	50
Şekil 3.20. Alaşım dökümde döküm merkezinde segregasyonunu gösteren, bir karakteristik tane yapısı	51
Şekil 4.1. Haddeleme prosesi görünümü.....	53
Şekil 4.2. Hadeleme işlemi şematik gösterim	53
Şekil 4.3. Sıcak haddeleme işleminde tane dizilimi.	55
Şekil 4.4. Hadde kuvvetleri.	56

Şekil 5.1. Adaziv Aşınma.....	61
Şekil 5.2. Abrasif Aşınmanın Şekilsel Gösterimi	62
Şekil 6.1. Anycasting kalıp alanı ve döküm eksenini (yönü) tanımlama	65
Şekil 6.2. Döküm sıcaklığı ve yolluk ağzı seçimi.	66
Şekil 6.3. Çekme hacmi görüntüsü.....	66
Şekil 6.4. 3D yazıcı kullanılarak model oluşturulması.	66
Şekil 6.5. Deneme üretimi ve üretim sonrası parça görünümü	68
Şekil 6.6. İlave edilecek ferro alyajların görünümü.	68
Şekil 6.7. Döküm indüksiyon fırını numune alımı	70
Şekil 6.8. Kum kalıpların döküm sonrası görüntüsü.	71
Şekil 6.9. Döküm sonrası kalıbın bozulması-temizlenmesi	71
Şekil 6.10. Haddeleme işleminin yapıldığı hadde tezgahı.	72
Şekil 6.11. Haddeleme işlemi için kullanılan fırın	72
Şekil 6.12. Labaratuvar ortamında yapılan haddeleme işlemi.	73
Şekil 6.13. Haddeleme işlemi kontrol panosu ve haddeleme sonrası görünüm.	73
Şekil 6.14. Haddeleme sırasında oluşan yüklerin numunelere ve pasolara göre değişimi	74
Şekil 6.15. Zımparalama ve polisaj işleminde kullanılan cihaz	76
Şekil 6.16. Spektral analiz cihazı.	78
Şekil 6.17. Brinell test metodu genel prensibi.....	79
Şekil 6.18. Makro sertlik ölçme cihazı	80
Şekil 6.19. Sertlik deneylerinin sonuç grafiği.	81
Şekil 6.20. Numunelerin mikro yapı görüntüleri	82
Şekil 6.21. Aşınma testi için kullanılan deney düzeneği.....	83
Şekil 6.22. Test parametreleri.....	83
Şekil 6.23. Aşınma testi sonrası uygulanan yük miktarına bağlı olarak aşındırılmış numune görünümü	87
Şekil 6.24. Aşınma deneyi sonuçlarının kıyaslanması	88
Şekil 6.25. Modele kuvvet tanımlaması.	91
Şekil 6.26. Kontak tanımlama.	92
Şekil 6.27. Mesh ağı şekli.	93
Şekil 6.28. Kuvvet uygulanan pine ait sınır şartı görüntüsü	93
Şekil 6.29. Kontak tanımlamalarının ve değerlerinin girilmesi örneği	94
Şekil 6.30. 20N yükte 0,48C 0,95Mn basınç değeri ve hacim kaybı grafik örneği ...	94

Sayfa

Şekil 6.31. Malzeme üzerinde 20N yükte aşınma sonrası oluşan gerilme görünümü.	95
Şekil 6.32. 0,48C 0,95Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği	96
Şekil 6.33. 0,54C 1,49Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği	96
Şekil 6.34. 0,59C 1,55Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği	97
Şekil 6.35. 0,58C 1,19Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği.	97
Şekil 6.36. 20N yükte aşınma davranışları.....	98
Şekil 6.37. 40N yükte aşınma davranışları.....	98
Şekil 6.38. 60N yükte aşınma davranışları.....	99
Şekil 6.39. ANSYS ve deneysel verilerin karşılaştırılması.....	101
Şekil 6.40. Aşınma numunelerden (a) 0,48 C 0,95 Mn, (b) 0,54 C 1,49 Mn, (c) 0,59 C 1,55 Mn, (d) 0,58 C 1,19 Mn numunelerine ait 500Kx görüntüde SEM görüntüleri.....	102
Şekil 6.41. Aşınma numunelerinin EDX analiz grafikleri	103
Şekil Ek 1.1.GNR atlentis optik emisyon spektrometresi.....	109
Şekil Ek 1.2.Carl Zeiss ultra plusgemi fesem	110
Şekil Ek 1.3.QNESS Q250M makro sertlik ölçüm cihazı	111
Şekil Ek 1.4.UTS tribometer T10 test cihazı	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Karbonlu çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri	9
Çizelge 2.2. Euronorm 20-74' e göre çelik sınıflandırması alaşım mitaları.	11
Çizelge 3.1. Aşınma malzemesi döküm örneği.....	20
Çizelge 3.2. İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar	35
Çizelge 6.1 Ferro alyaj kimyasal analizleri.....	69
Çizelge 6.2 0,48C 0,95Mn Merdane açıklığı ve hadde yükleri	75
Çizelge 6.3. 0,54C 1,49Mn Merdane açıklığı ve hadde yükleri.	75
Çizelge 6.4. 0,59C 1,55Mn Merdane açıklığı ve hadde yükleri	75
Çizelge 6.5. 0,58C 1,19Mn Merdane açıklığı ve hadde yükleri	75
Çizelge 6.6. Spektral analiz sonuçları	78
Çizelge 6.7. Brinell test metodu.....	80
Çizelge 6.8. Piyasa aşınma plakaları ve döküm numunelere ait ortalama sertlik verileri	80
Çizelge 6.9. 0,28C 1,03Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları.	84
Çizelge 6.10. 0,33C 1,60Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları.	84
Çizelge 6.11 0,48C 0,95Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları.....	85
Çizelge 6.12. 0,54C 1,49Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları	85
Çizelge 6.13. 0,59C 1,55Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları.	86
Çizelge 6.14. 0,58C 1,19Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları.	86
Çizelge 6.15. Numunelere ait aşınma miktarları.....	87
Çizelge 6.16. Aşınma sınıflandırılmaları ve mekanizmaları.....	90
Çizelge 6.17. Ansys analizi sonrası elde edilen aşınma hacimleri	95
Çizelge 6.18. Ansys ve deneysel verilerin sonuçları.....	100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Cr	: krom
Ni	: nikel
Fe ₃ C	: sementit
Al	: alüminyum
Mn	: mangan
Si	: silisyum
Cu	: bakır
P	: fosfor
S	: kükürt
Mo	: molibden
B	: bor
Fe	: demir
Ti	: titanyum

KISALTMALAR

FEM : Finite Element Method

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme
Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

TS : Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çelik malzeme olarak sert yapıya sahip, mukavemetli, mavimsi gri renkte, çeşitli işlemlerle şekil verilebilen geniş bir demir-karbon alaşımları ailesinin genel adıdır. Çelik dünyanın en önemli mühendislik ve yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. Çelik bileşimine ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmaya bağlı olarak ağırlıkça % 0,2 ile % 2 arasında Karbon (C) içeriğine sahiptir. Çelik malzemeler hayatımızın her alanında kullanılmaktadır; otomobillerde, inşaat ürünlerinde, beyaz eşyalarda, gemilerde, günlük hayatımızda kullandığımız bir çok materyalde farklı özelliklere sahip çelik malzemelere rastlamak mümkündür. Çelik endüstrileri, ekonomik kalkınma anlamında gelişmişliğin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Achamyeleh, 2019).

Çelik çok yönlü, güçlü ve esnektir. Özelliklerini kaybetmeden defalarca geri dönüştürülebilir, bu nedenle çelik malzemeler inşaat, altyapı, köprü, el aletleri ve makine parçalarında kullanılan başlıca hammaddelerdir. Çelik içerisinde yer alan karbon ve diğer alaşım malzemeleri demir atomunda sertleşme ve çeliğe farklı özellikler sağlamak için belirlenen oranlarda ilave edilir. Çeliğin sünekliği, sertliği ve mukavemeti alaşım malzemelerinin miktarına ve bunların malzeme içerisinde bulunma şekline bağlıdır.

Karbon ve düşük alaşımlı çelik dökümler, vagonlarda, pompalarda ve valflerde, inşaat ve madencilik işlerinde kullanılan ağır yük sınıfı kamyonlarda, inşaat ve madencilik sektöründe ekipmanlarında ve enerji üretim ekipmanlarında kullanılır. Döküm malzemeler esnek geometri avantajı sağlamakla birlikte dökümde çeliğin alaşımlanabilme kapasitesi ve özelliklerinden faydalanılır. Çelik döküm malzemeler yüksek mekanik özelliklerini çok geniş aralıktaki çalışma sıcaklıklarında sunabilmektedir. Çelik döküm malzemeler dövme olarak üretilen çelik malzemelere

kıyasla kaynaklanabilme özelliğini benzer mekanik özelliklerle birlikte sağlayabilmektedir (Poweleit, 2005).

Çelik döküm işlemi, üretilmesi planlanan parçanın 'ters' şekli olan bir kalıp oluşturarak başlar. Çelik döküm üretiminde kullanılan kalıp, örneğin kum gibi ateşe dayanıklı refrakter bir malzemedendir yapılmaktadır. Döküm sürecinde metal malzeme bir fırın içerisinde eriyene kadar ısıtılır ve erimiş metal kalıp boşluğunun şeklini alabilmesi için kalıp boşluğuna dökülür. Sıvı (ergitilmiş metal), hedeflenen parçanın şekli olan boşluk şeklini alır. Döküm sonrası kalıp şeklini atan metal katılaşana kadar soğutulur. Son olarak, katılaşan metal parça kalıptan çıkarılır (Krishnamoorthy, 2016).

Döküm, tasarım ve imalat açısından geometri özgürlüğü sağlar, bu nedenle döküm parçası tasarımı mekanik performansta önemli bir rol oynar. Parça üzerindeki kısımları daha yüksek gerilime maruz kalan bir döküm parçası güçlendirilebilirken, düşük gerilim bölgeleri azaltılabilir. Döküm işlemi ile sağlanabilen bu esneklik, optimum performansa sahip bir parçayı kolaylaştırır ve ağırlığı azaltır; her iki durumda da maliyeti en aza indirmek mümkün hale gelmektedir. Döküm yolu ile üretilen malzeme içerisinde yer alan bağlantılar, kütle eklemeyecek şekilde dizayn edilmelidir. Döküm malzeme içerisinde kesit kalınlıkları değiştirilirken bu değişim tasarımda koniklik sağlanarak, geniş yarıçaplar ilave ederek, pürüzsüz kolay geçişlerle sağlanmalıdır. Bu nedenle iyi döküm tasarımı sağlamanın yolu, tasarım üzerine bir döküm- kalıp analiz programı kullanarak dökümhane ile birlikte çalışmaktır (Poweleit, 2005).

Haddeleme işlemi, iş parçası olan malzemeyi saat yönünde veya tersi istikamette dönen iki silindirden oluşan ve bu iki silindir arasında belli bir mesafe bulunan boşluktan geçirilerek malzemenin kalınlığını azaltıp daha ince ve uzun bir malzeme elde etmek için kullanılan bir işlemdir. Hadde mekanizmasında yer alan silindirler arasındaki mesafe haddeleme işlemine tabi tutulan malzemenin kalınlığından ölçü olarak daha küçüktür (Ikumapay, 2020). Metal parça silindirler arasına yerleştirildiğinde, ince ve uzatılmış veya orijinal uzunluğundan daha uzun olacak şekilde sıkıştırılarak silindirlerden bir sürtünme ve sıkıştırma kuvveti ile karşılaşır. Parça, silindirler arasındaki boşluktan geçtiğinde, artan uzunluk ve genişliğe sahip

orijinalinden daha az kalınlığa sahip bir şekle gelmektedir (Sunthorn, 2014). Malzeme kalınlığındaki bu azalma çekme olarak, genişlik ve uzunluktaki artış miktarları ise mutlak uzama ve yayılma olarak isimlendirilmektedir. (Bhanu, 2016). Haddelme prosesi, ölçü olarak büyük döküm malzemeyi daha detaylı parçalara ve büyük uzunluktaki enine kesit yapısına sahip malzemelere şekillendirmek için özel bir metal şekillendirme yöntemidir.

Sıcak haddelme, metal erime noktasının hemen altındaki bir sıcaklıkta gerçekleştirilen ve büyük miktarda deformasyona izin veren bir haddelme işlemidir. Artan sıcaklıklarda metallerin mukavemet değerleri (akma gerilmesi, dayanım gerilmesi, çekme dayanımı) azalır ve "daha yumuşak" hale gelirler. Ayrıca, daha yüksek sıcaklıklarda olası plastisite, kural olarak daha yüksektir ve metal daha sünek hale gelir. Artan sıcaklıklarla bu özellik değişikliği, çeliğin sıcak şekillendirilmesi için kullanılır. Sıcak şekillendirme, işlenen çeliğin türüne bağlı olarak yaklaşık 1070-1260°C' lik haddelme sıcaklıklarında gerçekleşir. Bu sıcaklıktaki kütük / blum / slabları haddehanelere beslemek için fırınlarda yeniden ısıtılmaları gerekir (Rentz, 1999).

Aşınma, temas yoluyla gerçekleşen bir süreçtir. Sonuç olarak, malzeme parçacıkları ayrılır ve oluşan döküntüler aşınmayı hızlandırır. Parça üzerindeki azalan detay ölçüleri, parçalar arasında genişlemiş gevşeklik anlamına gelir. Bu, daha sert darbelere ve gürültüye neden olarak bir makinenin ömrünü büyük ölçüde kısaltır. Aşınma, en basit bozulma türlerindedir. Parçalar veya parçacıklar birbirine sürtündüğünde veya birbirine çarptığında ortaya çıkar. Aşınma, toplam aşınma kayıplarının yaklaşık % 60'ına sahip olduğu tespit edilen madencilik ve hafriyat sektörlerinde yaygındır (Chintha, 2019). Aşınma mekanizmaları değişiklik gösterir. Hem fiziksel hem de kimyasal olabilirler. Sebepler mekanik, aşındırıcı ve adhesive olarak sınıflandırılır.

Çelikler döküm malzemelerde aşınmaya dayanımın sağlanması daha malzemenin üretimi esnasında alıştırdığımız malzemelerin seçimi ile başlar. Özellikle Malzeme içerisine alıştırdırma yapılırken fayda/maliyet oranına dikkat etmek ve maliyeti çok fazla artırmayacak alışım elementleri seçerek alıştırdırma yapmak hem istenilen aşınma dayanımına sahip malzeme elde etmeye hemde maliyeti kabul

edilebilir düzeyde tutmak için önemlidir. Bu nedenle malzemeye daha döküm yapılırken aşınma dayanımını artıracak aşınma dayanımını artırıcı elementler ilave ederek işleme başlanır. Kalıp tasarımının boşluk oluşmayı engelleyecek şekilde tasarlanması, döküm işleminde kükürt ve fosfor miktarının mümkün olduğunca uzaklaştırılması aşınma dayanımını artıran karbon, silisyum, mangan, krom, nikel gibi alaşım elementlerinin istenilen aşınmayı sağlayacak makul düzeylerde eklenmesi aşınma dayanımı için önemli ölçüde etkilidir.

Bu doktora çalışmasının amacı, endüstride büyük bir öneme sahip dökme çelik malzemelerin döküm yöntemi ile farklı alaşım elementleri kullanarak belli oranda alaşımlandırıp aşınmaya dayanımlı şekilde üretmek, üretilen malzemelerin haddeleme işleminden geçirilerek mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve malzemenin aşınma dayanımının artırılmasının araştırılması ve incelenmesidir.

Hazırlanan bu doktora çalışması, genel yapısı itibari ile literatür araştırması ve deneysel çalışmaların yer aldığı bölüm olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Ancak, literatür taraması ve deneysel çalışmalar kendi içinde farklı konu başlıkları altında hazırlanmaya çalışılmıştır. Bu bölümlerden birincisi “Giriş” kısmı olup burada çalışmanın kısaca özet bilgileri verilmiştir. İkinci bölümde ise, bu çalışmada çelik döküm yöntemi ile üretilen Alaşımli çelikleri de kapsayan çelik türleri geniş bir şekilde anlatılmıştır. Üçüncü bölümde geniş bir literatür taraması ile birlikte bu çalışmada üretmiş olduğumuz çelik döküm malzemenin üretimi, kalıp tasarimini ve model analizinde barındıran içerik detaylı bir biçimde tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde üretilen çelik döküm malzemelere uygulanan haddeleme işlemi anlatılmıştır. Beşinci bölümde ise metallerdeki aşınma, aşınmaya etki eden faktörler, aşınma tipleri anlatılmış olup üretmiş olduğumuz numunelere ait deneysel ortam sonlu elemanlar yöntemi ile simule edilerek analiz yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Altıncı bölümde, çalışmanın amacının belirlenmesi ile birlikte laboratuvar ortamında deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, aşınma parametreleri, çelik döküm numunelerden laboratuvar deneyleri için numunelerinin hazırlanması, çelik döküm malzemelere yapılan mekanik testler-incelemeler ve deneylerin uygulama şartları anlatılmıştır. Çelik döküm numunelere uygulanmış testlerden ve testler sonrası yapılan

incelemeler sonucu elde edilen veriler daha kolay incelenip değerlendirme yapılabilmesi ve yorumlanabilmesi için grafik olarak oluşturulmuş ve elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Ayrıca, optik mikroskopta yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan görüntüler yorumlanmıştır. Gerek deneysel gerekse analizl çalışmaları neticesinde elde edilen bulgular, daha önceden yapılmış benzer deneysel çalışmalarla birlikte incelenmiş kaynak gösterilerek açıklanmıştır.

Deneysel çalışmalardan ve elde edilen bulgulardan oluşan sonuçlarının irdelenip açıklandığı yedinci ve son bölümde, deneysel çalışmalar ve analizler sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın maksadına uygun olacak bir şekilde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

ÇELİK MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI

Çelik, sert, güçlü, mavimsi gri metal alaşımıdır ve dünyada en yaygın kullanılan malzemelerden biri olup, aynı zamanda en önemli mühendislik ve inşaat malzemesidir. Çelik, bileşime ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmaya bağlı olarak % 0,2 ile % 2,1 (ağırlıkça) arasında karbon içeriğine sahiptir. Çelik, çoğunlukla yapısal ve fabrikasyon malzemesi olarak kullanılır. Çelik içerisinde karbon ve diğer alaşım malzemeleri, demir atomunda sertleşme ve dislokasyonları önlemek için kullanılır. Çeliğin sünekliği, sertliği ve gerilme mukavemeti, alaşım malzemelerinin miktarına ve bunların demirde bulunma şekline bağlıdır. Çeliğin sertleşmesi ve mukavemeti veya sünekliği, demirde bulunan karbon içeriğine bağlıdır (Fiaz, 2011). Çelik malzemenin sertliğini artmasına neden olan esas element karbondur. Karbon değerindeki değişme işlenebilirliğin de değişmesine neden olmaktadır. Ötektoid altı çelikler malzemelerde sementit (Fe_3C) çeliğin sünekliğini azaltmaktadır. Artırılan sertlik miktarı ile birlikte, süneklik değerindeki azalmaya rağmen işlenebilirlikte ilerleme yönünde fayda sağlanır. Artan karbon içeriği, çeliği sert ve daha az sünek yapar (Özçatalbaş, 2020)

Çelik, modern toplumdaki en önemli ve faydalı malzemedir. Bir demir ve karbon alaşımıdır, güçlüdür ve yine de mühendislik, ev kullanımı ve nakliye için çok sayıda bileşen oluşturmak üzere şekillendirilebilir ve işlenebilir. Yine molibden, vanadyum ve diğer elementlerle alaşım yapılarak son derece dayanıklı hale getirilebilir. Basit ısı işlemler aynı zamanda mukavemetini arttırırken, levha formunda motor gövdeleri, yemek kapları ve ev aletleri oluşturmak için preslenebilir. Cr (Krom) ile asitlerin neden olduğu pas ve korozyona direnebilir; nikel ile elektrik üretim kazanlarının ve makinelerinin yüksek sıcaklıklarının yanı sıra nükleer enerji elektrik üretiminin taleplerini karşılayabilir. Çelik, derin deniz petrol platformlarına uygulanan kuvvetlere direnebilir ve karaya petrol ve gaz boruları için malzeme sağlar (Williams, 2016).

Genel olarak karbon, en önemli ticari çelik alaşımıdır. Artan karbon içeriği, sertliği ve mukavemeti artırır ve sertleşebilirliği iyileştirir. Ancak karbon aynı zamanda kırılabilirliği artırır ve martensit oluşturma eğilimi nedeniyle kaynaklanabilirliği azaltır. Bu, karbon içeriğinin ticari çelik söz konusu olduğunda hem bir nimet hem de bir olumsuzluk kaynağı olabileceği anlamına gelir (Capudean, 2003).

Günümüzde, % 0,35 ila % 1,86 Karbon (C) içeriği aralığındaki herhangi bir çelik, bir ısıyla söndürme-temper döngüsü kullanılarak sertleştirilebilir. Çoğu ticari çelik, üç gruptan birine sınıflandırılır (Capudean, 2003):

- Sade karbonlu çelikler
- Düşük alaşımlı çelikler
- Yüksek alaşımlı çelikler

2.1. SADE KARBONLU ÇELİKLER

Bu çelik türleri genellikle % 1 oranından az karbon içerir bunun yanında demir ve ayrıca az miktarda manganez, fosfor, sülfür ve silisyum içerebilirler. Bu çelik sınıfının kaynaklanabilirliği ve diğer özellikleri malzeme içerisinde yer alan karbon içerik miktarının sağladığı bir özellik olmakla birlikte bu özelliklere malzemenin içerisindeki diğer alaşım elementlerinde etkisi vardır.

Sade karbonlu çelikler üç gruba ayrılır. Bunlar,

- Düşük
- Orta
- Yüksek karbonlu çeliklerdir.

2.1.1. Düşük Karbonlu

Genellikle yumuşak çelikler olarak adlandırılan düşük karbonlu çelikler, % 0,20' dan daha az karbona sahiptir ve en yaygın kullanılan kalitelere sahiptir. Güzel bir şekilde işlenirler, kaynak edilebilirler ve yüksek karbonlu çeliklerden daha yumuşaktırlar

(Capudean B., 2003). Düşük karbonlu çelik sınıfında yer alan çelik malzemelerin mekanik özellikleri incelemeye alındığı zaman yumuşak çelik sınıfı olarak da tanımlanabildiği görülmektedir. Düşük karbon içeriğine sahip çelikler dünyadaki çelik üretiminin miktarının önemli bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle yassı mamuller ile inşaat sektöründe kullanılan çelik malzemeler ve bina ve inşaat temel oluşumunda kullanılan çelik çubuk malzeme ve çelik profil malzemeler düşük karbona sahip çelikler içerisinde yer almaktadır. Düşük karbona sahip çelikler, düşük karbon içerikleri nedeniyle ısıl işlem yapılarak yapısal olarak yüksek miktarda sertleştirilemezler. Ancak, nitrasyon, sementasyon ısıl işlemleri gibi yüzey sertleştirme işlemleri malzemelerin yüzeyleri sertleştirilebilmektedir.

2.1.2. Orta Karbonlu

Orta karbonlu çelikler yüzde 0,20 ile 0,60 arasında karbon içeriğine sahiptir. Artan karbon, daha fazla sertlik ve gerilme mukavemeti, daha az süneklik ve daha zor işleme anlamına gelir. Orta karbonlu çelik malzemelerin en büyük özellikleri, ısıl işlem vasıtasıyla yeterli ölçüde sertleştirilebilmeleridir (Capudean, 2003). Bu özellikleri bakımından orta karbonlu çeliklerin kullanım alanları sertleşebilir özellikleri nedeniyle özel alanlarda kullanılabilir niteliktedir. Özellikle makine imalat sanayisinin kullanımda tercih ettiği çelik çeşitleridir. İçerdikleri karbon miktarı sebebiyle işlenebilme ve şekil alabilme yetenekleri düşük karbonlu çelik malzemelere oranla daha düşüktür.

2.1.3. Yüksek Karbonlu

İçerdikleri karbon miktarı olarak % 0,60 oranından daha fazla karbon içeren çelik çeşididir. Normal şekilde yüksek mukavemete sahip ve sünekliği içerdikleri karbon miktarı nedeniyle diğer çelik türlerine oranla az olan çeliklerdir. İçerisinde bulunan karbon miktarları sebebiyle ısıl işlem vasıtasıyla sertleştirilmeleri mümkün olduğundan yüksek sertlik miktarlarına ulaşabilirler. Bu sahip olabildikleri özellikleri nedeniyle aşınmaya dayanıklı ve kesici özelliğe sahip çelik türleridir. Bu kesici özellik sayesinde spesifik alanlarda kullanıma uygundur. İşlenebilme ve şekil alabilme olanakları düşük ve orta karbonlu çelik malzemelere oranla daha düşüktür. Kaynak

olabilme kabiliyetleri de diğer çelik türlerine kıyasla düşük olup diğerlerine nazaran daha özel teknikler kullanılarak kaynakları yapılabilir. Bu grupta yer alan çelik malzemeler özellikle de takım çeliği üretiminde kullanılırlar. Yüksek karbonlu çeliklerin içerisinde yer alan karbon değerinin sınır miktarı, demir-karbon denge diyagramı gözönünde bulundurulduğunda % 2 miktarlarına kadar çıkabiliyor olsada, uygulamada bu değer % 1,2 - 1,4 ile sınırlı olmaktadır. Bu sınıfta yer alan yüksek karbonlu çelikler özellikle düşük ve orta karbonlu çelik malzemelere göre daha kolay su alabilme kapasitesine sahip ve sonuçta elde edilen martenzitik yapının sertlik değerleride daha yüksek olmaktadır. Çizelge 2.1' de karbonlu çeliklerin içerdikleri karbon miktarı grubuna göre genel kullanım alanları görülmektedir.

Çizelge 2.1. Karbon miktarlarına göre çelik malzemelerin kullanım alanları ve özellikleri (Etnaçelik, 2021)

Karbon miktarına göre	Çelik malzemelerin kullanım yerleri ve özellikleri
Düşük Karbonlu Çelik Grubu	Somun, civata gibi makine parçalarının üretilmesi, inşaat ve yapı sektöründe kullanılan çelik malzemelerin önemli bir bölümünde görev alarak kullanılabilir. Nitrasyon ve sementasyon gibi yüzey sertleştirme uygulamaları ile sertleştirilebilmektedirler.
Orta Karbonlu Çelik Grubu	Dişli çark, makine, civata, somun, dingil, gemi şaftı, çeşitli miller, aktarım mili, yük kancası, frezeli mil, demir yolu rayı, kürek ve kazma türevi toprak araç ve gereçlerin imalatında kullanılmaktadır. Isıl işlem vasıtasıyla sertleştirilebilmektedirler.
Yüksek Karbonlu Çelik grubu	Makaslar, mil, şaft, somun, civata gibi makine parçalarında, spiral ve yaprak yaylar gibi araç ekipmanlarında, kesici basit takımlarda, zımba, iş makinası dişlisi, iş makinası bıçakları, yüksek mukavemet gerektiren makine parçaları, ege, ağaç testeresi gibi sertlik isteyen malzemelerin imalatında tercih edilmektedir. Isıl işlem uygulanarak sertleştirilmeye uygun yapıdadırlar.

2.2. ALAŞIMLI ÇELİKLER

Alaşımli çelikler, belirli özellikleri elde etmek için elementlerin eklendiği veya çıkarıldığı karbon çeliklerinin türevleridir. Tipik olarak bu özellikler işlenebilirlik ve mukavemeti içerir. Demir bazlı bir karışım, manganez %0.165' ten büyük olduğunda, %0.5' in üzerinde silikon, %0.6 'nın üzerinde bakır veya krom, nikel, molibden veya

tungsten gibi diğerk minimum miktarda alaşım elementleri mevcut olduğunda alaşımlı elik olarak kabul edilir (Huyett, 2000).

elik, katı bir demir ve karbon çözeltisidir, karbon demir içinde özölür; demir çözücüdür ve karbon özünendir.

elik, su gibi, faz değişimlerinden geçebilir. Su ile fazlar katı, sıvı ve gazdır. Karbon eliği ile fazlar sıvı, östenit ve ferrittir. Suya tuz eklenirse, tüm faz değişikliklerinin sıcaklığı değiştirilir. Bu nedenle tuz yaygın bir buz eriyik bileşiğidir. Tuz, sıvının gaza geçiş sıcaklığını düşürecek ve sıvının sıcaklığını da katıya düşürecektir. Demire karbon eklendiğinde, sıcaklıklar aynı şekilde değiştirilir. Daha fazla karbon eklenir (bir noktaya), faz değişiminin sıcaklığı o kadar düşük olur. Karbon ayrıca demirde kendi başına bulunmayan yeni fazlar yaratır. Perlit, sementit (Fe_3C) artı ferrit karışımıdır. Östenit içinde özölabilen en fazla karbon %0.80'dir. Buna "ötektik" denir. Diğer alaşımlar ötektik alaşımlar olarak tanımlanabilir. Bu alaşımlar, ana malzemeye özölabilen maksimum alaşım elementi miktarına sahiptir (Huyett, 2000).

eliğe ne kadar fazla karbon eklerseniz (% 0,20' nin üzerinde), % 0,80' e kadar o kadar fazla perlit elde edersiniz. % 0.80'in üzerinde ise karbür elde edersiniz. Bir eliğin % 0.20' den daha az karbonu varsa, alabileceğiniz tek şey ferrittir. Bir eliğin % 0.40 karbonu varsa, perlit ve ferrit elde edersiniz. Bir eliğin % 0,90 karbonu varsa, perlit ve karbürler elde edersiniz. Alaşımlı elikler Düşük alaşıma sahip ve Yüksek alaşıma sahip çelikler olmak üzere iki temel grupta değerlendirilmektedir (Huyett, 2000).

2.2.1. Düşük Alaşımlı elikler

Düşük alaşımlı elik dökümler, toplam alaşım içeriği % 8' den azdır. Bu elikler, düşük sertleşebilirliğe sahip sıradan sade karbon çelikler tarafından karşılanamayan özel gereksinimleri karşılamak için geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük karbonlu elik dökümlere alaşımların eklenmesi, daha yüksek sertleşebilirlik, artan aşınma direnci, artan mukavemetle birlikte daha yüksek darbe direnci, daha yüksek sertlikte bile iyi işlenebilirlik, yüksek ve düşük sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet sağlama gibi avantajları bulunmaktadır. Düşük karbon elik dökümlere göre korozyon ve oksidasyona karşı daha iyi direnç sağlarlar. Bu malzemeler 485 ila 1380 MPa (70

ila 200 ksi) gerilme mukavemeti gereksinimlerini ve bazı özel gereklilikleri karşılayacak şekilde üretilir (Steels, 2005).

Alaşımli döküm çelikler; yüksek hızlı ulaşım birimleri; Buhar türbinleri; vanalar ve bağlantı parçaları; demiryolu, otomotiv, kazı ve kimyasal işleme ekipmanları, kağıt makineleri, rafineri ekipmanı, ve çeşitli deniz ekipmanı türleri, Havacılık alanında da kullanılırlar (Steels, 2005).

Düşük alaşımli dökme çelikler, kullanıma göre iki sınıfa ayrılabilir: yüksek mukavemet, sertleşebilirlik ve tokluğa sahip yapısal parçalar için kullanılanlar ve düşük veya yüksek sıcaklıkta servis koşullarında aşınmaya veya korozif saldırılara dirençli olanlar. İki sınıf arasında keskin bir ayrım olamaz çünkü birçok çelik her iki alanda da hizmet verir (Steels, 2005). Çizelge 2.2' de EN (Euronorm) 20-74 'e göre alaşım miktarına göre sınıflandırma görülmektedir.

Çizelge 2.2. Euronorm 20-74' e göre çelik sınıflandırması alaşım mitaları (Uslular hadde, 2021)

Alaşım Elementi Türü	Alaşımli Çelik için miktarlar	DüşükAlaşımli Çelik için miktarlar	Yüksek Alaşımli Çelik için miktarlar
C	% 1,5 orandan küçük	% 1,5 küçük	% 2,2 orandan küçük
Mn+Si	% 1,5 orandan küçük	% 1,5 - 3,0	% 3 orandan büyük
P	% 0,08 orandan küçük	% 0,05 küçük	% 0,04 orandan küçük
S	% 0,06 orandan küçük	% 0,05 küçük	% 0,04 orandan küçük
B	-	-	% 0,001 orandan büyük
Al	% 0,3 oranından küçük	-	% 0,3 orandan büyük
Cr	% 0,3 orandan küçük	% 0,3 - 5,0	% 0,5 orandan büyük
Co	% 0,2 orandan küçük	% 0,2 - 3,0	% 0,3 orandan büyük
Cu	% 0,4 orandan küçük	-	% 0,4 orandan büyük
Mo	% 0,05 orandan küçük	% 0,05 - 0,10	% 0,1 orandan büyük
Ni	% 0,05 orandan küçük	% 0,3 - 5,0	% 0,5 orandan büyük
Pb	% 0,4 orandan küçük	-	% 0,4 orandan büyük
W	% 0,2 orandan küçük	% 0,2 - 3,0	% 0,3 orandan büyük
V	% 0,05 orandan küçük	% 0,05 - 0,10	% 0,1 orandan büyük

2.2.2. Yüksek Alaşımli Çelikler

Yüksek alaşımli çelikler toplam alaşım içeriği % 8' den fazladır. Yüksek Alaşımli Çeliklerde malzemenin sahip olduğu sünekliği muhafaza ederek mukavemet değerlerini arttırmak için farklı türde ve miktarlarda alaşım elemanları katılır. Alaşım elemanları çelik malzemenin mukavemet ve tokluğu yükseltmekle birlikte malzemenin sertleşme kabiliyeti, korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklara mukavemetlilik özelliği benzeri diğer çok önemli özellikleri sağlayabilmektedirler. Yüksek alaşımli çelikler genellikle sahip oldukları alaşım miktar ve özellikleri nedeniyle özel amaçlar için kullanılabilir. İçeriğinde %18 Cr miktarı ve %8 Ni oranı barındıran paslanmaz çelik, %14 Mn ihtiva eden yüksek çarpma dayanımına sahip çelik, içerisinde %20 Cr olan yüksek sıcaklığa mukavemetli kalıp çelikleri buna örnek olarak gösterilebilir (Kaya Demir Çelik 2021, Handbook 1990)

2.3. ÇELİKLERE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Karbon(C): Karbon elementi çeliğin sertleşmesinde önemli bir etkiye sahip olan elementlerin en başında gelir. Çelik malzemenin içerisinde bulunan karbon miktarındaki artış malzemenin sertlik değerini ve çekme mukavemetini olumlu (pozitif) olarak etkiler. Fakat buna karşın, malzemenin sahip olduğu esnekliği, kaynak edilebilme yeteneğini olumsuz (negatif) yönde etkilemektedir. Çelik malzemelerin en temel alaşımı Karbon (C) elementi olup içerisindeki bileşimine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedirler. Düşük karbon miktarına sahip çelikler sünek özellik gösterirler ve işlenmesi daha kolaydır. Malzeme içerisindeki karbon miktarına bağlı olarak malzemenin su verme işlemi ile sertlik değerleri artarken işlenebilirlik yetenekleri düşer. Artan karbon miktarı ve oluşan martenzit hacim oranı malzemenin sertliğini ve mukavemetini artırmaktadır. (Krauss 1980, Thelning 2013, Lorusso 2015, Aytac 2018).

Mangan (Mn): Mangan elementi karbon elementi benzeri çelik dökümle malzeme üretiminde çelik içerisinde yer alan en önemli elementlerden biri olarak yapıda bulunmaktadır. Ergitme işlemleri sırasında çelik malzemelerin içerisine oksijeni tutucu (deoxidizer) olarak ilave edilir ve ostenit yapıyı kararlı bir hale getirmeye

olanak sağlayan bir elementtir. Malzeme içerisinde mekanik yapının iyilestirmesine katkı sağlaması nedeniyle de özellikle ilave edilir, döküm yapısında elik içerisinde ana alaşım elementi olarak da mangan yapısını görmek mümkündür. Mangan yapısı itibari ile malzeme içerisinde süneklik miktarını düşürmekle birlikte çeliğin mukavemetini yükseltme özelliğe sahip bir elementtir. % 3 miktarına kadar Mn ilave edilinceye kadar her % 1 Mn ilavesi için malzemenin çekme dayanım değerini yaklaşık olarak 100 Mpa artabilmektedir (Krauss 1990, Gulgen 2008). Ayrıca Mn, akma mukavemetini ve kaynaklanabilirliği az da olsa arttırır (Friedrich, 2006).

Silisyum (Si): Silisyum elementide Mangan elementine benzer olarak elik malzeme üretim aşamalarından itibaren çeliğin yapısında bulunan bir elementtir; malzeme içerisine ham cevherden yada ferro-siliko-mangan veya ferro silis olarak ilave edilen oksijen gidericilerden gelebilmektedir. elik döküm malzemelerde, döküme akıcılık kazandırabilmek için ilave edilebilmektedir. Silisyum Ferrit yapısı içerisinde çözünebilme yeteneğine sahip olamasından dolayı malzemenin süneklik ve tokluk miktarını azaltmadan elastikiyetini, çekme dayanımını, akma dayanımını ve malzemenin sertlikdeğerini arttırabilmektedir.

elik malzeme içerisinde yer alan silisyum değerini dştkce malzemenin tufal oluşturma oranı yükselmektedir. Silis miktarı yüksek olan elik malzemelerin ısı dayanımı da silisyum içeriği az olan malzemelere oranla yüksektir. Genel olarak değerlendirildiğinde silisyum elementi malzemenin aşınma dayanımını, sertleşebilirliği ve elastikiyet mukavemetini arttırmasına karşın malzemenin yüzey kalite yapısını olumsuz yönde etkilemektedir (Krauss 1990, Gulgen 2008).

Fosfor (P): Metal içerisinde bulunma oranı ykseldikce korozyon hızını büyük ölçüde arttırıcı etkiye sahiptir (Güngörmüş, 2008).

Fosfor (P), eliğin mukavemetini ve sertliğini arttırır, sünekliliği ve çentik darbe tokluğunu azaltır. Süneklik ve tokluk üzerindeki olumsuz etkiler, su verilmiş ve temperlenmiş yüksek karbonlu çeliklerde daha fazladır. Fosfor seviyeleri normalde düşük seviyelere kontrol edilir. İşlenebilirliği iyileştirmek için düşük karbonlu serbest işleme çeliklerinde daha yüksek fosfor belirtilir (Min, 2021).

Çeliğin çekme mukavemetini arttırmak ve atmosferik korozyona karşı direnci geliştirmek için kullanılmasına rağmen, fosfor gevrekleştirme etkisinden dolayı genellikle istenmeyen bir kirlilik olarak kabul edilir. Çoğu İngiliz spesifikasyonunda izin verilen maksimum değer %0.05'tir, ancak nitrüleme işlemi sırasında fosforun temper gevrekleştirici etkisi olduğundan, nitrüleme için çelikte bu maksimum %0.02 ile sınırlandırılabilir (Min, 2021).

Kükürtle elementi ile birlikte fosfor elementinin malzeme içerisinde az miktarda yer alması malzeme kalitesinde önemli bir kriterdir.

Kükürt (S): Çoğu alışımda genellikle bir safsızlık olarak kabul edilir ve çeliğe eklenmesi, çeliğin sıcak şekillendirme özelliklerine zarar verdiği için bu elementin eklenme miktarı minimumda tutulur. Bununla birlikte, işlenebilirliği artırmak için çelik malzemelere eklenmektedir (Min, 2021).

Kükürt, özellikle enine yönde sünekliği ve çentik darbe tokluğunu azaltır. Artan kükürt içeriği ile kaynaklanabilirlik azalır. Kükürt, esas olarak sülfür kapanımları şeklinde bulunur. Kükürt seviyeleri normalde düşük seviyelere kontrol edilir. Tek istisna, işlenebilirliği iyileştirmek için kükürtün eklendiği serbest işleme çelikleridir (Min, 2021).

Kükürt (sülfür) Demir ile birlikte Demir Sülfür (FeS) bileşiği meydana getirerek, tane sınırlarında birikim oluşturarak ve çelik yapının gevrek olmasına yol açmasına neden olabilmektedir.

- 800° C -1000° C sıcaklık değerleri içerisinde malzemenin şekil değiştirme sürecinde “kıızıl sıcaklık kırılganlığı” olarak bilinen hatayı meydana getirmektedir.
- 1200° C sıcaklığın üzerinde bulunan sıcaklık değerlerinde “akkor sıcaklık kırılganlığı” adı verilen kırılganlığa neden olabilmektedir (İzmir Çelik, 2021).

Bazı paslanmaz çeliklere işlenebilirliği artırmak için kükürt eklenir. Bu sınıflarda bulunan çeliklerde kükürt, korozyon direncini, sünekliği ve kaynaklanabilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi imalat özelliklerini önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu sebeplerle çelik için bazı özelliklere (gevreklik v.b.) olumsuz etki etmesi nedeniyle çelikte kükürt içeriği %0.05'ten az olarak belirlenir. Ancak işlenebilirliği artırmak amacı ile mangan elementi ile birlikte malzeme içerisine ilave edilmektedir. Genel olarak kükürt ilavesi kaynak kabiliyeti ve sertleşebilirliği olumsuz etkilemektedir. Genel olarak imalat şartlarında uygun görülen miktarın en fazla %0,025-0,050 arasında tutulması tavsiye edilmektedir (Kaya demir çelik, 2021).

Krom (Cr): Korozyon direncini ve oksidasyon direncini artırmak, sertleşebilirliği artırmak veya yüksek sıcaklık dayanımını artırmak için genellikle çeliğe krom eklenir. Bir sertleştirme elemanı olarak Krom, üstün mekanik özellikler elde etmek için sıklıkla nikel gibi bir sertleştirme elemanı ile birlikte kullanılır. Daha yüksek sıcaklıklarda, krom artan mukavemete katkıda bulunur. Krom, güçlü karbür oluşturunur. Kompleks krom-demir karbürler, ostenit içinde yavaş yavaş çözülmeye girer; bu nedenle, söndürmeden önce yeterli ısıtma süresine izin verilmelidir (Min, 2021).

Krom çelik malzeme içerisine özellikle aşınma direnci, sertleşebilirlik ve (en önemlisi) korozyon direnci için eklenir. Manganezde olduğu gibi, krom da sertlik penetrasyonunu artırma eğilimindedir. Manganez ile birlikte % 5 veya daha fazla krom kullanıldığında, kritik su verme hızı düşürülür. Krom ayrıca çeliğin tokluğunu ve aşınma direncini de artırabilir (Min, 2021).

Paslanmaz çelikler olarak ifade edilen ve içerisinde krom ihtiva eden malzemelerde krom miktarı yükseldikçe, malzemenin kaynak edilebilme kabiliyeti azalmaktadır. Çelik malzemede her % 1 değerindeki krom miktarındaki yükselmeye karşılık olarak, malzemenin çekme mukavemet değeri yaklaşık olarak 8-10 kg/mm²'lik bir yükselme görülür. Benzer oranlarda olmamakla birlikte, malzemenin akma mukavemetide artış meydana gelse de çentik darbe dayanımı azalmaktadır (Kayademirçelik, 2021).

Sertleşmenin derinlik penetrasyonunu ve ayrıca ısıl işleme tepkisini artırır. Paslanmaz çeliklerde kullanım için genellikle nikel (Ni) ile eklenir. Krom (Cr) taşıyan alaşımların çoğu % 0,50 ila 1,50 krom içerir; bazı paslanmaz çelikler % 20 veya daha fazlasını içerir. Dövmeyi etkileyerek çelikte çatlama eğilimine neden olabilir (Min, 2021).

Krom çeliğin gerek ısıtılması gerekse soğutulmasında esnasında kristal dönüşmenin yavaş olmasına sebep olur. Krom, çeliğin kritik soğuma hızını (östenit dönüşme) azalttığı için kromlu çelikler sade karbonlu çeliklere nazaran daha fazla sertleşir. Bu etkiyi aşağıdaki formüldeki gibi gösterebiliriz (Onaran, 1993).

$$M_s (°C) = 539 - 423 °C - 30.4 Mn - 12.1 Cr - 17.7 Ni - 7.5 Mo \quad (2.1)$$

Nikel (Ni): Mukavemeti ve tokluğu artırır ancak sertliği arttırmada etkisizdir. Genellikle % 1 ila % 4 arasında değişen miktarlarda eklenir. Bazı paslanmaz çeliklerde bazen % 20'ye kadar çıkabilmektedir. Mukavemet, korozyon direnci ve tokluk için kullanılır, nikel ferritin mukavemetini artırır, dolayısıyla çeliğin mukavemetini artırır. Düşük alaşımlı çeliklerde tokluğu ve sertleşebilirliği arttırmak için kullanılır. Nikel ayrıca ısıl işlemin söndürme aşaması sırasında bozulmayı ve çatlamayı azaltmaya yardımcı olma eğilimindedir (Min, 2021).

Nikel (Ni), çeliklerde karbür oluşturmayan aynı zamanda da östenit oluşturan bir elementtir. Nikel sertleşebilirliği artırır. Ni ile kombinasyon halinde, Cr ve Mo, çeliklerde daha fazla sertleşebilirlik, darbe tokluğu ve yorulma direnci üretir (Zhang,1992, Leslie 1981, Wegst, 1997, Totten, 2006).

Nikel, bir ferrit güçlendiricidir. Nikel, çelikte karbür oluşturmaz. Ferrit fazını güçlendirerek ve sertleştirerek ferrit içinde çözelti halinde kalır. Nikel, çeliklerin sertleşebilirliğini ve darbe dayanımını artırır. % 0,2 ila % 5 aralığı sünekliği ciddi şekilde etkilemeden mukavemeti, tokluğu ve sertleşebilirliği iyileştirir. Nikel ve krom birlikte zıt özelliklere sahiptir ve nikel-krom çeliklerinde avantaj sağlamak için birlikte kullanılır. Elde edilen çeliklerin avantajları bir araya geldiğinde istenmeyen özellikleri birbirini yok eder %5 nikel yüksek yorulma direnci sağlar. Daha yüksek oranlarda alaşım yapıldığında önemli korozyon direnci elde edilir ve %27'de manyetik olmayan paslanmaz çelik elde edilir (Min, 2021).

Paslanmaz çelik için nikel ilavesinin ana nedeni, östenitik bir yapıyı teşvik etmektir. Nikel genellikle sünekliği ve tokluğu artırır. Ayrıca korozyon oranını düşürür ve bu nedenle asitli ortamlarda avantajlıdır. Çökeltme ile sertleşen çeliklerde, mukavemeti arttıran bileşikler oluşturmak için nikel de kullanılır.

Molibden (Mo): Molibden (Mo) belirgin bir karbür oluşturunucudur. Sementit içinde hafifçe çözünürken, çelikteki Mo içeriği yeterince yüksek olduğunda molibden karbürler oluşacaktır. Molibden, su verilmiş çeliklerin temperlenmesi sırasında ikincil sertleşmeye neden olabilir ve düşük alaşımlı çeliklerin yüksek sıcaklıklarda sürünme mukavemetini iyileştirir.

Mo ilavesi, ince taneli çelikler üretir, sertleşebilirliği artırır ve yorulma mukavemetini iyileştirir. %0,20–0,40 Mo veya V içeren alaşımlı çelikler, gecikmiş bir temper gevrekliği sergiler, ancak bunu ortadan kaldıramaz. Molibden, korozyon direncini artırır ve yüksek alaşımlı Cr ferritik paslanmaz çeliklerde ve Cr-Ni östenitik paslanmaz çeliklerde büyük ölçüde kullanılır. Yüksek Mo içerikleri, paslanmaz çeliğin oyulmaya karşı duyarlılığını azaltır (Zhang,1992, Leslie 1981, Wegst, 1997, Totten, 2006). Molibden, yüksek sıcaklıklarda östenitik alaşımlarda güçlenen çok güçlü bir katı çözeltiliye sahiptir. Molibden, alaşımlı çelikler için çok önemli bir alaşım elementidir.

Alüminyum (Al): Alüminyum (Al), bir oksijen giderici ve bir tane inceltici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Krauss, 1990). Al, nitrojen ile çok sert nitrürler oluşturduğundan, genellikle nitrürleme çeliklerinde bir alaşım elementidir. Ölçekleme direncini artırır ve bu nedenle genellikle ısıya dayanıklı çeliklere ve alaşımlara eklenir. Çökeltmeyle sertleşen paslanmaz çeliklerde Al, bir alaşım elementi olarak kullanılabilir ve çökeltme sertleşme reaksiyonuna neden olur (Totten, 2006, Krauss, 1990).

Bakır (Cu): %0,30'un üzerinde Cu ilavesi çökelti sertleşmesine neden olabilir. Sertleşebilirliği artırır. Cu kayda değer miktarlarda mevcutsa, sıcak çalışma işlemleri için zararlıdır. Yüzey kalitesine zarar verir ve yeniden kükürtlenmiş çeliklerde bulunan yüzey kusurlarını artırır. Bununla birlikte Cu, alaşımlı ve düşük alaşımlı çeliklerde

atmosferik korozyon direncini (%0,20' nin üzerinde olduğunda) ve çekme özelliklerini iyileştirir ve boyanın yapışmasına yardımcı olur (Totten, 2006, Krauss, 1990, Anon, 1992). Östenitik paslanmaz çeliklerde, %1'in üzerindeki Cu içeriği, H₂SO₄ ve HCl'ye karşı geliştirilmiş direnç ve stres korozyonu ile sonuçlanır (Zhang,1992, Leslie 1981, Wegst, 1997, Totten, 2006).

Bor (B): Çok küçük miktarlarda (%0.0005-0.0035) B ilavesi, tane sınırlarında güçlü ayrışma eğilimi nedeniyle çeliklerin sertleşebilirliği üzerinde bir başlangıç etkisine sahiptir. Çeliklerde B'nin ayrılması, dengesiz bir ayrışmadır. Ayrıca diğer alaşım elementlerinin sertleşebilirliğini de geliştirir. Daha pahalı elementlerin bazıları için çok ekonomik bir ikame olarak kullanılır. B'nin faydalı etkileri sadece düşük ve orta karbonlu çeliklerde görülür ve sertleşebilirlikte %0,6 C' nin üzerinde gerçek bir artış olmaz (Totten, 2006, Krauss, 1990, Anon, 1992, Ross, 1992). Bor alaşımlı çeliklerin kaynaklanabilirliği, kullanımlarının bir başka nedenidir. Bununla birlikte, büyük miktarlarda B, kırılgan, işlenemez çeliklerle sonuçlanır.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve KALIP TASARIM ANALİZİ

Çelik döküm, ergimiş çeliğin bir kalıp boşluğuna dökülmesiyle oluşturulan bir metal bileşendir. Sıvılaştırılmış çelik daha sonra kalıp boşluğu içinde soğur ve katlaşır. Spesifikasyonlarınıza mükemmel bir şekilde uyması için kalıbın şeklini ve dolayısıyla dökümünü sağlayabilirsiniz. Çeliğin döküm işlemi zor olabilir. Diğer metallere göre daha az akışkan ve kalıp malzemelerine daha reaktiftir.

Çelik dökümler çeşitli nedenlerle kullanılır. Esas olarak, diğer dökme demir türleri yeterli mukavemete veya şok direncine sahip olmadığında kullanılırlar. Çeliğin fiziksel özellikleri, dökümlerin hem güçlü hem de sünek olmasını sağlar. Bu, çelik dökümünü son derece sert hale getirir ve basınç altında kırılma olasılığını sınırlar. Kaynaklanabilirlikleri ve korozyon direncinden dolayı çelik dökümler kullanılmaktadır.

Kocabekir İ.ve arkadaşları yaptıkları çalışmada döküm halinde temin edilen Mn Çeliği üzerine aşınma dayanımı ile ilgili çalışmalar yapmış 20x10 kesit alanında hazırlamış oldukları blokları aşındırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda döküm numunelerden 1050°C’ de homojenize edilip su verilen mangan çeliğinin döküm aşınma davranışında R 260 çeliğine alternatif olabileceğini tespit etmişlerdir (Kocabekir, 2013).

Fabrizi A. ve arkadaşları Silisyumlu döküm alaşımında zengin intermetalik fazların oluşumuna demir, mangan ve krom alaşım elementlerinin farklı miktarlarda 4 farklı deney numunesi ile incelemişlerdir. Elde ettikleri döküm alaşımındaki Fe, Cr ve Mn içeriğinin artması, birincil α -Fe parçacıklarının boyut ve sayı yoğunluğunun artmasına neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Fabrizi, 2014).

Güven A. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada sade karbonlu çelik döküm malzemelerden 5 adet farklı numune örneğini alarak abrazif aşınma üzerine döküm nume parçasının sertliğinin ne kadar etkili olduğunu incelemiştir. Yaptıkları çalışmada kullanılan malzeme alaşım içeriği Çizelge 3.1’ de görülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara göre aşındırıcı malzeme serliği arttıkça aşınma miktarının arttığı, aşınma malzemesi sertliği arttıkça, aşınma miktarı azalmaktadır (Güven, 2005).

Çizelge 3.1. Aşınma malzemesi döküm örneği (Güven, 2005)

Analiz	Aşınma Malzemesi Örneği No				
	1	2	3	4	5
% C	0,126	0,250	0,410	0,527	0,609
% Si	0,192	0,230	0,260	0,236	0,303
% Mn	0,662	0,805	0,708	0,682	0,737
% S	0,032	0,038	0,029	0,041	0,045
% P	0,026	0,029	0,015	0,014	0,014
% Cr	0,155	0,157	0,209	0,084	0,071
% Mo	0,010	0,019	0,025	0,013	0,009
% Ni	0,120	0,131	0,178	0,113	0,102
% V	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000
% Cu	0,244	0,220	0,240	0,283	0,181
% Sn	0,011	0,011	0,009	0,012	0,009
% Ti	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
% Zr	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001
% Al	0,003	0,052	0,004	0,004	0,003
Çelik Tanımı	Ç1010	Ç1030	Ç1040	Ç1050	Ç1060

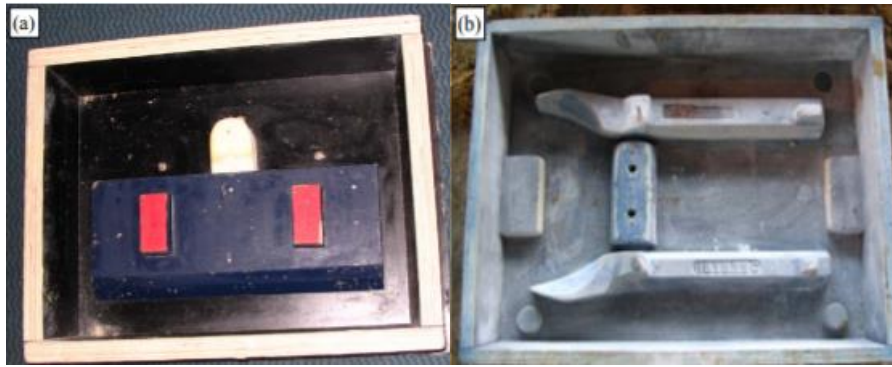
Uras yapmış oldukları çalışmada pulluk ucu malzemelerin aşınmalarını incelemiş sertlik ölçüm deneylerinin neticesine göre 20 ile 40 RC sertliğe sahip malzemelerin (6 adet numune) kütle ve hacim kayıplarını kıyaslamışlardır. Kıyaslama yaparken malzemelerin montaj konumları ve keskin kenar uzunluklarını da dikkate alarak değerlendirmeye almışlar. Diğer taraftan, yapılan bu araştırma çalışmasında, hassas teraziyle tespit edilen ortalama aşınma miktarı 33,6 gr olarak elde edilmiştir. Ülkemiz genelinde tarımda işlenen toprak miktarı yaklaşık olarak 18 milyon ha olarak bilindiğine göre, ve senede iki kez toprak alanda üretim yapmak amacı ile sürülme işleminin gerçekleştiği düşünüldüğünde, ön görülen bu verilerin nezlinde, bir yılda pulluk v.b. makine ekipmanları ile malzemelerde meydana gelen aşınmalar nedeniyle toprağa karıştırılan metal miktarının toplam 12 bin ton olacağı veriler ışığında hesaplanarak tespit edilmiştir (Uras, 2007).

Ma çalışmasında; düşük maliyet, yüksek mukavemet, tokluk ve yüksek aşınma direnci nedeniyle yeni yıpranmaya dayanıklı malzemeler üzerine araştırmalarda bulunmuştur. Alaşım bileşimi, imalat, ısıl işlem, bor morfolojisinin geliştirilmesi, aşınma özelliklerini ve uygulamayı da içeren aşınmaya dirençli yüksek bor döküm alaşımının araştırma ilerlemesini incelemiştir. Çalışmasın da yüksek bor döküm alaşımı üzerine geliştirme yönü ve araştırma vurgusu tartışılıyor. Ma çalışmasında % 0,3-0,55 C, % 1,5-2 Ni, % 0,1-1 B, % 5-15 Cr, % 0,5-1 Mn aralıklarında döküm malzeme kullanmıştır. Ma çalışmasında sonuç olarak; Yüksek bor dökme alaşımı, krom dökme demir ve Ni sert dökme demir gibi özelliklere sahip yeni bir aşınmaya dayanıklı malzeme olarak düşünülebileceği. Bununla birlikte, yüksek bor döküm alaşımı, basit ergitme süreci, düşük maliyet, iyi mukavemet ve tokluk ve iyi aşınma direnci gibi bir takım avantajlara sahiptir. Buna ek olarak, yüksek bor döküm alaşımı iyi bir korozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte, bu malzemenin uygulanması, uygun standardın yokluğu ile sınırlıdır (Ma, 2016).

Kalandyk yapmış olduğu çalışmada Döküm Çeliğin Mikroyapı ve Aşınma Direnci üzerine incelemelerde bulunmuştur. Yapılan çalışmada yüksek Krom ve Nikel alaşımli çelikte laboratuvar ortamında eritilmiş malzemeleri inceledi. İncelenen dökme çeliğin aşınma direnci test edildi ve yüksek kromlu dökme çelik ile karşılaştırıldı. Cr, Ni ve Ti ilaveleri ile %11-19 Mn içeren dökme yüksek manganlı çelikte östenitik matrisin modifikasyonunun sonuçları tartışıldı. Bu dökme çeliğe karbür oluşturan alaşım elementlerinin eklenmesi, matriste kararlı kompleks karbür fazlarının oluşumuna yol açar, bu da SiC ve su karışımında aşındırıcı aşınma direncini etkin bir şekilde artırır. Testlerde kullanılan başlangıç malzemesi, %11 Mn ve %1.34 C içeren dökme çelikti. Makalede sunulan sonuçlar, Cr ve Ti ilaveleri ile yapı modifikasyonu sayesinde aşındırıcı aşınma direnci ve sertlikte önemli bir gelişme gösteriyor (Kalandyk, 2015).

Çikara D. ve arkadaşları yaptığı çalışmada, değirmen çekiçleri, yürüyen merdiven dişleri gibi aşınmaya dirençli makine parçalarının üretimi için karbon çeliği ve SiC bazlı dökme-inkarbür kompozitlerin yapılması ve uygulanması olanakları incelemiştir. Genellikle bu aşınmaya dayanıklı parçaların yapımında kullanılan malzemeler, yüksek alaşımli Cr-Mo çelikleri, uygulamada çok iyi sonuçlar göstermiştir ve bu malzemelerin yapıldığı farklı cihazlarda önemli ölçüde daha iyi çalışma güvenliği sağlamıştır Ancak

madencilikte, endüstride, inşaat mühendisliğinde ve trafikte kullanılan aşınmaya dayanıklı parçalar, silika, korundum, feldspat ve diğer minerallerin güçlü aşındırıcı etkisine maruz kalan kullanımdadır ve bu nedenle mevcut taşlarda ve kayalarda çarpmalar sıklıkla meydana gelir. Yapmış oldukları çalışmada kalıp hazırlatıp, hazırlanan kalıba kendi tasarım yaptıkları malzeme kombinasyonları ile ekskavatör tırnağı dökümü yaptırmıştır. Kalıplar, elle kutusuz "sepet kutusu" teknolojisi kullanılarak elle CO₂ kum karışımından yapılmıştır. Asfalt karıştırıcı için bıçak (a) ve ekskavatör (b) için uç diş seçimi yapılarak döküm gerçekleştirilmiştir. Bu dökümlerin üretimi için yapılan kalıplar Şekil 3.1' de görülmektedir. Yaptığı çalışma sonucunda Dökme çelikteki SiC partiküllerinin optimize edilmiş içeriği ve yerleşimi, SiC açısından zengin döküm yüzeyinin aşırı sertliğini ve aşınma direncini, metal tabanın yüksek mukavemeti ve tokluğu ile birleştirdiğini tespit etmiştir (Cikara, 2009).

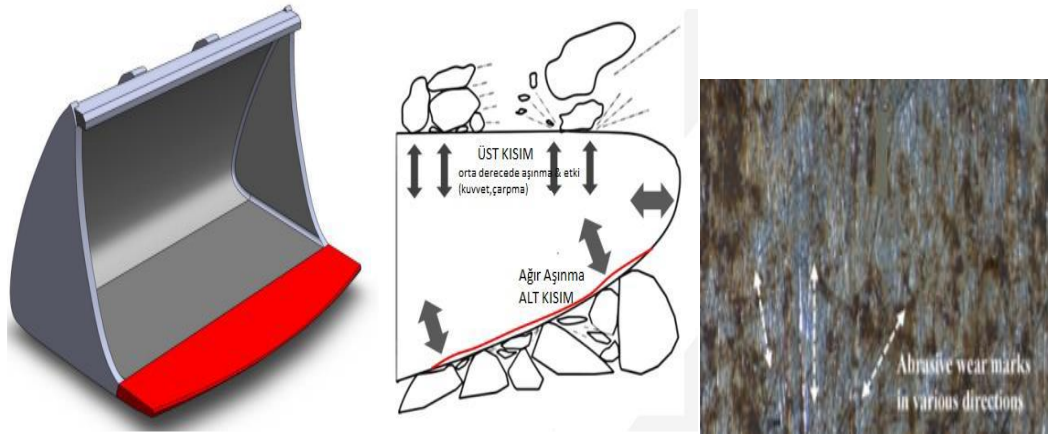


Şekil 3.1. Çikara D.'nin yapmış olduğu dökme çelik çalışmasında kullandığı ekskavatör ve bıçak kalıplarının kalıplarının görünüşü (Cikara, 2009)

Balogun yapmış olduğu çalışmada dökme çeliğin döküm işlemlerinde; erime sıcaklığının manganezli çeliğin aşınma özellikleri etkisi üzerinde durmuş ve birçok manganez çelik eritme fırınında yapılan uygulamalarda erimiş metalin akışkanlığını arttırmak ve cürufu gidermeyi kolaylaştırmak için ergime ve dökme sıcaklıklarını 1500 ° C ve daha yüksek bir sıcaklığa yükseltmekte olduğunu, Yüksek sıcaklık, alaşım elementlerinin mikro ve makro karbür ayrışmasını ve aşınma dönüşüm ürünlerinin oluşumunu teşvik ettiği, tanecik sınırlarında segregasyon varlığı, dislokasyon hareketine engel teşkil etmekte olduğunu tespit etmiştir. Bunun yanında Bununla birlikte, düşük dökme sıcaklıkları, erimiş metalin akışkanlığını azaltır ve

döküm kusurlarına, düşük verim ve yüksek işletme maliyetlerine neden olduğunu tespit etmiştir (Balagun).

Linderoos yapmış olduğu çalışmada; Yüksek mukavemetli çeliklerin aşındırıcı ve darbe aşınması üzerine çalışmış, deformasyon ve aşınma üzerine deneysel ve sayısal yaklaşım üzerine araştırmada bulunmuştur. Yapmış olduğu çalışmada özellikle Şekil 3.2' de gösterildiği gibi abrasif aşınmaya maruz kalan, abrasif aşınmaya çözüm olarak üretilen aşınma dayanımlı üç farklı çelik malzeme tipi olan yüksek manganezli östenitik çelik, ultra yüksek dayanımlı martenzitik çelik, karbür takviyeli çelik alaşım ve numunelerinin abrasif aşınmaya dayanımları konusunda çalışma yapmıştır. Şekil 3.2' de görülen bir çeneli kırıcıdan ve bir kepçeli yükleyicinin kesici kenarından alınan numune malzemeleri içeren iki hizmet içi durum da karakterize edildi ve analiz edildi. Sonuçlar, çeliklerin yüzey sertleşmesinin aşınma oranları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Linderoos, 2015).



Şekil 3.2. a) Yükleyici kesici kenarının tipik geometrisi, b) yükleyicinin kesici kenarındaki bazı yükleme koşullarının şeması, c) bir kesici kenarın altından aşınmış yüzey (zemine ve çakıla bakan yüzey) (Linderoos, 2015)

Jing ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, pratik döküm üretiminde otomobil direksiyon valfi kabuğunun büzülme ve yüzey gözenekliliğinin birçok kusurunun problemine yönelik olarak çalışmış, bu konuda valf gövdesinin ürünlerinin düşük kalitede olmasına neden olabilecek unsurlar değerlendirilerek, kalıp dökümünün doldurma ve katılma işlemi, anycasting yazılımı kullanılarak sayısal olarak simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, sorunun nedenleri analiz edilmiş ve şu iyileştirme önlemleri öne sürülmüştür; Kalıpta ek bir soğutma sistemi kurularak,

anycasting programında döküm kalitesini artırabilmek amacıyla geliştirilmiş şemanın simülasyonu ile döküm bölgelerinin dışbükey kısımlarındaki gözeneklerin kaybolduğu tespit edilmiştir. Simulasyon vasıtası ile geliştirilmiş süreç gerçek uygulama tarafından doğrulandı, simülasyon sonuçları ile üretim sonucunda oluşan sonuçların uyumlu olduğu görüldü ve ürünün verimini artırmakta faydalı olduğu sonucuna ulaşıldı (Li, 2017).

Dai ve arkadaşları yapmış oldukları araştırmada sorunun konusu, pratik döküm üretiminde otomobil direksiyon valfi kabuğunun büzülme ve yüzey gözenekliliği kusurlarının çözümüne yönelikti, bu da valf gövdesi ürünlerinde soruna neden olabilir, bu nedenle yapılan döküm işleminde doldurma ve katılaşma süreci, Anycasting yazılımı kullanılarak sayısal olarak simüle edildi. Simülasyon sonuçlarına göre problemin nedenleri analiz edilmiş ve iyileştirmeye yönelik önlemler ortaya konulmuştur. Yolluk sisteminin ve çıkış yapılarının besleme modunu değiştirerek, aynı zamanda kalıpta ek soğutma sistemini kurularak, geliştirilmiş şemanın simülasyonu, bağlama alanlarının dışbükey kısımlarındaki gözeneklerin ortadan kalktığını ve kalın adaların oluştuğunu göstermiş, dökümden kaynaklı hataların önemli ölçüde azaldığı tespiti yapılmıştır. İyileştirilmiş süreç gerçek üretimle doğrulanmış olup simülasyon sonuçları üretimle uyumluydu ve ürünün veriminin artarak daha kaliteli ve sorunsuz bir döküm üretimi gerçekleşmesi yapılan simülasyon neticesinde elde edilmiştir (Dai, 2016).

Erdem E. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada hazır olarak temin ettikleri SAE 1060 çelik nuuneler ile HARDOX 400 ve HARDOX 500 aşınmaya dirençli ticari çelik plakaları 30mm x 40mm x 8mm ölçülerinde hazırlayarak birbirinden farklı değerlerdeki hızda (57 m/s ve 76 m/s) ve iki farklı ölçüdeki açığa sahip (30° ve 90°), 70µm ölçüsünde alüminyum oksit (Al₂O₃) kullanılarak aşınmaya maruz bırakılmıştır. Deneyle sonrasında malzemeleri aşındırmak için kullanılan aşındırıcı malzeme miktarına bağlı olarak malzeme meydana gelen ağırlık kaybı hesaplanmış ve hesaplanan değerler göz önünde bulundurularak aşınma dirençleri farklı koşullar için kıyaslanmıştır. Yapılan deneyler sonrasında daha düşük hızlarda parçacıklar tarafından aşınmaya maruz kalmış ticari olarak HARDOX olarak isimlendirilen malzemelerde daha iyi aşınma direnci elde edilirken, yüksek hızlarda aşınmaya maruz

kalan SAE 1060 çelik malzeme diğerlerine nazaran iyi direnç göstermiştir (Erdem, 2005).

Yılmaz R. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Hardox 500 şeklinde adlandırılan aşınmaya dayanıklı çelik kullanmış aşınma davranışını incelemişlerdir. Pin on-disk abrasive aşınma cihazını kullanmışlardır. Aşınma deneylerinde yük değerleri değiştirilmeden yüke göre aşınma mitarı değişimine nazaran kayma hızı değiştirilerek kayma hızlarındaki aşınma davranışı incelenmiştir. Yapılan çalışmada 30N yük seçilmiş ve farklı kayma hızlarında test gerçekleştirilerek sonuçlar SEM ile incelenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde kayma hızının artmasının aşınma miktarını artırdığı tespit edilmiştir (Yılmaz, 2012).

Tabur M. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada yüksek aşınma direncine sahip Hardox 500 ve Hardox 600 çeliklerinin abrasiv aşınma dirençleri incelenmiştir. Her iki malzemedan 10 mm çapında ve 25 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin aşınma davranışları pin-on disk test cihazında; 106 dev/dak ve 30 dev/dak devir sayılarında ve 14.50 m aşınma yolunda değerler sabit tutularak incelenmiştir. Aşındırıcı olarak P220C Mesh, P400C Mesh ve P600C Mesh SiC abrasiv aşındırıcı kağıtlar kullanılmıştır. Numunelere 10N, 20N ve 30N olmak üzere 3 farklı yük uygulanmıştır. Bir numune ile yapılan aşınma deneyi her defasında aynı şartlarda yeni bir aşındırıcı kağıt kullanılarak, tekrarlanmış ve ortalama değerler alınmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda Hardox500 çelik numunelerdeki aşınma Hardox600 çelik malzemesine göre daha fazla olmuştur (Tabur, 2019).

Byun J. ve arkadaşları endüstriyel gelişmenin neden olduğu artan güç kullanımı nedeniyle, temas bölgesindeki aşınma ve sürtünmenin iyileştirilmesinin önemi ortaya çıktığından yola çıkarak Özellikle sürtünmenin ön plana çıktığı Frenler veya kavramalar ve sürtünme gibi bazı parçalar dışında, contalar ve hassas mekanik parçalar (örneğin pistonlar, yataklar, valfler ve kamlar) düşük sürtünme özellikleri gerektiren önemli motor bileşenlerinde aşınmadan kaynaklı zararların azalması gerektiğini belirtmişler ve bu çalışmada, sürtünme özelliklerini belirlemek için kullanılan deneysel yöntem, pin-on-disk test cihazı ile rpm tipine dayandırılmış, birbirine sürtünen iki metalin yüzeylerini analiz etmek için eleman analiz programı ANSYS

kullanılmış ve fiziksel olarak formasyon FEM modelleri, çalışma özellikleri ve aşınması kullanılmıştır (Byun, 2016).

Bose ve arkadaşları, uzun hesaplama süresini önlemek için bir yaklaşım tekniği için 3 boyutlu disk üzerinde pim aşınma simülasyonlarının kullanılması gerektiğini iddia etmişlerdir. Pim malzemesi pirinç olarak seçilmiş ve diskler AISI 52100 yatak çeliğinden imal edilmiş olup, kuru kayma koşullarında farklı yükler altında testler yapılmış ve aşınma derinliği sonuçları elde etmişlerdir. Sonuçlar, simülasyonun daha düşük yükler altında aşınma derinliğini doğru bir şekilde tahmin etmede daha başarılı olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, Archard denkleminin bu olasılığı dışladığı yüksek yüklerde sıcaklığın etkisi olabildiğini elde etmişlerdir (Bose, 2019).

Demir yapmış olduğu çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirdikleri aşınma testleri sonuçlarını sonlu elemanlar yöntemi analizleri ile üç (3d) boyutlu elde etmeye çalışmıştır. Demir yapmış olduğu bu çalışmada farklı sertlik ve yapıya sahip malzemelere laboratuvar ortamında alümina bilya kullanarak aşınma testi yapmıştır. Deney sonrasında elde edilen sonuçlar ANSYS Workbench programı ile simüle edilerek karşılaştırma yapmışlar en fazla aşınmanın magnezyum alaşımlı malzemede olduğunu tespit etmişlerdir (Demir,2020).

Thompson yapış oldukları çalışmada ARCHARD aşınma denkleminde yola çıkarak ANSYS sonlu elemanlar programı kullanarak iki farklı gövdeden oluşan model tasarlamış, modelde alt gövde, üst yüzeyinde iki küçük yuvarlak çıkıntı bulunan dikdörtgen blok ve üst gövde sert bir temas yüzeyden oluşmaktadır. Tasarlamış oldukları örneklerle aşınma mekanizması üzerine ANSYS de kıyaslama yapmışlardır (Thamson, 2006).

Stepanov ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada farklı karbon içeriği ihtiva eden alaşımlı çelikleri vakumlu ergitme fırınında üretmişler, karbon içeren alaşımların sertleşme mekanizmaları nicel olarak analiz etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada CoCrFeNiMn esaslı yüksek entropili alaşımların katılaşma koşullarında sertliğini ve yapılarını incelemişlerdir. Mikro sertlik değerinin alaşımlardaki karbon miktarına

bağlı olduğu karbon miktarının artması ile 160 HV den 275 HV ye çıktığı tespit edilmiştir.

3.1. SIVI METAL HAREKETİ VE AKIŞ DURUMU

Döküm işlemi; kalıplama, ergitme, alaşımlandırma işlemi, kalıbın belirli sıcaklıklarda ergitilmiş metal malzeme ile doldurulması, katılaşması ve katılaşma sonrası kalıp bozulması ile tamamlanan bir imalat sürecidir [Campbell, 2003, Campbell, 2004]. Döküm işlemi sonrası ergimiş metalin soğuma koşulları göz önünde bulundurularak, ergitilmiş sıvı metalin kalıp içerisinde soğuyarak katılaşması ile süreç tamamlanır. Bu işlemlerde ergitilmiş metalin kalıba dolmasında tasarlanan yolluk sistemlerinin döküm ile imal edilen malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi fazlaca yüksektir. Bunun nedeni döküm işleminde malzemenin mekanik özelliklerine, yapısına, hata olarak kabul edilen ve mekanik dayanıma olumsuz etki eden boşluk oluşumlarını yolluk sistemi tasarımı ile kontrol etmeye olanak sağlamasıdır [Campbell, 1993, Campbell, 2003, Yu, 2002, Tunçay, 2012, Flemings, 1974, Stefanescu, 2009]. Döküm ile imalat işlemi başlamadan önce özellikle kalıp oluşumu öncesi aşamasında yolluk sistemlerinin uygun olarak tasarlanması sıvı metalin ilerleyişinin doğru döküm tekniğine uygun düzeyde olması gerekir. Döküm yolluk sistemleri üzerine yapılan çalışmalar gösteriyor ki döküm işlemlerinde yolluk sistemlerinin tasarımlarında oluşan hatalarının toplam kayıp oranının % 30-50'sini oluşturduğu tespit edilmektedir (Ruddle, 1956). Döküm işlemi tamamlandıktan sonra malzeme içerisinde beklenen tane yapısı, (döküm sonrası katılaşma koşullarına bağlı olarak) sıvı-katı dönüşümüyle soğuma oranı ve soğuma hızı ile ilişkili olarak değişmektedir. Soğuma hızı ve soğuma oranındaki değişikliğin fazla boyutta olması malzemenin iç yapısındaki tane boyutuna ve dolayısıyla malzemenin mekanik özelliklere önemli ölçüde tesir eder (Campbell, 2003, Yu, 2002, Flemings, 1974, Stefanescu, 2009). Malzeme içerisinde üretimden kaynaklanan hataları minimize edebilmek için çağımızda çoğu üretim aşamalarında imalattan önce çıkabilecek sorunları anlamak ve müdahale edebilmek, tasarımdan kaynaklanan eksikliklerin ve bunlardan dolayı oluşabilecek sorunların tahmin edilerek öngörülebilmesi için çeşitli bilgisayar simülasyon program paketleri kullanılmaktadır. Simülasyon programları ile tasarımı yapılan sistemdeki hatalar kontrol edilerek kalite kontrolü sağlanmaktadır. Döküm işlemlerinde yollukların, memelerin, besleyicilerin

ve kalıp boşluğunun sıvı metal ile doldurulması, kütleinin korunumu (Eş. 3.1), momentumun korunumu (Eş. 3.2) ve enerji eşitliği (Eş. 3.3) ile gerçekleşmektedir. Bu eşitlikler genel olarak Navier-Stokes eşitlikleri olarak adlandırılmaktadır. (Tüm yönler (x, y ve z yönleri) gözönünde bulundurularak sonlu elemanlar yöntemi, sonlu hacimler gibi sayısal analiz yöntemlerinden faydalanılarak çözümlenebilmektedir). Bahsedilen eşitliklerde sıcaklık nedeniyle meydana gelen yoğunluk değişimi gözardı edilmektedir (Sutton, 2007, Tunçay, 2012, Ruddle, 1956).

Kütleinin korunumu veya süreklilik eşitliği,

$$\frac{\partial V_X}{\partial X} + \frac{\partial V_Y}{\partial Y} + \frac{\partial V_Z}{\partial Z} = 0 \quad (3.1)$$

Momentumun korunumu eşitliği,

$$\frac{\partial V_X}{\partial t} + V_X \frac{\partial V_X}{\partial x} + V_Y \frac{\partial V_X}{\partial y} + V_Z \frac{\partial V_X}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_X}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V_X}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 V_X}{\partial Z^2} \right] + g_x,$$

$$\frac{\partial V_Y}{\partial t} + V_X \frac{\partial V_Y}{\partial x} + V_Y \frac{\partial V_Y}{\partial y} + V_Z \frac{\partial V_Y}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_Y}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V_Y}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 V_Y}{\partial Z^2} \right] + g_y,$$

$$\frac{\partial V_Z}{\partial t} + V_X \frac{\partial V_Z}{\partial x} + V_Y \frac{\partial V_Z}{\partial y} + V_Z \frac{\partial V_Z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 V_Z}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V_Z}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 V_Z}{\partial Z^2} \right] + g_z,$$

$$\mathbf{g} = (g_x, g_y, g_z) \quad (3.2)$$

Enerjinin korunumu eşitliği,

$$\frac{\partial T}{\partial t} + V_X \frac{\partial T}{\partial x} + V_Y \frac{\partial T}{\partial y} + V_Z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{\rho c} + \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (3.3)$$

(3.1), (3.2) ve (3.3) numaralı denklemlerde yer alan momentum korunumu, kütleinin korunumu, enerjinin korunumu eşitlikleri sayısal analiz yöntemleri kullanılarak

bilgisayar vasıtasıyla analiz edilip simülasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bunların yanında sıvı metalin sahip olduğu akış hızı, akış kalitesi ve akış oranı üzerine deneysel yollar tatbik edilmektedir (Ravi, 2006).

Sıvılar hareket halinde bulunurken, kinetik enerji ve potansiyel enerji olmak üzere iki birbirinden farklı enerji türüne sahip bulunmaktadır. Sıvıların sahip olduğu potansiyel enerjisini, basınç enerjisi ile birlikte pozisyon (konum) enerjisi oluşturmaktadır. Sıvının konum enerjisi olarak isimlendirilen ve yükseklikten kaynaklı enerjisi (mgH), yerçekiminden dolayı kaynaklanan potansiyel enerjisidir ve uygun referans olarak yüzey (alt yüzey) göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır. Referans olarak belirlenen yüzey konumundan itibaren "H" yükseklik farkında bulunan "m" ağırlığına sahip sıvı malzemenin konum gereği sahip olduğu enerjisi, sıvının ağırlık değeri ile yükseklik değerinin çarpımına eşittir. Basınç enerjisi olarak isimlendirilen enerji, "P" basıncı değeri maruziyeti altındaki sıvının yapabildiği iş miktarı olarak tanımlanmaktadır. Basınç enerjisi (P/w), sıvı taneciklerinin sıvı yüzeyinden bulunduğu konuma olan yükseklik farkı arasındaki birim hacminin ağırlığından dolayı oluşan basınç değerinin (P), birim hacim ağırlığa (w) bölümü olarak ifade edilmektedir. Sıvının sahip olduğu kinetik enerjisinin değeri ($(mV^2)/2$), sıvı kütlesi m, sıvının sahip olduğu etkin hızının karesi V ile çarpımın değerinin yarısına eşittir. Eğer sıvının birim ağırlığın kinetik enerjisi hesaplanacak ise, ağırlık değerinin yerine kütle türünden değeri yazılır. Birim kinetik enerjisi ($V^2/2g$) formülü ile hesaplanmaktadır (Campbell, 2004).

Sıvının enerjisi bulunduğu noktadan referans yükseklik farkına olan mesafeye bağlıdır. Sıvılarda hız yükü değeri (birim kinetik enerjisi) ($V^2/2g$), konum yükü (konum potansiyel enerjisi) (H) ve basınç yük değeri (P/V) şeklinde tanımlanabilir (Tunçay, 2012, Ruddle, 1956, Webster, 1964).

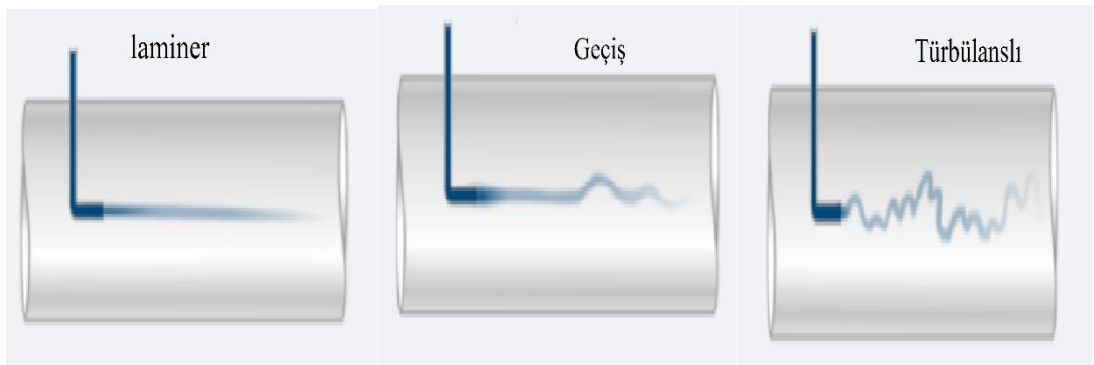
Sıvı metallerin döküm uygulamaları sürecinde dikey-yatay yolluk düzenekleri içerisindeki akış durumları ve hareketleri, akışkanlar mekaniğinin temel eşitlikleri ve bilimsel prensipleri ile değerlendirilmektedir. Sıvıların akış koşulları, boyutsuz Reynolds sayısı (Re), Weber sayısı (We), Froude sayısı (Fr) ile açıklamaktadır (Asm, 2009).

Sıvılarda kritik hız olarak isimlendirilen bir kavram bulunmaktadır, bu kavramda kritik hız değerinin altındaki değerlerde sıvı akış biçimi laminar akış, kritik hız seviyesinden daha yüksek hız değerlerinde ise akış biçimi türbülanslı akış durumu sergilemektedir. Reynolds sayısı olarak ifade edilen sayı, sıvının sahip olduğu atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak ifade edilmekte ve bu Eşitlik 3.4' de görüldüğü şekilde hesaplanabilmektedir. Kalıp boşluğuna giren metalin akışının, türbülanssız, yani laminar şekilde olması istenir. Akışın laminar olduğu ise, Re, yani Reynold sayısı ile bulunur. Eğer $Re < 2000$ ise akış laminar olarak karakterize edilir. $2000 < Re < 20000$ ise hafif türbülans ve çalkalanmalar meydana gelebilir yalnız kalıp yüzeyine hasar vermediği müddetçe göz ardı edilebilir. Çoğu dökümhane bu tarz bir akış gözlemlenmektedir. Eğer $Re > 20000$ ise akış fazlasıyla türbülanslı olup kalıp yüzeyinde hasara yol açacaktır (Asm, 1998).

$$Re = \frac{vd\rho}{\mu} \quad (3.4)$$

(3.4) denklemindeki değişkenler;

- Re: Reynold sayısı (birimsiz)
- v: Sıvının sahip olduğu hız (m/s)
- d: Akışkanın aktığı kanalın çap değeri (m)
- ρ : Sıvı malzemenin yoğunluğu (kg/m^3)
- μ : Sıvının dinamik viskozitesi ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)



Şekil 3.3. Sıvı metal malzeme için Reynold sayısına bağlı akış durumu
(Armada yazılım, 2021)

Froude sayısı olarak ifade edilen sayı, yükseklikten düşen sıvı malzemenin akış şekli ile ilgili bilgi vermek için kullanılmaktadır ve Eş. 3.5 ile gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Sıvı malzemenin hız değerine ve sıvının düştüğü yükseklik değerine bağlı olarak değişmektedir. Froude sayısı, Weber sayısına kıyasla daha büyük açık kanallarda yer almakta olan sıvı malzemenin akış şeklinin yorumlanmasında, geniş yatay yolluk yapısına sahip hidrolik sıçrama koşullarının incelenmesi için kullanılmaktadır. Froude sayısı 1 rakamının altında yer alıyorsa laminar akış, 1 değerine eşit büyüklükte ise kritik geçiş koşulu ve 1 rakamından büyük değerde ise türbülanslı akış koşulu bulunduğunu belirtmektedir.

$$Fr = \frac{v^2}{hg} \quad (3.5)$$

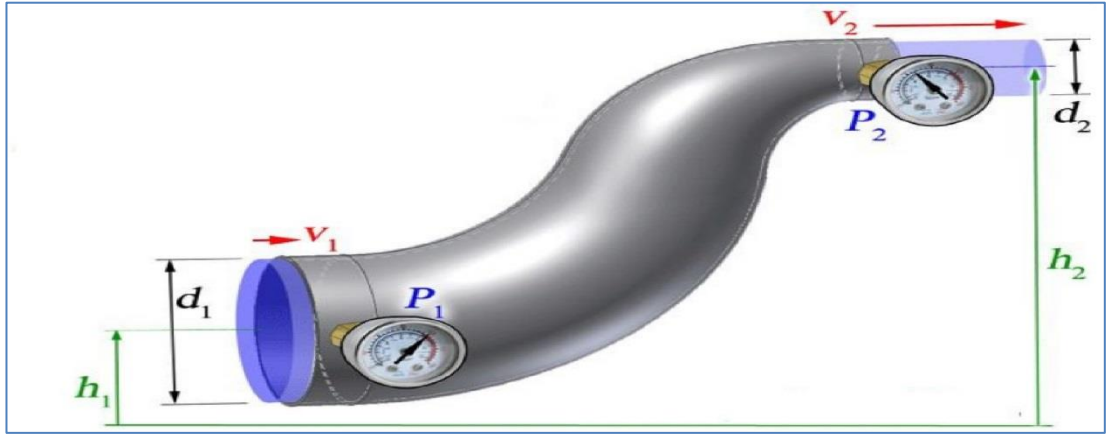
Weber sayısı ise sıvının iç yapısındaki kuvvetlerin oluşan yüzey gerilim değerine oranı olarak ifade edilmektedir. Weber sayısı kullanım ifadesinde sıvı metal metal malzemenin froude sayısında olduğu gibi akış koşul durumuna nazaran daha fazla yüzey türbülansının açıklanmasında Eş. 3.6' da gösterildiği şekli ile kullanılmaktadır. Yüzeyde meydana gelen türbülans, kalıp boşluğuna doğru ilerleyerek dolduran sıvı metal malzemenin üst yüzey kısmındaki atomik çekim sonucu oluşan kuvvetlerin etkisi ile ince bir yapıya sahip ve zar görünümünde olan film tabakasının düzene sahip olmayan (türbülanslı) hareketidir. Yüzey türbülansı olarak ifade edilen bu koşul sıvı metal malzemenin hız değerine, ilerlediği kesit kısmın şekline ve alan değeri ile ilişkili olarak değişmektedir.

$$We = \frac{\rho v^2 D}{\gamma} \quad (3.6)$$

Sıvı metal malzemenin akış oranı ise sıvı malzemenin hareket ettiği kesit alanı, sıvı metal malzeme yoğunluğu ve sahip olduğu hız değerinin çarpımı ile elde edilmektedir (Ruddle, 1956, Sutton ve Ficme, 2007, Asm, 2009, Potter, 2008, Srinivasan, 1962, Campbell, 2004).

3.1.1. Bernoulli Eşitliği

1738 yılında Daniel Bernoulli' nin yapmış olduğu çalışmada sıvıların akış anındaki anlık hız değerleri, enerjinin korunumu denklemi ile ifade edilmiştir. Bernoulli eşitliği olarak bilinen bu kavramda, sıvı akışında potansiyel, kinetik, akış enerjilerinin korunumu ve bu enerjilerin net viskoz kuvvetlerin gözardı kabul edilebilir olduğu durumlarda, diğer sınırlayıcı koşullara bağlı olarak birbirlerine dönüşümleri ile ilgilidir (Çengel, 2008). Malzemelerin döküm yöntemi ile imalatında yolluk düzeneklerinde farklı pozisyonlarındaki sıvı metal hızı, akış kanal alanı doğrultusunda uygulanan enerjinin korunumu eşitliğinden faydalanılarak hesaplanabilir. Şekil 3.4 'deki gibi basit bir düzenekte Bernoulli eşitliği, viskoz kuvvetlerden dolayı oluşan enerji (yük kayıpları gözardı edilcek olursa) Eş. 3.7 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.4. Bernoulli eşitliği için değerlerin gösterimi (Pinterest, 2021)

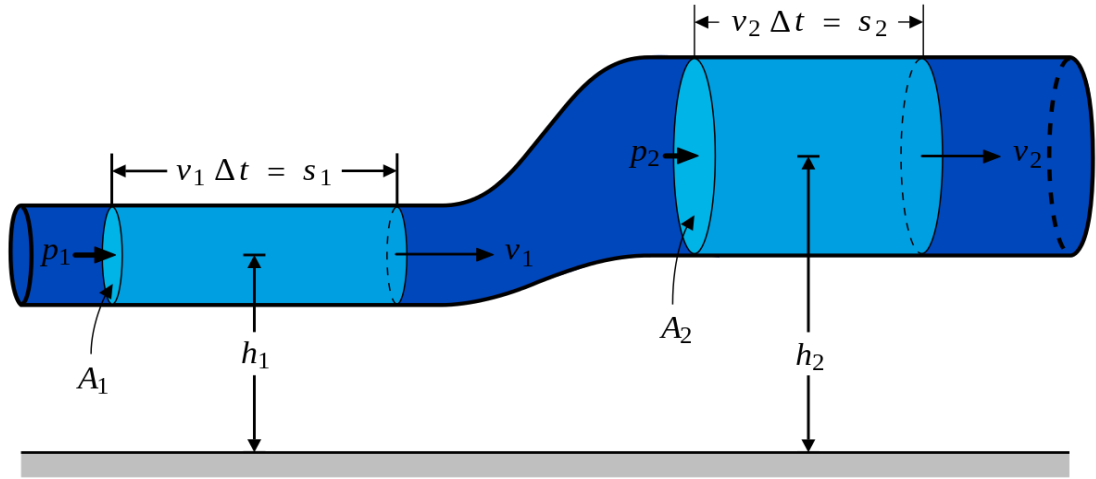
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 = \text{Sabit} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki denklemde ifade edilen değerler:

- v: seçilen noktadaki akışkan hız değeri (akım çizgisi boyunca),
 - g: yer çekimi,
 - h: düzlem üzerindeki (referans düzlemi) yükseklik farkı
 - p: basınç (seçimi yapılan noktadaki)
- ρ : yoğunluk değeri

3.1.2. Kütlenin Korunumu

Kütle genel ifade ile enerji gibi bir sistem içerisinde korunan özelliklerden biridir. Konuyu açacak olursak anlamı işlem sürecinde enerji veya kütle yoktan var edilemez veya vdiğer bir şekilde vardan yok edilemez. Kütlenin korunumu olarak bilinen bu ifadenin eşitliği matematiksel olarak bu temel prensibe dayanmaktadır. Yolluk hesaplarında ‘Sürekliplik Yasası’ da önemlidir. Sızdırmanın olmadığı bir sistemde sıkıştırılmayan bir akışkanın debisi, seçilen herhangi bir noktada ölçüldüğünde aynı olmalıdır (Erbul, 2017).



Şekil 3.5. Sürekliplik denklemi (Sciencehook, 2021)

Şekil 3.5’ deki düzenek üzerinde A_1 kesit alanına sahip ve V_1 hız değeri ile ρ yoğunluğa sahip sıvı kendinden daha geniş kesit alanına sahip A_2 kesit alanı değerinde V_2 akış hızı ile yoluna devam etmektedir. Akışın sürekli ve daimi olduğu düşünülecek olursa, Giriş kesiti (A_1) ve çıkış kesiti (A_2) kesitlerden akan sıvının kütleli debisi birbirine eşittir.

$$Q=A_1V_1=A_2V_2 \quad (3.8)$$

(3.8) denklemindeki değişkenler:

- Q: Akışkanın debisi (m³/s)

- A: Akışkanın o anda geçtiği kesit alanı (m²)
- V: Akışkanın o andaki hızı (m/s)

3.2. DÖKÜM YOLLUK SİSTEMİ ELEMANLARI VE MODEL HESAPLAMASI

3.2.1. Yolluk Sistemi

Yolluk, ergitilmiş metalin sağlıklı bir şekilde kalıp boşluğuna iletilmesini sağlayan döküm elemanıdır. Metal ergitildikten sonra taşındığı pota yardımıyla, otomatik veya elle, havşadan içeri akıtılır. İçeri akan ergiyik metal, kolondan geçerek topuğa ulaşır. Topuktan da ilerleyerek yatay yolluk ve meme girişleri vasıtasıyla kalıp boşluğuna dolar. Yolluklar, basınçlı yolluklar ve basınçsız yolluklar olmak üzere iki şekilde gruplandırılmaktadır. Kesit alanlarının kolondan meme girişlerine kadar daralarak dizayn edildiği sistemler basınçlı yolluk olarak adlandırılmaktadır. Tam tersi yaklaşımla, kesit alanlarının meme girişlerine doğru arttığı dizaynlar ise basınçsız yolluklar olarak adlandırılır (Erbul, 2017).

Akıcı haldeki sıvı metal malzenin kalıpta ilerleyerek boşlukları doldurması sürecindeki ilerlemesi, yolluk sistemi vasıtasıyla olmaktadır. Yolluk sistemleri; döküm havuzundan başlar (havşa), sonrasında dikey yolluk ve yatay yolluk sistemlerinden oluşmaktadır. Döküm esnasında sıvı metalin akış hızı ve akış koşulu, takip ettiği yolluk sistemini oluşturan elemanların kesit alanına ve geometrik şekline göre kalıp boşluğu içerisinde akış yönüne ilişkili olarak değişmektedir. Sıvı metalin ilerlemesi çoğunlukla akış oranı olarak ifade edilmektedir genel bir ifade ile özetleyecek olursak sıvı metalin akıştaki hız değeri, akış oranından kesit alanına bağlı olarak değişmektedir (Campbell, 2003)

Yolluk sisteminin temel işlevi, erimiş metalin içinden geçerek boşluğa girmesi için bir geçiş yolları sistemi sağlamaktır. Boşluğa girdikten sonra metal, istenen dökümde katılaşacaktır (Ning, 2009).

3.2.1.1. İdeal Bir Yolluk Sisteminden Beklenen Özellikler

Dökümü sağlıklı şekilde gerçekleştirebilmek adına yolluk dizaynının doğru yapılmış olması gerekmektedir. Yanlış dizaynlar sonucu, sıvı metalin türbülanslı akması, metal akış hızının hesaplanandan yüksek veya az olması, kalıp erozyonu, cürufun kalıp boşluğuna geçmesi gibi sorunlar ve doğuracakları sonuçlar ile karşılaşılabılır.

Çizelge 3.2. İdeal bir yolluk sisteminden beklentiler ve bu beklentilerin karşılanmaması durumunda ortaya çıkabilecek sorunlar (Erbul, 2017)

İdeal Yolluk Sisteminden Beklenenler	Beklentilerin Karşılanmaması Durumunda Oluşabilecek Problemler
Döküm hızı, ideal büyüklüklerde olmalıdır.	Dökümün çok hızlı gerçekleşmesi, türbülansa, kum erozyonuna sebep olabileceken yavaş gerçekleşmesi ise henüz daha kalıp dolmadan katılaşmanın başlaması riskini doğurur.
Yolluk ebatları optimum seviyede tutulmalıdır.Çünkü dökümden sonra ergiyik metal, yolluk sistemini doldurarak katılaştığı için, olması gereken hacimden fazla bir yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttıracaktır.	Yanlış dizayn ile gerekenden daha hacimli tasarlanan yolluk sistemi, metal sarfiyatını arttırarak maliyete olumsuz yönde yansiyacaktır. Ayrıca kalın, kırılması, temizlenmesi zor yolluklar, ekstra işçilik maliyeti oluşturacaktır.
Yolluk sistemi, ergiyik metalin kalıp boşluğuna doluşu sırasında türbülans oluşturmamalıdır.	Türbülanslı bir akış esnasında sıvı metal gaz alabilir, oksitlenme ihtimali ortaya çıkacaktır ve kalıp erozyonu meydana gelebilir.
Yolluk, döküm gerçekleştikten sonra en son katılaşmaya uğrayacak bölge olmalıdır.	Yolluk, kalıp boşluğundan önce katılırsa akış kalıbın içine olması gerektiği gibi olmayacaktır.
Kalıp boşluğunu sıvı metal ile en ince ve uzak kesitlere kadar doldurmalıdır.	Ergiyik metal, kalıp boşluğuna ulaşamazsa ya da kalıbın her bölgesine erişemezse döküm, temel prensipte doğru bir şekilde gerçekleşemez.

3.2.2. Düşey Yolluk

Yolluğun temel işlevi erimiş metali kalıp boşluklarına taşımaktır. Yolluk, türbülans, oksit girişi, kum dahil etme ve hava hapsetme gibi farklı kayıpların üstesinden gelecek şekilde tasarlanmalıdır. Dikey yolluk yatay bir yollukla bağlantılıdır. Dikey yolluğun boyutu, eriyiğin kalıp boşluğuna akış hızından etkilenir (Purkar, 2019).

Döküm hunisi veya döküm haznesinden aldığı sıvı metali düşey olarak kalıbın mala yüzeyindeki yatay yolluğa iletir. Sıvı metal bu düşey hareketi esnasında hız kazanır. Bu hareketle sıvı metal sahip olduğu yükseklik enerjisini (potansiyel enerjisini) kaybeder, bunun sonucunda da düşey yollukta negatif basınç meydana gelir. Bu negatif basınçta vortex olayına sebep olur. Düşey olarak aşağıya doğru hareket eden sıvı metal kolonu hava veya gaz emmeye zorlar. Bunun için düşey yolluk aşağıya doğru konik yapılır ve metal erozyonu, metal türbülansı önlenir (Ülker, 2006).

Düşey yolluğun taban alanı veya boyun kesit alanı istenilen döküm zamanını düzenler. Düşey yolluğun konikliği düşey yolluğun tamamıyla dolu akmasını sağlayacak kadar olmalıdır. Boyu uzun, düşey yolluklarda, yolluğun üst kesit alanı, taban kesit alanının veya boyut kesit alanının iki katı, kısa düşey yolluklarda üç katı olmalıdır.

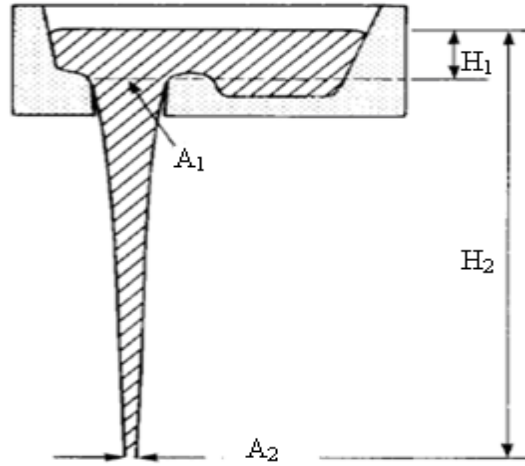
Düşey yolluğun döküm haznesi ve yatay yollukla birleştiği kısımlar radyuslu birleşmelidir. Döküm haznesinin kullanılmadığı küçük dökümlerde, düşey yolluğun üst kısmı metalin kolaylıkla dökülebilmesi için huni şeklinde açılır. Buraya döküm hunisi adı verilir.

Şekil 3.6' da kütle korunumu prensibine göre, dikey yolluk ve döküm havuzu yüksekliğine göre kesit alanı daralışı görülmektedir. Döküm havuz yüksekliği H_1 , dikey yolluk toplam yüksekliği H_2 , sırasıyla giriş ve çıkış alanları A_1 ve A_2 olarak gösterilmiştir. Dikey yolluk için kütle korunumu prensibi ile sürtünme ve girişteki yük kayıpları ihmal edilerek basit olarak süreklilik durumunda hesaplanabilir. Dikey yolluk sistemine giren sıvının kinetik enerjisi, sisteminden çıkan sıvının kinetik enerjisine (Eş 3.9 ve 3.10) eşittir.

$$\sqrt{2g(H_1)} (A_1) = \sqrt{2g(H_2)}(A_2) \quad (3.9)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\left(\frac{H_2}{H_1}\right)} \quad (3.10)$$

Dikey yolluk toplam yüksekliği ve döküm havuz yüksekliği göz önünde tutularak, Eş. 3.9 veya 3.10 'ile kesit alanları bulunur. Dikey yolluk elemanında bölgesel ve sürtünmeden kaynaklanan yük kaybı oluşmaktadır (dökümhanelerde sıklıkla bu gerekli alan daralması için 5°eğim ile sağlanmaktadır).



Şekil 3.6. Döküm işleminde dikey yolluk kesit görüntüsü (Campbell, 2003)

Ölçüler = 100*100*15

V= 150 cm³

S_a= 260cm²

M_c= V/(S.A) = 0,576 cm

V_{crit}= 2(γg/p)^{1/4}

V=0,45m/sn

A₁*√2gH = A₂√2gh

A₁/A₂=√H/h

A₁/A₂=√0,145/0,025 = 2,4

3.2.3. Yatay Yolluk

Yatay yolluk, sıvı metalin kalıp boşluğuna girmeden önceki dağıtımını yapar. Metal, kalıba memelerden girer. Memeler, parçanın et kalınlığına göre en uygun yerde olmalı, parçanın ince kesitlerini daha hızlı, kalın kesitlerini daha yavaş doldurmalıdır. Çünkü ince kesitler daha kısa zamanda katılaşıır. Memeler kalıptaki termel gradyanı (farklı kesitlerdeki ısı dengesini) sağlamalıdır. Bu, iyi katılma açısından çok önemlidir (Erbul, 2017).

Yatay yolluk kesit alanı daima dikdörtgen olmalıdır. Dikdörtgenin yan kenarlarına gerekli koniklik verilmelidir. Bu koniklik minimum olmalıdır.

3.2.4. Memeler

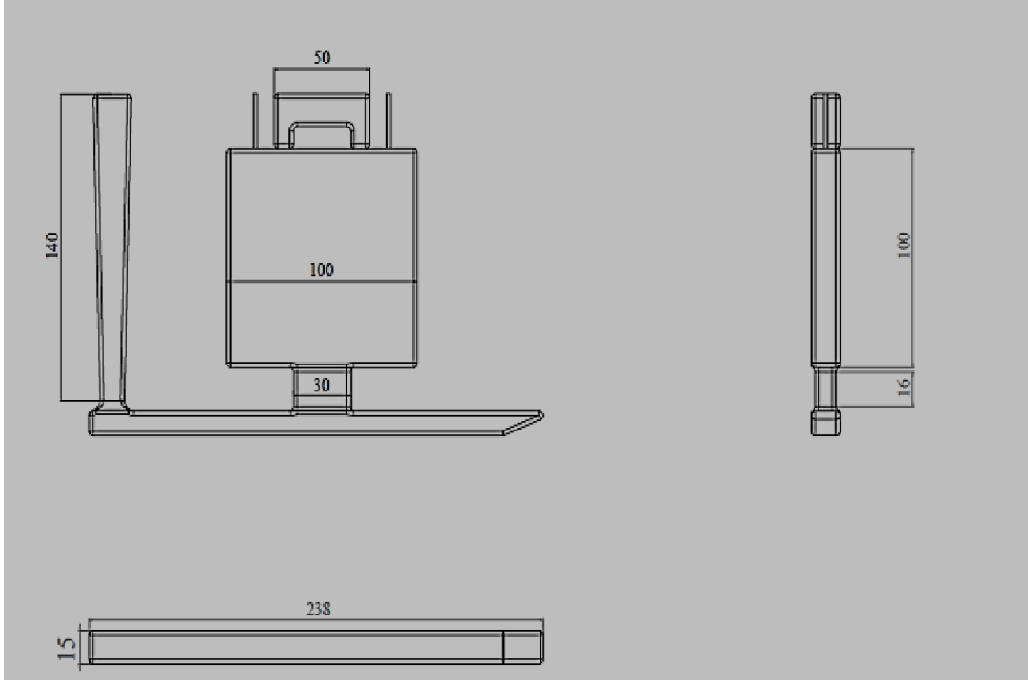
Memeler, erimiş metali kalıp boşluğuna götüren son geçittir. Memelerin konum ve tasarımı (boyutları), akan metal tarafından kalıp yüzeylerinin daha az kesilmesi ile metalin hızla doldurulabilmesine göre düzenlenmelidir. Metal soğuduktan sonra çatlakların oluşmasını önlemek için memeler yerleştirilmelidir (Singh, 2003).

Yolluk sistemini parçaya memeler bağlar. Yolluk sisteminde besleyici yoksa, yolluklar kesilerek değil, kırılarak ayrılabilir. Meme boyutları buna göre ayarlanmalıdır. Meme kesit alanları genellikle dikdörtgendir. Kalıplama açısından yan kenarları konik yapılıdır. Memeler yeteri kadar ince ve uzun olmalıdır (Erbul, 2017).

Buna sebep şunlardır:

- a) Basınçlı sistemde kalıba curuf girmesini önlemek için,
- b) Yolluk sistemini dökümden kolayca ayırmak için,

Yukarıda belirtilen ideal ylluk sistemleri ve memelerde yer alması gereken özelliklerde dikkate alınarak tasarlanan model Şekil 3.7’de görülmektedir.



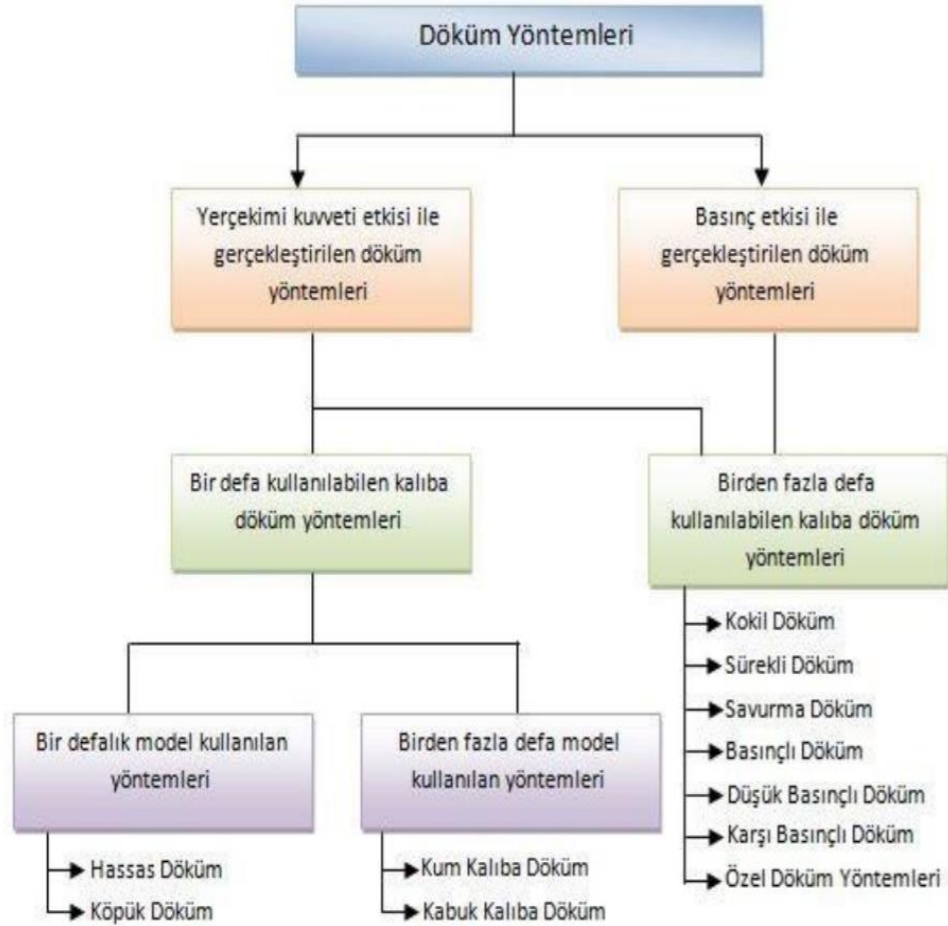
Şekil 3.7. Model tasarım şekli

3.3. GENEL DÖKÜM YÖNTEMLERİ-KUM KALIP ÜRETİMİ

Metal döküm işleminde kullanılan kalıplar tek seferlik kullanımı olan veya çok kez kullanılabilen olarak imal edilmektedir. Tek sefer kullanılabilen kalıplarda her kullanım sonrası tekrar kullanılmayacaklarından dolayı yeni bir döküm için yeni bir kalıp gerektirir. Kalıp üretmek için gerekli olan süre döküm işlemi için gerekli olan zamandan çoğunlukla daha uzundur. Tek kullanımlık kalıp olarak kullanılan kum kalıplama işleminde karmaşık geometriye sahip olmayan parçaların imalatı için saate 400'den fazla kalıp hazırlanıp ve döküm işlemi yapılabilir.

Ayrıca diğer bir kalıp isimlendirme şekli döküm işlemi sonrasında kullanılan kalıbın malzemesine göre bozulabilir olması veya kalıbın malzemesi nedeniyle kalıcı olarak kalması nedeniyle döküm yöntemleri olarak iki ana gruba ayrılır. Bozulabilir kalıp ifadesi, döküm işlemi sonrası metal katılaşma işleminden sonra döküm parçasını kalıptan almak için kalıbın dağıtılması (bozulmasını) anlamına gelir. Kalıba döküm metodlarından daha yaygın olarak kullanılan yöntem, kum kalıba döküm yöntemidir. Kum kalıba döküm yöntemi ile karmaşık yapıya sahip ve büyük hacimli malzemelerin dökümü yapılabilmektedir. Malzeme olarak kalıcı kalıp olarak isimlendirilen

yöntemde ise daha fazla sayıda döküm imalat parçası imal etmek için defalarca kullanılabilen bir kalıptır. Kalıcı kalıplar, kalıp malzemesi olarak yüksek sıcaklık değerlerine dayanıklı metallere veya refrakter özellikli seramik malzemelerden üretilmektedir. Şekil 3.8’ de genel döküm yöntemlerinin sınıflandırılması görülmektedir.

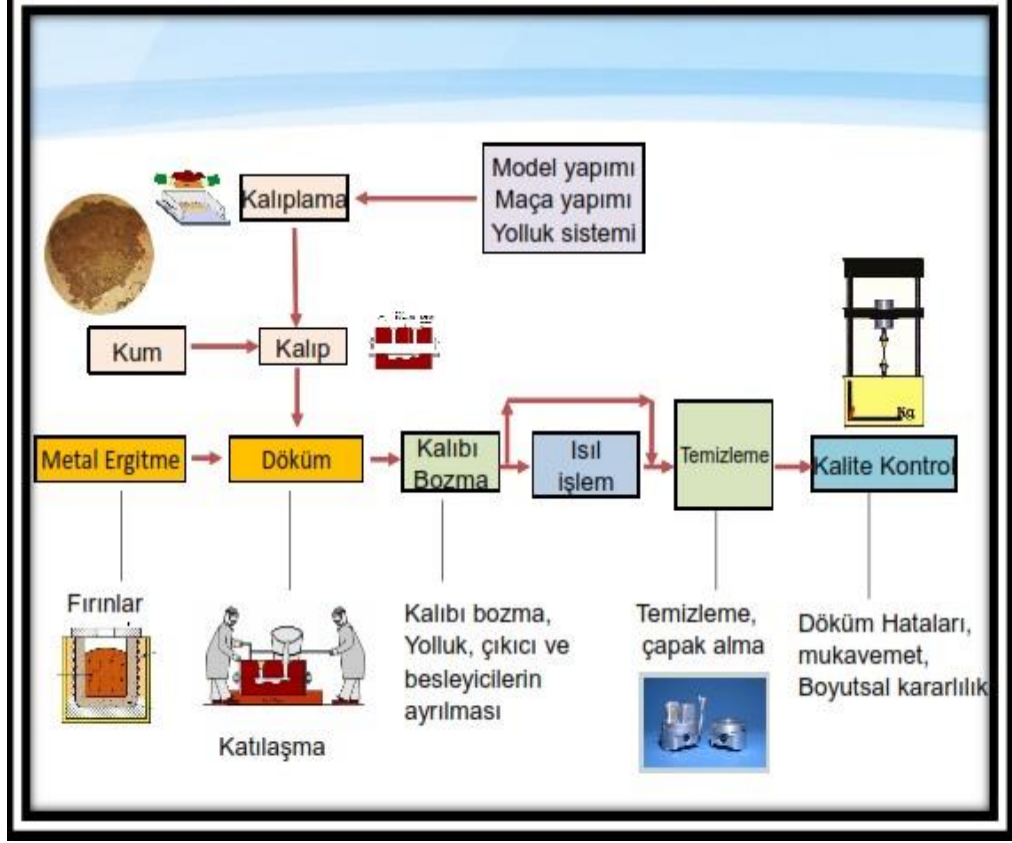


Şekil 3.8. Genel döküm yöntemleri (Yamak, 2021)

3.3.1. Kum Kalıba Döküm

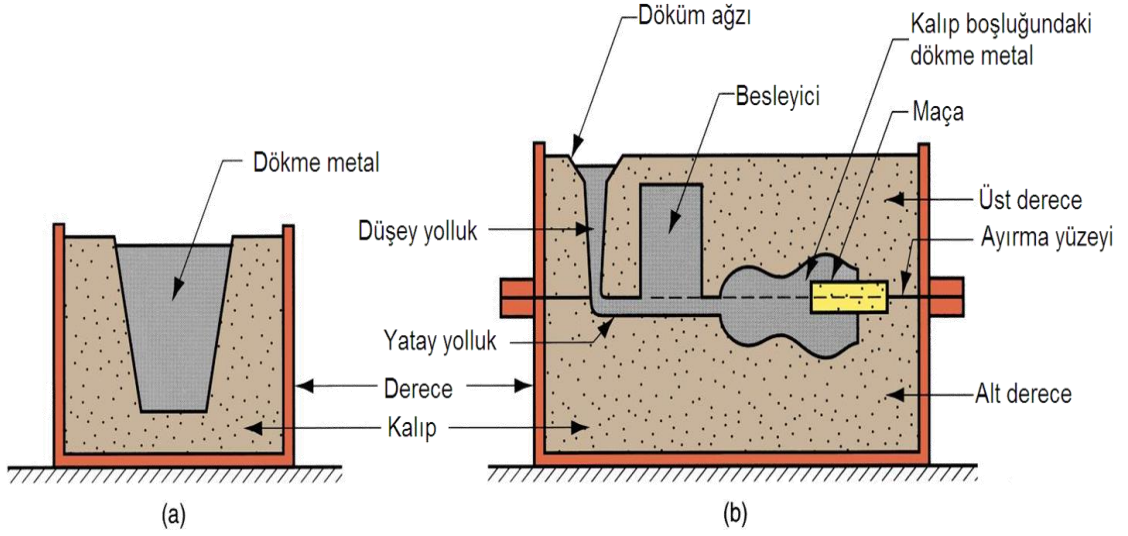
Kum kalıba döküm işlemi döküm ile imalat yöntemleri içerisinde parçaların önemli bir kısmının imal edilmesinde kullanılan döküm şeklidir. Kum kalıba döküm işleminde çeşitli yöntemlerle ergitilen sıvı metalin kumdan imal edilen kalıbın boşluğuna dökülmesi ve döküm işlemi sonrasında eriyiğin katılaşma sürecinin tamamlanmasının ardından kum kalıbın bozulmasıyla imalatı gerçekleştirilmiş olan döküm parçasının

kalıptan çıkartılması ile yapılır. Şekil 3.13’ de kum kalıba dökümde üretim şeması görülmektedir.



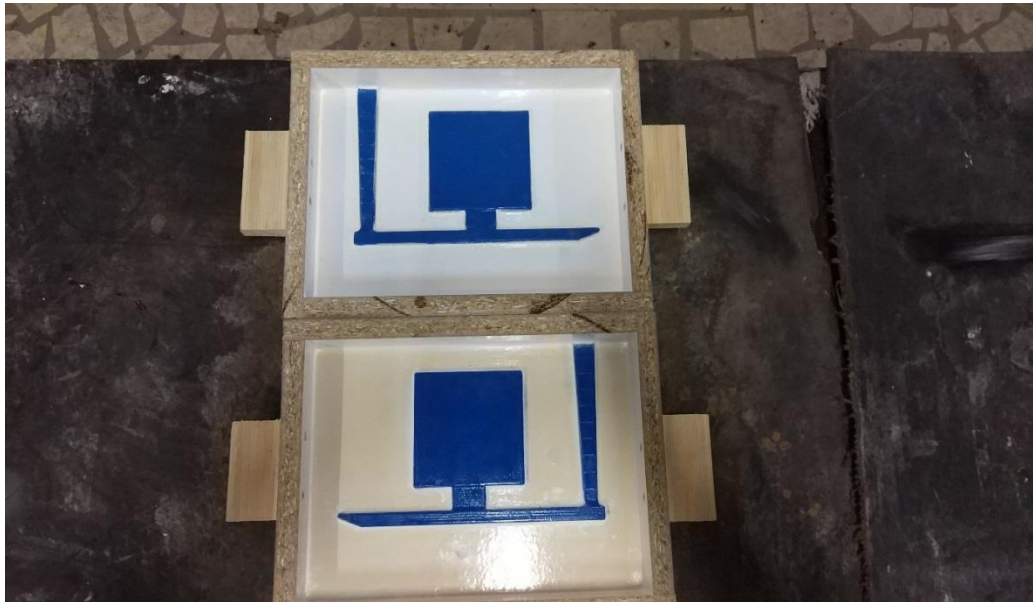
Şekil 3.9. Kum kalıba döküm işlemi akış şeması (Kum kalıba döküm, 2012)

Döküm sürecinin istenilen şekilde başarılı ve beklenen süreçte uygulanabilmesi için öncelikle sıvı eriyik haline getirilecek malzemenin metal türüne uygun bir sıcaklığa gelecek şekilde malzeme ısıtılarak döküm işlemi sürecine başlanır. Metal malzemenin döküm işlemi için eriyik sıvı hale gelmesi ile birlikte sıvı metal üretimi istenilen malzemenin şekline sahip olan kalıp boşluğuna dökülür ve yolluk sistemleri ile uygun şekilde ulaşması sağlanır. Açık kalıp sistemine sahip sistemde sıvı metal, kalıp boşluğunu dolduruncaya kadar dökülerek işlem devam ettirilir. Kapalı kalıp sistemi olarak adlandırılan sistemde ise sıvı metal, yolluk sistemleri vasıtasıyla sıvı kanalları ile birlikte kalıp boşluğuna nakledilir. Şekilde 3.10’ da açık ve kapalı kalıpların genel görünümü görülmektedir (Gülmez, 2011).



Şekil 3.10 Kalıp türleri: (a) direk olarak parçanın şeklindeki kap olan açık kalıp; ve (b) kalıbın şeklinin daha karışık olduğu ve kalıp boşluğuna bir yolluk düzeneği barındıran kalıp şekline sahip kapalı kalıp (Gülmez, 2011)

Kum kalıba dökümde tasarlanan ve imalatı yapılan model-kalıp tasarımında model üzerinde çekme paylarına, modelin köşelerinin konik tasarlanmasına özen gösterilmiştir. Şekil 3.11’ de Kum kalıp hazırlanmasında kullanılan ve 3d printer ile üretimi gerçekleştirilen model-derece görülmektedir.



Şekil 3.11. Kum kalıp öncesi derece ve model görüntüsü

Silika kum kalıba döküm işleminde kalıp yapımı için kullanılan en ucuz kalıp kumudur ve yapısı gereğince yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen döküm işlemleri için

uygundur. Bentonit ve clay kil malzemesi olarak silikaya kum tanelerinin bir araya gelmesi için genellikle kullanılan kil çeşitidir.

Dökümhanelerde tercih edilen kalıp kumlarında özellikle ısıl genleşme katsayısının düşük olmasına dikkat edilmektedir. Isıl genleşme katsayıları düşük olan silikat, zircon ve olivine kumları bu nedenle tercih edilmektedir. Kromit kumları ise yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalarından dolayı kalıp soğuma hızını artırdıkları için tercih edilirler.

3.4. KUM KALIPLAMA İŞLEMİ

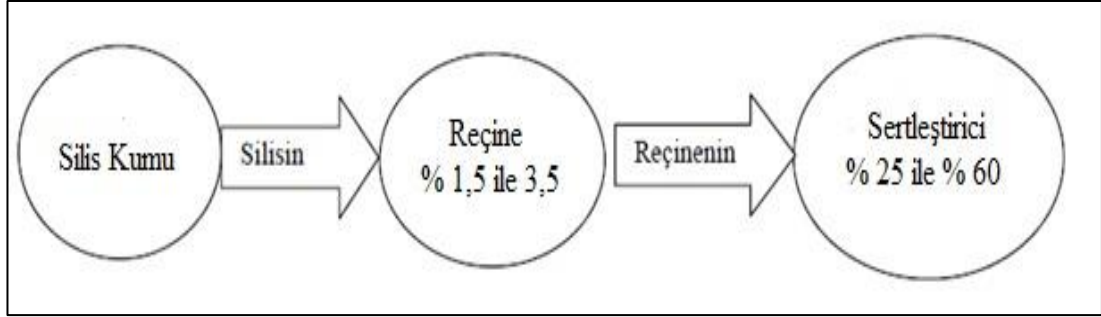
Kum kalıplama başlamadan önce model derece içerisine yerleştirilmiştir derecelerin kolay açılabilmesi için çapraz olarak açılabilir tipte oluşturulmuştur. Kalıp dereceleri model içerisinde dıştan iki taraflı olarak Şekil 3.12’ de görüldüğü üzere işkenceler tarafından sabitlenmiştir.

İşkenceler tarafından sabitlenen model üzerine kum kalıp model yüzeyinden daha rahat ayrılabilsin diye grafit tozu sürülmüştür. Bu sayede hem daha düzgün bir görüntü elde edilmekte hem de kum kalıbın model yüzeyinden daha rahat ayrılması sağlanmıştır.



Şekil 3.12. Model ve derecenin sabitlenip kum kalıp öncesi grafitleme

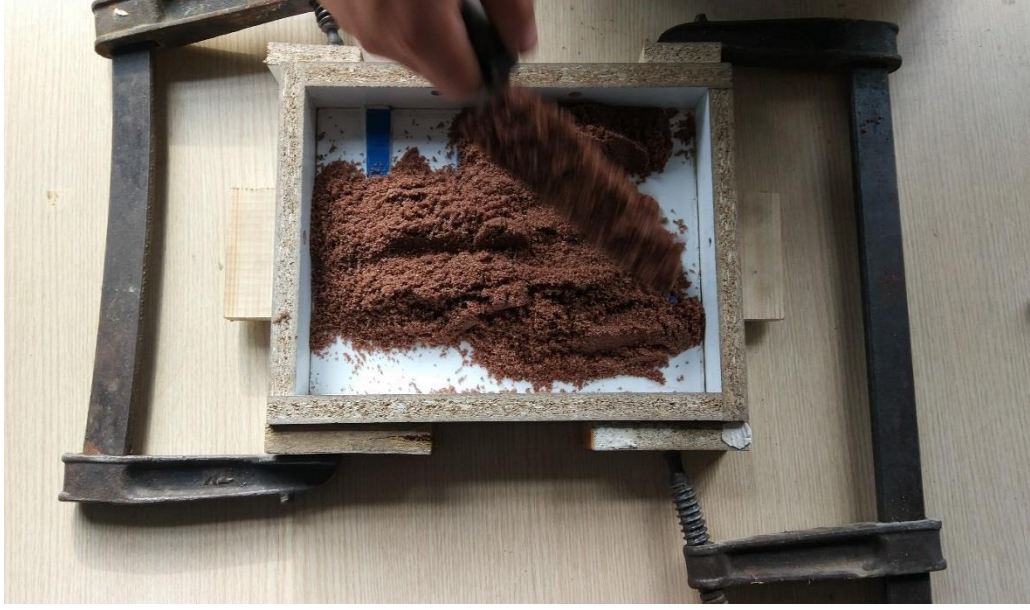
Kurutularak ve yıkanarak temiz hale getirilmiş olan silis kumuna, kumun ağırlığının % 1,5 ile 3,5'i kadar reçine ilave edilir. İlave edilen reçine miktarının % 25'i ile % 60'ı arasında oranla sertleştirici konulur. Şekil 3.13' de görüldüğü oranlarda oranlama yapılır.



Şekil 3.13. Kum-reçine ve sertleştirici oranları

Sertleştiricinin katılma miktarında kalıbın sıyırma süresine, parçanın ebatlarına ve kalıp imalatının yapıldığı ortamının sıcaklığına (kışın daha fazla miktarda, yazın daha az miktarda) dikkat edilmelidir. Hazırlanan kalıp kumu uzun süre kullanılamaz. Dolayısı ile uygun ve az miktarlarda, ihtiyaç duyuldukça kum hazırlanmalıdır.

Derecenin hazırlanması için 2800gr kum, 80-85 gr Reçine, 20-25 gr Sertel hassas terazi aracılığı ile tartılarak ayrı bir kap içerisinde veya makine yardımı ile 1,5-2 dk reçine ve 1,5-2 dk sertel katılarak karıştırma işlemi gerçekleştirilir. Karışımı gerçekleştirilen kum sonrasında Şekil 3.14' de görüldüğü gibi dökümcü malası yardımı ile derece içerisindeki modelin üzerine boşaltılır. Boşaltma işlemi yapılırken kalıbın düzgün oluşması için sıkıştırma işlemine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.14. Reçine-sertelli kum karışımının derece içerisindeki modele kalıplanması

Mevsim şartları ve sertel özelliğine göre kalıbın belli bir süre kalıp haline gelebilmesi için katılaşması beklenir. Sonrasında Şekil 3.15’ deki gibi model kalıptan ayrılarak kalıp boşlukları kontrol edilir ve iki kum kalıp yüzeyi birleştirilip döküme hazır hale gelinmiş olur.



Şekil 3.15. Kum kalıbın modelden ayrılmış hali ve alüminyum dökümü kalıbın denenmesi

3.5. DÖKÜM İŞLEMİ

Döküm işlemi öncesi kalıpların yüzeyleri birleştirilerek endüksiyon fırınında ergitilen metalin dökümü için ön hazırlık yapılarak işlemlere devam edilmektedir.

3.5.1. Döküm Öncesi Kalıpların Birleştirilmesi

Döküm işlemi için hazırlanan Şekil 3.16' da görünen kalıplar özel yapıştırıcı-refrakter malzeme ile birleştirilerek neminin alınması için kurutucu fırına alınmış ve döküm öncesinde döküm için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.16. Kalıpların döküm öncesi birleştirilerek neminin alınması

3.5.2. Endüksiyon Ocakları

İndüksiyon ocağı işlemi sırasında; ergime ısısı, fırın gövdesinin içine yerleştirilen ve refrakter kaplamayı çevreleyen, hurda / sıvı çelikle temas eden su soğutmalı bakır bobinin oluşturduğu elektromanyetik alan nedeniyle indüklenen akımlarla üretilir. Bu elektromanyetik alan sadece yüklü malzemeyi indüklenen akımla ısıtmakla kalmaz,

aynı zamanda erimiş metale endüktif kuvvet uygulayarak metal banyosunu iyi karıştırır. Karıştırma miktarı, indüklenen güç miktarı ile doğru orantılı olarak artar; ancak fırın frekansının karekökü ile ters orantılıdır. Birçok indüksiyon ocağı şebeke frekans gücü (60 Hertz) kullanır. Bununla birlikte, günümüzde demirli metal yüklerini eritmek için kullanılan yüksek güçlü, orta frekanslı fırınlar bulunmaktadır (Avinal, 2016).

Endüksiyon fırınlarında avantaj olarak;

- Endüksiyon ocaklarında yüksek akım sayesinde ve transformatör gücüne bağlı olarak kısa erime süreleri elde edilerek malzemenin hızlı olarak ısıtılıp eritmesi sağlanır. Alaşımlarda ve eritme rejiminde yüksek esneklik sağlanabilmektedir.
- Fırın içerisine şarj için konulan metal malzeme ve elementler, ısıtıcı kısım ile direk olarak temas durumu oluşmaması nedeni ile ve banyodaki yoğun karıştırma dolayısıyla homojen eriyik elde edilmektedir.
- Kullanılmayan kimyasal enerjiden dolayı minimum oksidasyon kayıpları. Bu nedenle indüksiyon ocağı, en yüksek metalik verime sahip eritme ünitesidir.
- Yalnızca elektrik enerjisinin kullanılması, bilgisayar desteği ve yüksek düzeyde proses ve optimum sıcaklık kontrollerine izin veren tam otomatik çalışmayı mümkün kılar.
- Banyodaki yoğun karıştırma nedeniyle homojen eriyik elde edilebilmektedir.
- Dökümhanenin neden olduğu daha düşük çevresel yük mevcuttur.
- Ark fırınlarına kıyasla çelikteki çözünmüş oksijen seviyesini düşüktür, böylece deoksidan tüketimi nispeten daha azdır.
- Ark fırınlarına göre toz toplama ve hurda yükleme sistemlerindeki farklılık nedeniyle daha az toz emisyonu vardır.

Dejavantaj ve dikkat edilmesi gereken hususlar olarak;

- Ağız açık, kapaksız fırınlara hurda yükleme kullanımından kaynaklanan kontrolsüz toz emisyonları ciddi bir sorundur ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç vardır.
- Su soğutmalı indüksiyon bobinindeki ısı kayıpları nedeniyle verimi düşüktür.

- Soğutma suyunun sirküle ettiği bakır bobin ile fırının tamamen çevrenmesi nedeniyle; refrakter levhadan geçebilecek herhangi bir çelik sızıntısı durumunda bakır bobine zarar verme ve çok şiddetli bir patlamaya yol açma olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle emniyet riski ark ocaklarına göre daha yüksektir (Avinal, 2016).
- Hurda yükleme, toz toplama, devirme ve cüruf giderme, yüksek hızlı eritme işlemi için darboğazlardır.
- Diğer çelik eritme fırınlarında kullanılan tuğla uygulamasına göre daha hassas refrakter uygulaması gerektirir.
- Bakım, ark ocaklarından daha sıktır. Nitelikli iş gücü, sık ve yoğun bakım periyotları gereklidir.

Şekil 3.17’ de hurda malzeme ile şarj edilmiş ve ergitme işlemi gerçekleştirilen indüksiyon ocağı görülmektedir.



Şekil 3.17. İndüksiyon ocağı örneği

Endüksiyon ocaklarında malzemenin eritme süreci, ergitme için seçilen hurdaların ki bu hurdaların arzu edilen kimyasal bileşime yakın bir bileşimde olması beklenilmektedir. Ocak içerisine doldurulan bu malzemeler ile süreç başlar ve

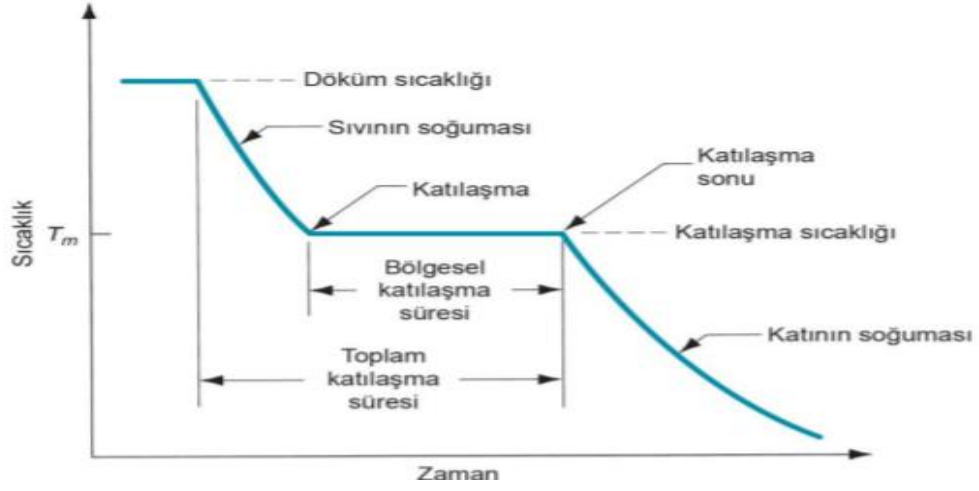
indüksiyon ocağında primerden geçen yüksek frekansa sahip olan akım sekonderde çok daha yüksek değere sahip bir endüksiyon akımına neden olur, şarj bu akıma karşı gösterdiği kendi direnciyle ısınır ve ergir. Metal (şarj) malzeme endüksiyon ocağı içerisinde tamamen eriyince ocak içerisinde oluşan curufun temizlenmesi gerekmektedir. Curuf temizliği döküm öncesinde homojen ve temiz döküm için gereklidir. Metal döküm sıcaklığına çıktıktan sonra akım kesilerek ocak kaldırılır ve sıvı metal potaya alınır. Ocak içinde sıvı metal hareketinden dolayı, gayet homojen bir alaşım yapılabilir (Megep, 2006).

İndüksiyon ocaklarında ocak metal malzeme ile şarj edilirken, ocağın tam olarak doldurulmaması gerekmektedir bunun en önemli nedeni malzeme analizleri yapılırken ara analiz sonuçları alınması gerekip analiz sonuçlarına bakılarak ilave edilebilecek element gereksinimi oluşabilmesidir. Ocakta eritme işlemi yapıldığında ocak içerisinde yer alan malzeme ve şarj elementleri tamamen eriyik hale gelip istenen sıcaklık değerlerine eriştikten sonra istenilen bileşim değerlerine ulaşılabilmesi için analiz yapmak amacı ile numune alınması işlemi gerçekleştirilir ve alınan numunenin içerisinde yer alan kimyasal değerlerin tespit edilebilmesi için spektrometre aracılığıyla kimyasal analiz işlemi yapılır. Yapılan analiz işlemi sonrasında değerler istenilen element oranlarına uygun değerler ise ocak ilk şarj edilen alaşım miktarlarına uygun miktarlarda ya da taleo edilen bileşimine sahip yolluk ve besleyici döngüleri ile şarj edilerek doldurulur (Çolak, 2011).

3.6. Katılaşma

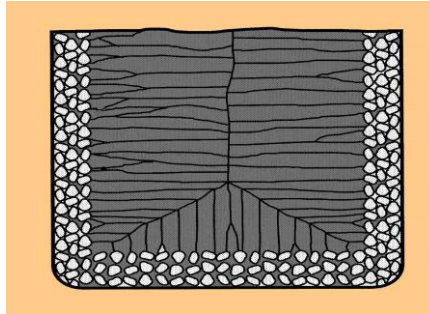
Katılaşma, metallerin ve alaşımların eriyiğinin dendrit oluşumunu, bileşimde değişiklik içeren ayrışmayı, dökümün son yapısında bölge oluşumunu ve büzülme sırasında mikro gözenek oluşumunu içeren katı bir parçaya dönüştürülmesi için kapsamlı bir işlemdir. Katılaşma belirli bir zaman içerisinde gerçekleşir. Döküm sürecinde, sıvı eriyik malzemenin katılaşma işleminin gerçekleştiği süreye bölgesel katılaşma süresi adı verilir. Bu süreçte metalin erime gizli ısı dökümü saran kalıba malzemesine aktarılmaktadır. Toplam katılaşma zamanı eriyik sıvı metal malzemenin kalıba aktarılmasından döküm parçasının komple katılaşmasına kadar

geçen tüm zamanı ifade eder. Dökülen malzeme tamamen katılaştıktan sonra, soğuma eğrisinin eğimi ile belirtilen bir hızda soğuma işlemi sürer (Şenel, 2021).



3.6.1. Saf Metallerin Katılması

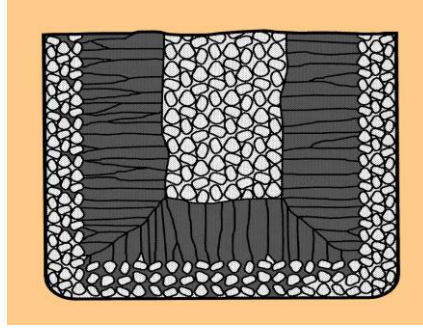
Kalıp duvarının soğutma etkisinden dolayı, dökmeden hemen sonra arayüzde ince bir katı metal kabuğu oluşmaktadır. Katılma ilerledikçe erimiş metalin etrafında bir kabuk oluşturmak için dış yüzeyde kabuk kalınlığı artmaktadır. Donma hızı, metalin termal özelliklerine bağlı olduğu kadar kalıbın sahip olduğu ısı transfer özelliğine de bağlıdır. Şekil 3.19’da Saf bir metalin dökümünde, kalıp duvarının yakınında rastgele yönlendirilmiş küçük boyutlu taneler ve dökümün merkezine doğru yönlendirilmiş büyük sütunlu taneler gösteren karakteristik tane yapısı görülmektedir.



Şekil 3.19. Saf bir metalin dökümünde karakteristik tane yapısı (Gülmez, 2011)

Alaşımli dökümlerde tek bir sıcaklıktan ziyade bir sıcaklık aralığında donmaktadır, bu nedenle döküm sonrası katılmanın sıcaklık aralığında olmasından, mikro ve makro

segregasyon yapısının oluşması, dendritik tane yapısı, çekme boşluğu oluşumu ve mikro gözeneklilik yapısı gerçekleşebilmektedir. Bu olumsuz özellikler ergime sıcaklıkları farklı olan ve katılma aralığı daha büyük ve hızlı soğuyan alaşımlarda daha net olarak gözlemlenmektedir (Gülmez, 2011). Şekil 3.20’ de bir alaşım dökümünde, döküm merkezinde alaşım bileşenlerinin ayrılmasını gösteren karakteristik tane yapısı görülmektedir.



Şekil 3.20. Alaşım dökümde döküm merkezinde segregasyonunu gösteren, bir karakteristik tane yapısı (Gülmez, 2011).

3.6.2. Katılma Süresi

Kalıbın sıvı eriyik malzeme ile dolmasından sonra gerçekleşen katılma işlemi bir süre almaktadır. Bu süre, Toplam katılma süresi TST (Total solidification time) = dökümden sonra dökümün katılması için gereken süre olarak ifade edilir. TST, Chvorinov Kuralı olarak bilinen ilişkiye göre dökümün boyutuna ve şekline bağlıdır. (Gülmez, 2011).

$$T_{ST} = C_m + \left(\frac{V}{A}\right)^n \quad (3.11)$$

Formülde ;

- T_{st} = eriyik katılma süresi;
- V = döküm malzemenin hacmini;
- A = dökümün yüzey alanı;
- n = üstel sayı (tipik değeri = 2)
- C_m = kalıp sabiti.

BÖLÜM 4

HADDELEME

Mekanik işleme tabi tutulacak olan parçayı, kendi eksenleri etrafında dönen silindirlerin (merdaneler) arasından ilerlemesi ve bu ilerleme esnasında uygulanan basma kuvvetleri neticesinde plastik şekil değiştiren malzemeye yapılan işleme haddeleme denir. Başka bir deyişle şekil verilecek olan parçanın, imalat yapılmış olan malzemenin, hadde olarak isimlendirilen ve birbirlerine ters ekseninde dönme işlemi gerçekleştiren iki veya daha çok silindirlerin arasından ilerleyerek boyutlandırılması olayına haddeleme işlemi denir (Aydoğan, 2007).

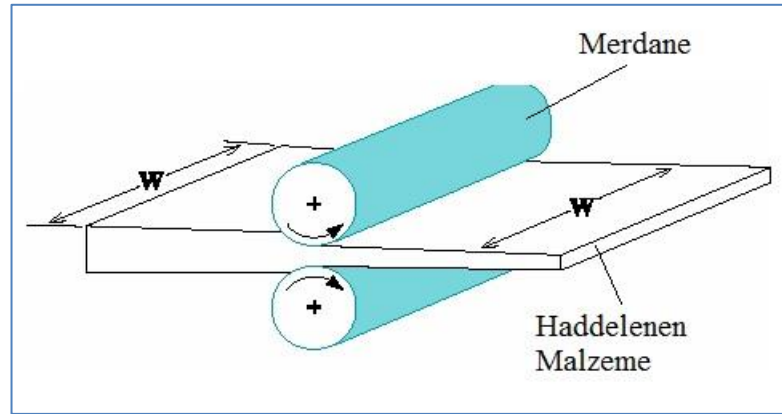
Haddeleme, metali farklı yönlerde (saat yönünde ve saat yönünün tersine) dönen iki silindirin boşluğundan geçirerek ince uzun bir tabaka halinde şekillendirmek için kullanılan bir işlemdir. İki silindir arasındaki boşluk, oluşturulacak iş parçasının kalınlığından daha küçük olmalıdır. Metal parça silindirler arasına konulduğunda, ince ve uzamış veya orijinal uzunluğundan daha uzun olması için sıkıştıran silindirlerden bir sürtünme ve sıkıştırma kuvvetine maruz kalır. Parça, merdaneler arasındaki boşluktan geçtiğinde, artan uzunluk ve genişlik ile orijinalinden daha az kalınlığa sahip olmalıdır. Kalınlıktaki bu azalma çekme olarak adlandırılır ve uzunluk ve genişlikteki artış sırasıyla mutlak uzama ve yayılma olarak adlandırılır (Ikumapayi, 2020). Haddeleme prosesi Şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1. Haddeme prosesi görünümü

Haddeme prosesi, iş parçalarının yüzey kısımlarının talaş kaldırılmadan baskı kuvveti ile birlikte malzemenin ezilmesi vasıtasıyla işlenmesi işlemi tanımlar. Haddeme işlemi elde edilen yüzeyin kalitesini (yüzey pürüzlülüğü iyileşmesi) arttırmakta ve haddelenen malzemeye ait mekanik özelliklerin de (sertleşme, aşınma direnci, yorulma direnci) iyileşmesini sağlamaktadır (Başak, 2009, Gusel, 2009, Karpe, 2011, Vukelic, 2013).

Malzeme imalat tekniğinde geçmişten günümüze kadar kullanılmakta olan haddeme yöntemi ile haddeme sonrası elde edilen yüzeyin sahip olduğu kalite, haddelenen malzemeye ait mekanik değerlerin iyileşmesi (yüzeyin sertleşmesi) ve seri üretimde verimliliğinin yüksek olması sebebiyle taşlama işlemine göre üstünlük sağlamaktadır (Başak, 2009, Gusel, 2009, Karpe, 2011, Vukelic, 2013). Şekil 4.2’ de haddeme işlemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.2. Hadeleme işlemi şematik gösterim (Askeland, 1992).

Haddeleme işlemi, büyük hacimli malzemeleri daha ayrıntılı parçalara ve aynı zamanda büyük boy kesitli malzemelere şekillendirmek için özel bir metal şekillendirme şeklidir. Artan operasyonel performans ve üretim akışına yol açan farklı haddeleme süreci türleri, farklı tekniklere dayalı olarak tartışılmaktadır. Malzemenin homojenliğini ve deformasyon süreci nedeniyle özellikteki değişikliği sağlamak için haddeleme işlemi, haddelenen iş bileşeni geometrisine uygun olmalıdır.

Çelik malzemelerin şekillendirilmesi için kullanılan başlıca şekillendirme plastik şekillendirme yöntemidir. Plastik şekillendirme prosesi işlemin sıcaklığa bağlı olarak sınıflandırılacak olursa sıcak ve soğuk şekillendirme diye ikiye ayırmak mümkündür. Çeliklere uygulanan soğuk deformasyon ile çok iyi tolerans değerleri ve daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmeye çalışılmaktadır. Soğuk deformasyonu sağladığı bu faydaların yanında dislokasyon yoğunluğu artması, sünekliği azalması gibi istenmeyen durumlara da yol açmaktadır.

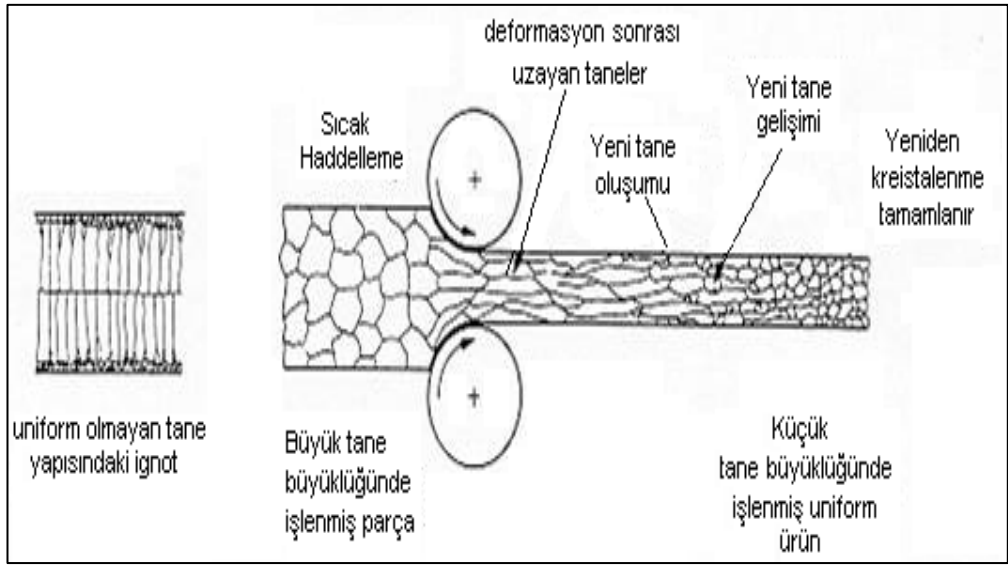
Sıcak deformasyonda ise sıcaklığın sağladığı katkı ile soğuk deformasyona göre sıcaklık etkisi ile genişleme sağlanabilmektedir. Sıcak deformasyonla plastik deformasyon işlemlerinde atomlar tırmanma mekanizması ile hareket edip dislokasyon yığılmalarının önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

4.1. SICAK HADDELEME

Sıcak haddeleme, metal parçalar yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde ısıtıldığında meydana gelen metal işleme sürecini içerir. Bu, malzeme tane deformasyonunun metalin sertleşmesini önleyen eş eksenli bir mikro yapıyı koruduğu ve tüm metal işlemleri içerisinde en fazla tonaja sahip olduğu kabul edilir (Ikumapayi, 2020).

Yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yapılan şekil değiştirmelerine sıcak şekil verme, hadde için olanlarına da sıcak haddeleme denilir. Yeniden kristalleştirme malzemeye ergime sıcaklığının % 40'ı kadar ki bir sıcaklıkta uygulanan bir ısıtım işlemidir. Esasen malzemeye, şekil değiştirmeden önceki özellikleri, kazandırmak için kullanılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı bu olayın bir saat içinde

tamamlandığı sıcaklık olarak tanımlanır (Aydoğan, 2007). Ne olursa olsun haddeleme öncesi ısıtma işlemi kalınlık yönünde çekme özelliklerinin bozulmasına neden olabilir. Ayrıca, düzensiz soğutmanın neden olduğu artık gerilmelerin eğilimi, metalik malzemenin mikroyapısal ve mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Sıcak haddelenmiş malzemeler, otomotiv jantları, tekerlekleri ve debriyajları, tarım ve gıda işleme endüstrilerinde ve sokaklar ve otoyollar için koruma demiryollarında uygulama bulur (Ikumapayi, 2020). Şekil 4.3’ de sıcak haddeleme sonrası malzemede meydana gelen tane dizilim şekli görülmektedir.

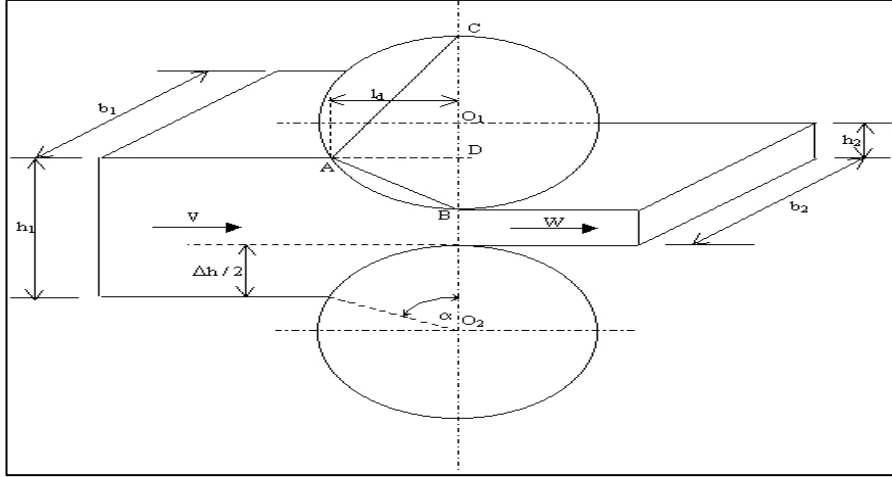


Şekil 4.3. Sıcak haddeleme işleminde tane dizilimi (Aydoğan, 2007).

4.2. HADDE KUVVETLERİ

Haddeleme sürecinin başlayabilmesi için haddelenecek malzeme ile hadde merdaneleri arasında oluşan sürtünme kuvvetinin malzemeyi ilerletebilecek büyüklükte olması gerekmektedir (Aydoğan, 2007).

Merdaneler ile malzeme arasında meydana gelen sürtünme kuvveti aradaki temas yüzeyinin büyüklük değeri ile orantılıdır aşağıdaki şekilde temas yüzeyi Şekil 4.4’ de AB yayı ile gösterilmiştir



Şekil 4.4. Hadde kuvvetleri (Aydoğan, 2007)

ABC üçgeni çapı gören çevre açılı üçgen olduğundan A açısı diktir. Dik üçgen bağıntılarından:

$$AD^2 = BD \times CD \quad (4.1)$$

yazılabilir.

$$AD = l_d \text{ (} l_d \text{: temas kiriş boyu olarak isimlendirilir.)}$$

$$h_1 - h_2 = \Delta h \text{ (Ezme olarak isimlendirilir.)} \quad (4.2)$$

$$AB = 2 \pi R \alpha / 360 \approx 0,01745 R \alpha \text{ (} \alpha \text{ derece cinsinden)} \quad (4.3)$$

α : kapma açısı

R: merdane yarıçapı (paso dibinde)

Hesaplamalarda AB yayı yerine genellikle “ l_d ” kiriş boyu kullanılır. Sonuç olarak temas yüzey alanı (Aydoğan, 2007):

$$F = AB \cdot b_{or} = 0,01745 R \alpha [(b_1 + 2b_2) / 3] \approx (R \Delta h)^{1/2} * [(b_1 + 2b_2) / 3] \quad (4.4)$$

(b_{or}) ortalama genişlik olarak [($b_1 + 2b_2$) / 3] değeri, $\frac{1}{2} (b_1 + b_2)$ değerinin yerine kullanılmıştır. Bu şekilde kullanılmasının nedeni genel deneyimler sonucunda oluşmasıdır. Haddelendirme işlemlerinde, malzemenin haddelenmesi sürecinde malzemede hacim kaybı meydana gelmez prensibinden hareket ederek sabit debi hipotezi uygulanır. Aslında malzemenin haddelenmesi sürecinde bir miktar tufal oluşumu, biraz da çapak ve az miktarda da ezilme nedeniyle hacim azalması meydana

gelmektedir. Yapılacak olan hesaplama işlemi için bu kayıplar göz ardı edilebilir (Aydoğan, 2007).

Yapılan hesaplamada;

F: haddelenen malzeme kesit alanı

L: toplam haddelenen malzemenin boyu

$$\text{Haddeye giren malzeme hacmi } V_1 = F_1 L_1 \quad (4.5)$$

$$\text{Haddeden çıkan malzeme hacmi } V_2 = F_2 L_2 \text{ olsun} \quad (4.6)$$

sürekli bir haddeleme için:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \text{ buradan}$$

$$F_1 L_1 = F_2 L_2 = F_3 L_3 = \dots = F_n L_n \text{ yazılır.} \quad (4.7)$$

Kesitler

$$F_1 = b_1 h_1; F_2 = b_2 h_2; F_3 = b_3 h_3 \dots F_n = b_n h_n \quad (4.8)$$

Hacimler

$$V_1 = b_1 h_1 L_1; V_2 = b_2 h_2 L_2; V_3 = b_3 h_3 L_3 \dots V_n = b_n h_n L_n \quad (4.9)$$

Hacimlerin eşitliğinden:

$$b_1 h_1 L_1 = b_2 h_2 L_2 = b_3 h_3 L_3 \dots = b_n h_n L_n \quad (4.10)$$

Her hangi bir tezgâh için bu eşitlikten birisini alalım:

$$b_1 h_1 L_1 = b_2 h_2 L_2 \rightarrow (b_2 h_2 L_2) / (b_1 h_1 L_1) = 1 \text{ bulunur.} \quad (4.11)$$

$$h_2 / h_1 : \gamma, \text{ Ezme katsayısı} \quad (4.12)$$

$$b_2 / b_1 : \beta, \text{ Yayılma katsayısı} \quad (4.13)$$

$$L_2 / L_1 : \lambda_q, \text{ Uzama katsayısı} \quad (4.14)$$

$$\alpha \beta \gamma = 1 \text{ eşitliği elde edilir.} \quad (4.15)$$

Aynı zamanda $F_1L_1 = F_2L_2$ eşitliğinden: (4.16)

$F_1 / F_2 = L_2 / L_1 = \lambda$ yazılabilir. (4.17)

BÖLÜM 5

AŞINMA

Birbiriyle ile temas eden malzeme yüzeyleri, oksit filmleri veya yağlayıcı türleri ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki malzeme yüzeyinin birbirine doğrudan temasına neden olabilir. Bu temas, malzemenin çalışma koşulları altındaki ömrünü ve malzemenin performansını sınırlayan aşınmalara neden olabilmektedir. Aşınma, bir malzeme yüzeyinden diğer malzeme yüzeyine malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu sonucunda ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 50320'ye göre aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik nedenlerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır. Başlıca dört aşınma mekanizması bulunmaktadır: Adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, oyuklanma veya yenme, kimyasal veya korozyon etkisi. Pratikte birden fazla aşınma mekanizması aynı anda tesireder ve kombine aşınma olarak etki göstermekte; fakat, genel olarak bir mekanizma diğerlerinden daha baskındır (Bodur, 2006).

Aşınma olayında önemli bazı parametreler mevcuttur. Bunlar: ana malzeme (aşınan), aşındırıcı, ara malzeme, hareket ve yüküdür. Ayrıca sıcaklıkta bu parametrelere edilebiliriz.

Makinalarda meydana gelen arızaların ve konstrüksiyon elemanlarının kullanım dışı kalmalarının en büyük nedeninden birini aşınma teşkil etmektedir. Sürtünme mekanizması nasıl bir enerji kaybı nedeni ise, aşınma da tekrar geriye kazanılamayan bir madde kaybı nedenidir. Bu, dolaylı olarak yeni malzemenin temini için gerekli olan ek bir enerji gereksinimini de beraberinde getirir. Sürtünme ve aşınma arasında doğrudan bir ilişki kurmak da mümkün değildir. Farklı malzeme türleri arasında sürtünme direnci aynı olabilir, ancak bunlar arasındaki aşınma miktarı farklılığı 100 veya daha fazla kata çıkabilir. Genel olarak aşınma problemi, sürtünme problemine

nazaran daha karmaşık bir yapıda olmaktadır. Birlikte çalışan fonksiyon yüzeyleri arasında çok farklı türde aşınma şekillerine rastlanır ve çok kez de aynı bir koşulda bu değişik şekillerin bir kaçı aynı zamanda kendini gösterir. Bu nedenlerle bütün aşınma hallerini veya bir kısmını kapsayan ve genel geçerliliği olan bir aşınma kanununu tanımlamak mümkün olamamıştır.

5.1. AŞINMA TÜRLERİ

Bu konuda yapılan sınıflandırma işlemi ile ilgili literatüre bağlı olarak bazı farklılıklar olabilmektedir. Fakat, makina elemanları açısından değerlendirme yapıldığında aşağıdaki sınıflandırma uygun görünmektedir (Temiz, 2021):

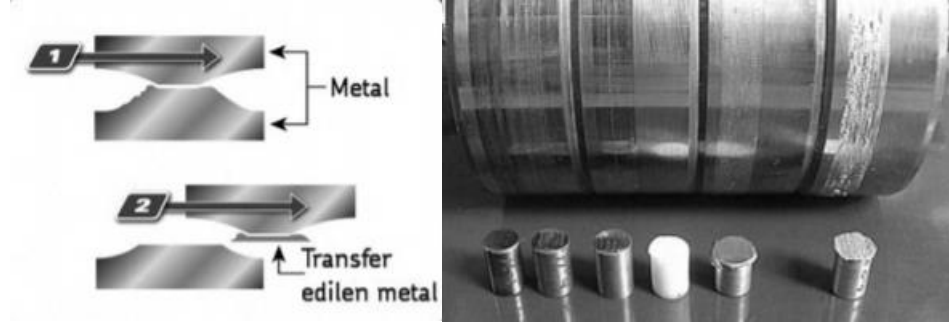
- Adeziv aşınma (sürekli sınırlı aşınma, yenme vb)
- Abraziv aşınma
- Sürtünme oksidasyonu (mekanik korozyon)
- Yorulma aşınması (pitting vb.)
- Eroziv aşınma

5.1.1. Adeziv aşınma

Mühendislik yüzeyi tamamen pürüzsüz bir yapıya sahip değildir. En yüksek düzeyde parlatılmış mühendislik bileşeninin yüzeyi düzensizlikler veya pürüzler göstermektedir. Bu tür iki yüzey temas ettirildiğinde, gerçek temas aslında sadece küçük bir kısım olan bazı yüksek pürüzlerde meydana gelir, örn. Görünen temas alanının 1/100'ü. Sonuç olarak, temas eden pürüzler arasında soğuk kaynak bağlantıları oluşturan plastik deformasyon ve metaller arası yapışma meydana gelir. Bağlantının gücü, yüzey yapısı ve iki temas metalinin karşılıklı çözünürlüğü ile belirlenir. Yapışma eğilimi, neredeyse sıfır karşılıklı çözünürlüğe sahip bir çift metal için en düşüktür, ancak bu çok az metalle sınırlıdır. Çoğu metalik malzeme kayda değer bir yapışma eğilimi gösterir (Li, 2017).

Adeziv aşınma mekanizması malzeme üzerindeki pürüz tepelerindeki bölgesel kaynak bağları neticesinde başlar. Bir birine göre izafi hareket yapan malzemelerin türleri, bu

kaynak bağlantılarının mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Malzemelerdeki tabakalar arasındaki hata enerjisi, kristal yapı, doğal oksit filmi oluşumu gibi tüm parametreler adeziv aşınmayı etkiler (Temiz, 2021). Şekil 5.1’ de Adeziv aşınma mekanizması görsel olarak gösterilmektedir.

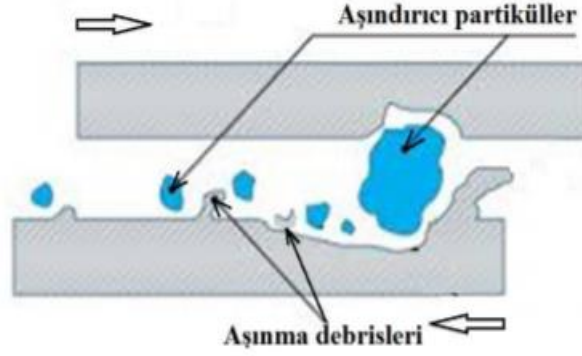


Şekil 5.1 Adeziv aşınma görüntüsü (Temiz, 2021)

5.1.2. Abrasif aşınma

Sert, keskin bir parçanın daha yumuşak bir parçadan talaş kaldırmasına abrasif aşınma denir. Abrasif Aşınma, yırtılma veya çizilme aşınması olarak adlandırılır. Sert partikül veya sert yüzey kabarıklarının katı malzeme yüzeylerinde hareket etmesi ile oluşur. Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da adlandırılmakta olan abrasive aşınma, sistemde yada mekanizmada hızlı ve önemli bir hasarlara sebep olabilen oldukça önemli bir aşınma çeşitidir. Abrasif aşınma; sistem içerisinde bir tanesi diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal malzemelerin yüzeylerinin birbirleri ile temas halindeyken kayma işlemi gerçekleşmesi sırasında meydana gelmektedir (Kurgan, 2020). Sert olan parçacıkların yumuşak olan metal yüzeylere batması sonucunda abrasif aşınma işlemine neden olabilmektedir. Bu tarz abrasive aşınma mekanizmasına örnek olarak, dışarıdan sisteme girebilen toz parçacıklarının veya bir motorda meydana gelen yanma işlemi neticesinde oluşan yanma sonrası ürünlerinin sebep olduğu aşınma türü verilebilir. Malzemelerde meydana gelen abrasif aşınmanın hızı, malzeme yüzeyine etki etmekte olan yük miktarı azaltılarak düşürülebilmektedir. Bu şekilde malzeme üzerindeki parçacıkların yüzeye daha az baskı uygulayarak batması ve çapak kaldırma işlemi sırasında daha az hasar vererek daha az iz bırakması sağlanabilmektedir. Abrasif aşınma endüstriyel cihazlarda ve mekanizmalarda

malzeme kayıplarının başlıca sebeplerinden biridir (Kurgan, 2020). Şekil 5.2’ de Abrasif aşınma şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Abrasif aşınmanın şekilsel gösterimi (Varol, 2016)

5.1.3. Oyuklanma (Pitting) ve Yenme (Spalling)

Aşınma mekanizması açısından oyuklanma, malzeme yüzeyinde metalinin yorulma hasarına uğraması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Malzeme üzerindeki düşük gerilmelerin tekrarlı bir şekilde uygulanması sonucunda metal malzeme yüzeyinde meydana gelen oyuklar genellikle üçgeer şekle benzer bir yapıya sahip olup, yüzeydeki dönme yönüne doğru yönlendirilmektedir (Temiz, 2021).

Yenme işlemi, çoğunlukla malzeme yüzeyindeki bir çatlağın içeri yönde ilerleme yapacağına, kısa mesafede malzeme yüzeyine paralel olarak ilerlediğinde yada birkaç adet oyuğun bir arada birleşmesi sonucunda oluşmakta olan özel bir oyuklanma türüdür. Bu nedenle yenme hataları daha büyük olmaktadır (Temiz, 2021).

5.2. AŞINMADA SONLU ELEMANLAR ANALIZI

Aşınma, mekanik bileşenlerin yüzeyleri birbiriyle temas ettiğinde meydana gelir. Pratikte önemi büyük olan soru, verilen işlem süresi boyunca malzemenin ne kadarının kaybedileceğidir. Yüzey şekilleri, işlevlerine, malzeme içeriğine üretim toleranslarına, vb. Bağlı olarak değişir ve aşınma ve plastik deformasyon sonucu değişecektir. Basınç dağılımı daha sonra bu olaylara büyük ölçüde bağlıdır. Sonlu elemanlar yöntemi

(FEM), cisimlerin geometrisinden bağımsız olarak gerilme ve gerinim problemlerini çözmek için çok yönlü bir araçtır (Podra, 1999).

Aşınma hesaplamalarında sonlu elemanlar yönteminin (FEM) ana görevi, temas gerilmelerinin alanlarını hesaplamaktır. Analiz edilecek yapı, düğüm noktalarında bir araya getirilmiş bir dizi eleman ile ayrıklaştırılır. FEM' de söz konusu fonksiyon (yer değiştirme, sıcaklık, vb.) Her eleman üzerindeki polinomlar aracılığıyla parça parça yaklaşık olarak tahmin edilir ve düğüm değerleri cinsinden ifade edilir. Karmaşık yüklere ve sınır koşullarına sahip farklı tip ve şekildeki elemanlar aynı anda kullanılabilir. Yapısal analizde, serbestlik dereceleri düğüm yer değiştirmeleri olarak tanımlanmaktadır (Cook, 1981).

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. MODELİN ANALİZİ

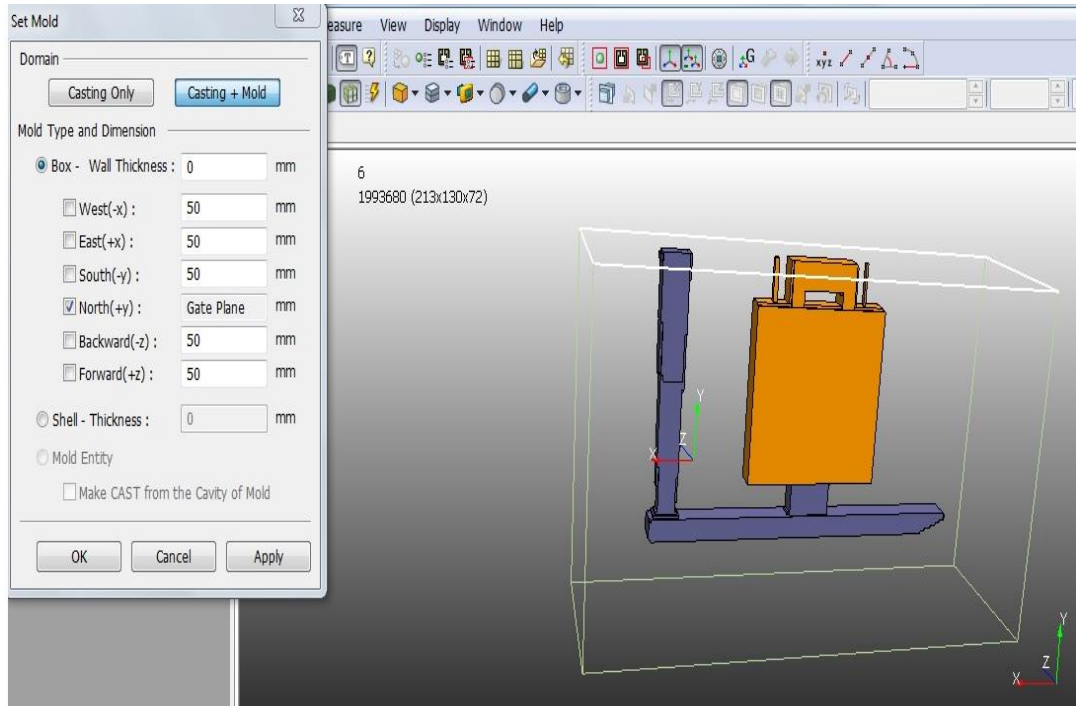
Modelin analizi için Anycasting döküm analiz programından faydalanılmıştır. Anycasting analiz programında anyPRE modülü ile, ağ oluşturma ve simülasyon koşulu ayarı gereklidir. Her sayısal analiz programı, ağ oluşturma ve simülasyon koşulunu ayarlamak için ön işlemci adı verilen bir program içerir. İdeal bir ön işlemci, yüksek tanımlı grafiklerde giriş geometrisini kontrol edebilmeli ve ayrıca yüksek tanımlı ağ oluşturma ve simülasyon koşulunu uygun ve hızlı bir şekilde ayarlayabilmelidir. anyPRE, CAD dosyasından analiz edilen şekle dayalı olarak sonlu farklar yöntemi (FDM) ağı oluşturabilmektedir. AnyCasting'in ön işlemcisi olan anyPRE, CAD dosyasını analiz ederek FDM ağı oluşturma ve anySOLVER'ı başlatmak için simülasyon koşulunu ayarlama işlevi içerir. AnyPRE kullanarak kullanıcılar simülasyon döküm sürecinin iş akışını seçebilir, malzeme seçebilir, sınır koşulu ayarlayabilir, başlangıç koşulu ayarlayabilir (Anycasting, 2021).

Anycasting programına ilk önce modellendirilen kalıbın 3d çizimi Üç boyutlu çizim programından STL formatında kayıt edilerek anyPre modülüne yükleme yapılmıştır. STL tipi dosyalar, bu programlarda oluşturulan çeşitli şekillerin çıktısını almak için CAD programlarında yaygın olarak kullanılır ve anyPRE, bu geometri dosyalarını içe aktarırken/okurken ağ oluşturur. Anycasting programı ile ilk önce Anypre modülü ile döküm şekli, döküm türü, yolluk ve diğer kısımlar tanımlanmıştır.

Temel Simülasyon ayarı olarak ilk önce aşağıdaki şartlar sırasıyla tanımlanmıştır (Anycasting, 2021);

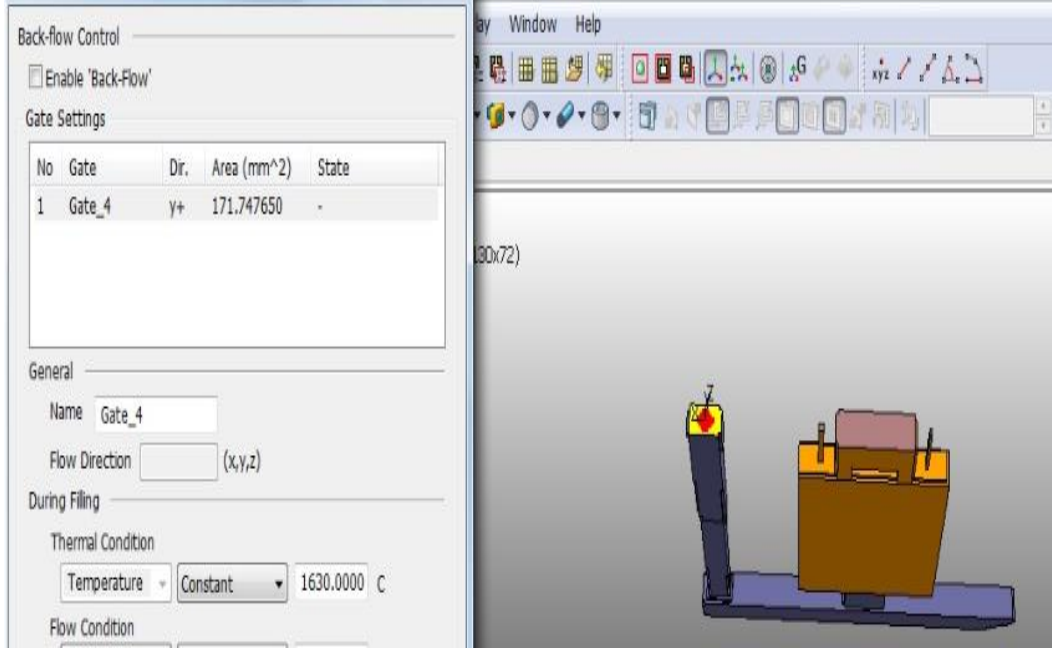
1. Simülasyonun sürecini ve kapsamını belirlenir,
2. Malzeme özelliklerini seçilir,
3. Başlangıç sıcaklık koşulunu ve duvar (etki alanı) sınır koşulunu ayarlanır,
4. Isı transfer koşulunu, ısı transfer katsayısını, kaplanmış malzemeyi vb. Ayarlanır,
5. Kapı koşullarını ayarlanır,
6. Yerçekimi yönünü ayarlanır.

Şekil 6.1’ de görüldüğü üzere döküm alanı ve yolluk eksenini seçilerek kalıp alanı oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. Anycasting kalıp alanı ve döküm eksenini (yönü) tanımlama

Kalıp alanı, malzeme türleri oluşturulan döküm üzerinde mesh işlemi uygulanır ve en küçük alan detaylandırılabilir şekilde mesh yoğunluğu miktarı artırılabilir. Sonrasında analiz öncesi hız ve sıcaklık değerleri Şekil 6.2’de görüldüğü gibi girilerek yolluk ağız alanı seçimi yapılır.



Şekil 6.2. Döküm sıcaklığı ve yolluk ağzı seçimi

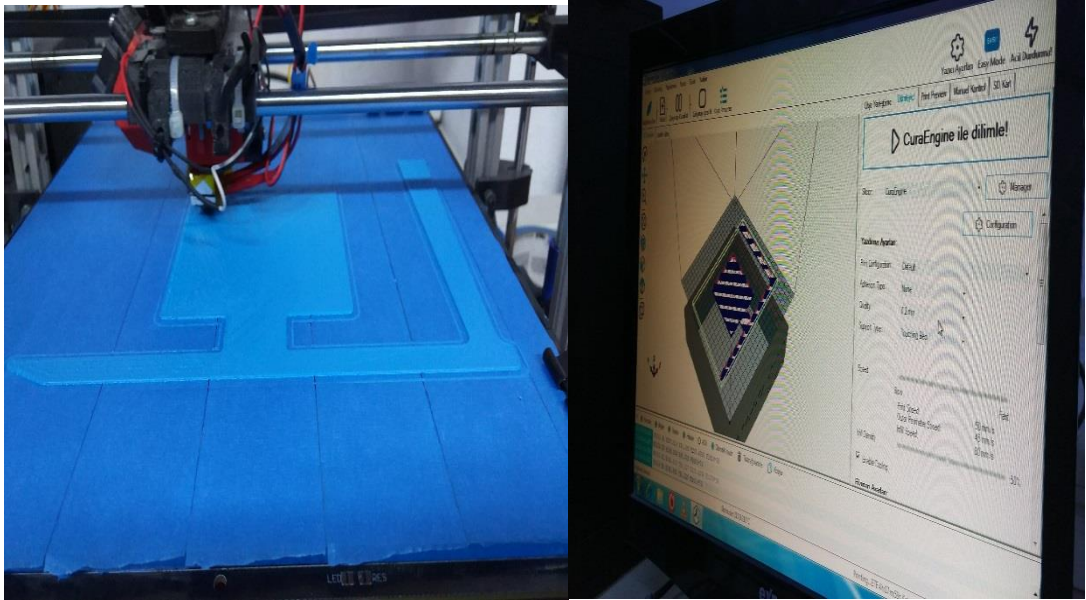
Analiz sonrasında özellikle önem arz eden döküm dolum süresi, katılaşma zamanı, çekme boşlukları gibi sonuçlar Şekil 6.3' deki gibi analiz edilerek özellikle döküm sonrası istenilen parça üzerinde çekme boşlukları oluşup oluşmadığı kontrol edilip, tersine mühendislik yapılarak döküm için düşey yolluk, yatay yolluk, meme, çıkıcı-besleyici tasarım ve hesaplamaları gözden geçirilir.



Şekil 6.3. Çekme hacmi görüntüsü

6.1.1. Kalıp Boşluğu için Modelin 3D Yazıcı Kullanılarak Oluşturulması (İnovatif yaklaşım)

Dökümde kalıp boşluğunun elde edilmesi için genellikle kum kalıba dökümde ahşap kalıp ve ahşap model kullanımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde 3D yazıcıların birçok alanda kullanımı mevcut olup, bu kullanımın yaygınlığının giderek artmakta olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Kalıp boşluğunun sağlanmasında genellikle sert ahşap, alçı, bal mumu kullanımı görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada eski yöntemler yerine günümüz teknolojisi kullanılarak Şekil 6.4’ de görüldüğü şekliyle 3D yazıcı yardımı ile model oluşturulmuştur.



Şekil 6.4 3D yazıcı kullanılarak model oluşturulması

6.2. DÖKÜM İŞLEMİ

Kalıp tasarım analiz ve üretimi sonrasında tasarılarak üretilen modellerden oluşturulan kalıplara tasarım doğruluğunun kontrolünü sağlamak amacıyla Karabükte bulunan Haddehanede deneme dökümleri yapılmış deneme dökümü sonrası kalıplar içerisinde, malzeme yüzeyinde ve malzeme kesilerek kesit alındığında döküm kalitesini etkileyecek herhangi bir olumsuz etmenin (döküm boşluğu v.b.) oluşmadığı görülmüştür (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Deneme üretimi ve üretim sonrası parça görünümü

6.2.1. Ocak Reçetesi Hesaplanması

İstenen değer aralığında çıkmayan elementin eksik miktarını tamamlamak için aşağıdaki eşitlikteki verilen formüle uygun olarak ilave yapılarak döküm alaşımının hazırlanması sağlanır. Şekil 6.6 'da Ekleme yapılan Ferro alyajların bir kısmı görülmektedir.



Şekil 6.6. İlave edilecek ferro alyajların görünümü

Ferro alyaj ilavesinde aşağıda yer alan hesaplama yöntemi kullanılmaktadır.

İlave Edilecek miktar = $[(\text{Hedef Değer} - \text{Mevcut değer}) / (\text{Tenör} - \text{Hedef Değer})] \times$

Ocak ağırlığı (Çolak, 2011)

- **İlave Edilecek miktarı:** Analiz sonucu eksik çıkan elementi telafi etmek için ocağa atılacak element miktarı.
- **Hedef Değer:** İlave yapıldıktan sonra elementin çıkması istenen değer.
- **Mevcut değer:** Ara analiz sonucu eksik çıkan elementin mevcut değeri.
- **Tenör:** İlave edilecek malzeme içerisinde eklenmesi istenen element yüzdesi.
- **Ocak ağırlığı:** Ocakta mevcut alaşım ağırlığı.

Alaşımlamada 7 adet ferro alyaj kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan ferro alyajların kimyasal analizleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ferro Alyaj Kimyasal Analizleri

Alyaj	Ferro Bor	Ferro Mn	Ferro Mo	Ferro Krom	Nikel	Aluminyum	Karbon
Element	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Fe		15,56		25,25		0,18	
Si	1	0,55	0,13	2,25		0,73	
Al	0,2	0	0,4	0,13		98,22	
P	0,03	0,02	0,0001	0,22		0,0004	
V				0,01		0,012	
Mn		76,6		0,47		0,086	
Cr		0,21		62,41		0,055	
Cu		0,01	0,5	0,01	0,02	0,084	
C	0,4	6,61	0,03	7,41			90,23
S	0,01	0,01		0,02			1,09
B	18,5					0,001	
Ni					99,8		
Mo			61,7				
Kül							5,22
Uçucu Madde							1,59
Nem							1,87

Ergitme işlemine başlamadan önce piyasadan temin edilen çelik malzeme pota içinde eritilmiş ve ergitilmiş olan malzeme kullanılmadan boşa atılarak indüksiyon ocağında daha önceki dökümlerden kalan malzeme ve ocak astarında önceki dökümlerden kalan kirlilikler temizlenmiştir. Yapılan döküm işleminde ergitilmesi yapılan hardoks kaliteli çelik üzerine artan miktarlarda mangan ilavesi ve diğer alaşımlardan olan Mo, Cr, Ni alaşımlarının ilaveleri yapılmıştır.

Ergitme işlemi tamamlanan eriyikten numune alımı öncesi sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Sıcaklığın 1600°C olduğu sıcaklık döküm yapılması açısından uygun olduğundan eritilmiş metalin bu sıcaklığa ulaşması beklenmiştir. Sıcaklık ölçümü sonrasında ilk olarak ergimiş metalden kimyasal analiz için numune alınmış ve laboratuvarında analiz yapılmıştır. Sonrasında ergimiş metal içinde gazın atılması için 100 gr deoksidan Al ve 25 gr C ilave edilmiştir. Her bir döküm aralığında üretilen numunelerden Şekil 6.7’ de görüldüğü gibi numune alınmış ve kimyasal ölçüm yapılarak ferro alyaj ilavesi yapılmıştır. Numuneler standart metalografik numune hazırlama yöntemlerine göre hazırlanmıştır. Döküm sonrası kimyasal analiz tespiti için hazırlanan numunelerden Karabük Üniversitesi D.Ç. Enstitüsünde 3’ er adet ölçüm alınarak kimyasal analiz değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 6.7. Döküm indüksiyon fırını numune alımı

Yapılan hesaplamalar sonrası ilave yapılan ferro alyajlarla birlikte istenilen oran elde edildikten sonra kalıplara eriyik döküm işlemi gerçekleştirilerek kalıp soğumaya bırakılır ve daha sonra parça kalıptan soğuması ve temizlik işlemleri için çıkarılır. Şekil 6.8’ de döküm sonrası kalıbın kalıp içerisinde soğumaya bırakılan kum kalıplar görünmektedir.



Şekil 6.8. Kum kalıpların döküm sonrası görüntüsü

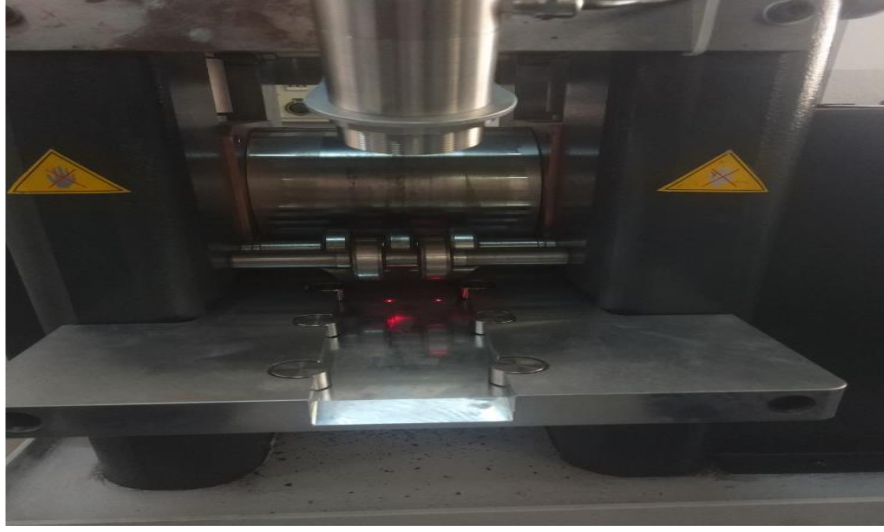
Soğumaya bırakılan kum kalıplar belirli bir süre sonra açılarak elde edilen kalıp içirisindeki metal görüntüsü Şekil 6.9’ da görülmektedir. Kalıptan çıkarılan parça temizlik işlemi yapılır ve esas kısım yolluk, meme ve çıkıcı kısımlarından ayrılır.



Şekil 6.9. Döküm sonrası kalıbın bozulması-temizlenmesi

6.3. LABARATUVAR ORTAMINDA YAPILAN HADDELEME İŞLEMİ

Haddeleme işlemi öncesinde dökümü yapılan numuneler Şekil 6.10’ da görülen labaratuvar tipi hadde tezgahının ölçülerine uygun olarak 100*30-35*15 mm ölçülerde hazırlandı.



Şekil 6.10. Haddeleme işleminin yapıldığı hadde tezgahı

Hazırlanan numuneler sıcak haddeleme işlemi için PID kontrollü dijital sıcaklık ve program göstergeli 1250 °C ye kadar ısıtma yapabilen Şekil 6.11’ de gösterilen Fırına atılarak 1200 °C ye kadar haddeleme öncesinde ısıtılmıştır.



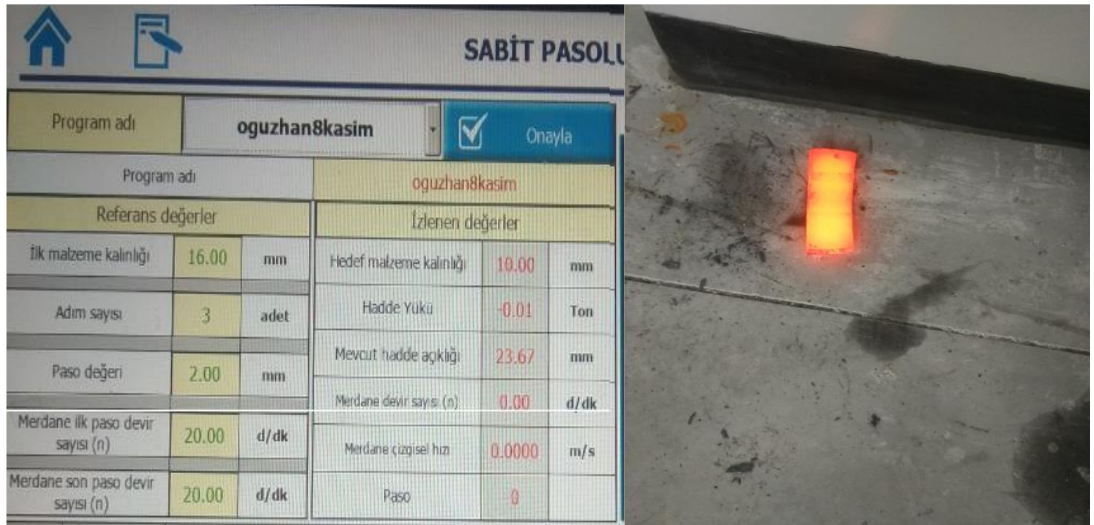
Şekil 6.11. Haddeleme işlemi için kullanılan fırın

Haddeleme işlemi için daha önce dökümünü yapmış olduğumuz döküm numuneleri 1200 ° C ye ulaştığında makinamız elle beslemeli olduğundan bir maşa yardımı ile fırından alınarak ezici yüzey genişliği 150 mm olan, silindir çalışan yüzey çapı 150 mm olan haddeleme tezgahında Şekil 6.12’ de görüldüğü gibi hadde işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.12. Labaratuvar ortamında yapılan haddeleme işlemi

Haddeleme işlemi öncesinde Şekil 6.13’ de görüldüğü gibi hadde otomatik kontrol ünitesi üzerinden öncelikle merdanelerin kalibre ayarları kontrol edilerek hadde işlemine başlanmıştır ve sabit pasolu çalışma seçimi yapılarak merdanelerin dönüş hızı, malzeme kalınlıkları ve istenilen paso değerleri girilmiştir. Haddeleme sonrası sıcak şekillendirilen metal görünümü Şekil 6.13’ de görülmektedir.



Şekil 6.13. Haddeleme işlemi kontrol panosu ve haddeleme sonrası görünüm

Kütük ölçüleri: 100mm x 30mm x 15mm

Makara çapı: 150mm

Makara genişliği: 150mm

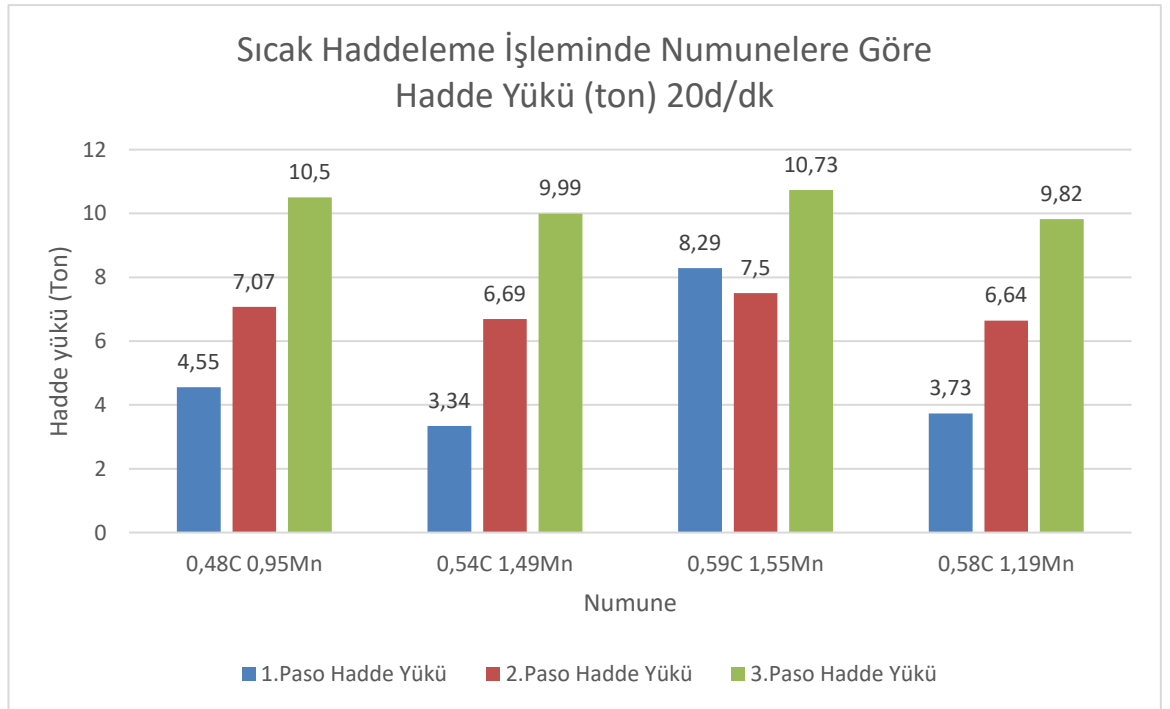
Makaralar arası mesafe: Maks 25 ±2mm

Makara dönüş hızı: 20 rpm

Kütük sıcaklığı: 1200°

6.3.1. Sıcak Haddeleme Hadde Yükleri

Haddeleme işlemi sırasında numunelere göre ve yapılan 3 pasolu üretimde meydana gelen değişken hadde yükleri aşağıda yer alan Şekil 6.14' de Genel olarak sıcak haddeleme işleminde numunelere göre hadde yükünün dağılımı grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 6.14. Haddeleme sırasında oluşan yüklerin numunelere ve pasolara göre değişimi

Çizelge 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5'de sıcak haddeleme işlemine tabi tutulan numuneler yapılan haddeleme paso serisi ve hadde yükleri görülmektedir.

Çizelge 6.2. 0,48C 0,95Mn merdane açıklığı ve hadde yükleri

0,48C 0,95Mn	Merdane Açıklığı (mm)	Hadde Yüğü (ton)
1. Paso	14	4,55
2. Paso	12	7,07
3. Paso	10	10,50

Çizelge 6.3. 0,54C 1,49Mn merdane açıklığı ve hadde yükleri

0,54C 1,49Mn	Merdane Açıklığı (mm)	Hadde Yüğü (ton)
1. Paso	14	3,34
2. Paso	12	6,69
3. Paso	10	9,99

Çizelge 6.4. 0,59C 1,55Mn merdane açıklığı ve hadde yükleri

0,59C 1,55Mn	Merdane Açıklığı (mm)	Hadde Yüğü (ton)
1. Paso	14	8,29
2. Paso	12	7,50
3. Paso	10	10,73

Çizelge 6.5. 0,58C 1,19Mn merdane açıklığı ve hadde yükleri

0,58C 1,19Mn	Merdane Açıklığı (mm)	Hadde Yüğü (ton)
1. Paso	14	3,73
2. Paso	12	6,64
3. Paso	10	9,82

Şekil 6.14 ve Çizelge 6.2, 6.3, 6.4, 6.5' de görülen sıcak haddeleme işleminde merdane açıklığı azaldığında buna bağlı olarakta malzeme kalınlığı azaldığında hadde yükünün artmış olduğu görülmektedir.

6.4. NUMUNE HAZIRLANMASI

Spektral analiz öncesi ve sertlik ölçümleri öncesinde döküm yapılan çelik malzemeden alınan numune örneklerinin yüzeyleri Şekil 6.15'de gösterilen FORCIPOL zımparalama ve parlatma makinesi ile işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 6.15. Zımparalama ve polisaj işleminde kullanılan cihaz

Zımparalama ve Parlatma işlemlerinde dikkat edilen hususlar;

Hazırlana numune parçalarının yüzeyi oldukça düzgün ve düz olarak hazırlanmasında dikkat edildi, Zımparalama ve parlatma işlemleri ile oluşabilecek kalıntıların önüne geçilmek amacıyla temizlik kontrolleri yapıldı, Numune yüzeyi hazırlanırken yapı değişimine izin verilmemesine özen gösterildi.

Genel olarak zımparalama işlemi kaba ve ince zımparalama olarak üzere iki şekilde ayrılabilir. Kaba zımparalama işleminin amacı, ince zımparalama işlemi ve parlatma kademelerinin işlemleri için ilk düzgün yüzeyi elde etmektir. Bu kaba zımparalama işlemi kademesinde 80 ve 120 nolu zımparalar kullanılmıştır. İkinci kademe olan ince zımparalama işlemlerinde ise ölçü olarak 320, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Bir zımparalama işleminden diğer zımparalama işlemine geçilirken el ve numune iyice yıkanarak işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yapılarak ilk daha önceki zımparalama işleminde kullanılan kaba zımpara tanelerinin bir üst kademeye geçmesi engellenmiş oldu. Zımparalama işlemi gerçekleştirilirken aşamalarda numune bir önceki zımparalama yönüne göre 90° çevrilerek, daha önceki kademedede oluşabilecek çiziklerin yok edilip edilmediği tespit edilerek gerekli görüldüğünde işlemler yenilenmiştir.

6.5. SPEKTRAL ANALİZ İŞLEMİ

Spektrometreler belirli bir referansa göre ölçüm işlemi gerçekleştiren cihazlardır. Analiz sırasında hazırlanmış olan örnek numune parçası yüzeyinden sadece birkaç miligram buharlaşmaoluşması ile materyallerin içerisinde yer alan demir, karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt ve malzeme içerisinde yer alan diğer katkı maddelerinin analizleri yapılabilmektedir. Spektral analiz yapan cihazlar oldukça kısa zamanda ve ilgili standartlar doğrultusunda yeterince hassas yapılan ölçümleri ekranda gösterir, ayrıca cihaz özellikleri neticesinde kısa zamanda yazıcıdan analiz raporu çıktısı elde edilebilmektedir.

Genel olarak spektrometrelerin çalışma prensipleri ele alınacak olursa spektrometrenin ark odasında oluşan elektrik arkı ile elementler atomlara ayrıştırılmaktadır. Bu sırada oda argon gazı ile doldurulmaktadır. Her element kendi özelliğine has olarak farklı şiddette ışın oluşturmaktadır. Optik sistemle oluşmakta olan ışınlar dalga boylarına ayrılır. Foto tüpler içerisinde oluşan sinyallerin şiddet değeri ölçülür. Ölçülen sinyallerin şiddeti numunenin içinde yer almakta olan elementlerin miktarını vermektedir. Yüzeyleri spectral analiz işlemi için temizlenerek hazırlanan çelik döküm numuneler ve piyasadan temin edilen aşınma plakalarına ait numuneler Şekil 6.16' de görülen Atlantis marka spektral analiz cihazı ile spektral analiz işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 6.16. Spektral analiz cihazı

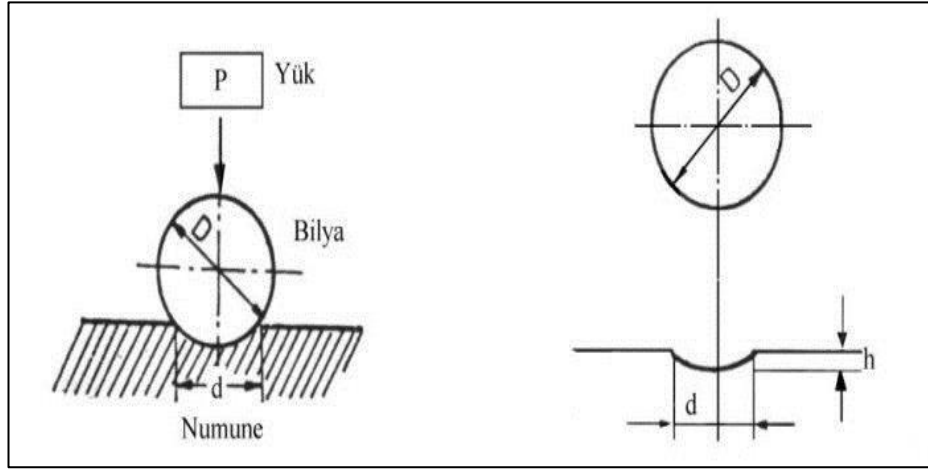
Çizelge 6.6' da spektral analiz sonrası numunelere ait ortalama kimyasal bileşim miktarları görülmektedir. Çizelgede ilk dört satırda alaşımlandırılarak dökümü gerçekleştirilen numunelerin son iki satırda ise piyasadan temin edilen aşınma plakalarının analiz değerleri yer almaktadır.

Çizelge 6.6. Spektral analiz sonuçları

Bileşen (%) /Numune	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
0,48C 0,95Mn	0,48	0,95	0,016	0,009	0,58	1,30	1,26	0,54	Kalan
0,54C 1,49Mn	0,54	1,49	0,020	0,011	0,70	1,26	1,245	0,62	Kalan
0,59C 1,55Mn	0,59	1,55	0,020	0,010	0,49	1,27	1,25	0,63	Kalan
0,58C 1,19Mn	0,58	1,19	0,019	0,010	0,60	1,24	1,24	0,61	Kalan
0,28C 1,03Mn	0,28	1,03	0,01	0,003	0,24	0,48	0,02	0,004	Kalan
0,33C 1,6Mn	0,33	1,6	0,025	0,010	0,70	1,40	1,50	0,60	Kalan

Çizelge 6.6' da spectral analiz sonrası malzemelerde yer alan değer incelendiğinde döküm sonrası elde edilen numunelerde Cr, Ni elementleri ile malzeme içerisinde mekanik özellikleri olumsuz etkileyen S ve P elementlerinin sabit tutularak malzemenin özellikle Mn ve C değerlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir.

6.6. BRİNELL SERTLİK DENEYLERİ



Şekil 6.17. Brinell test metodu genel prensibi

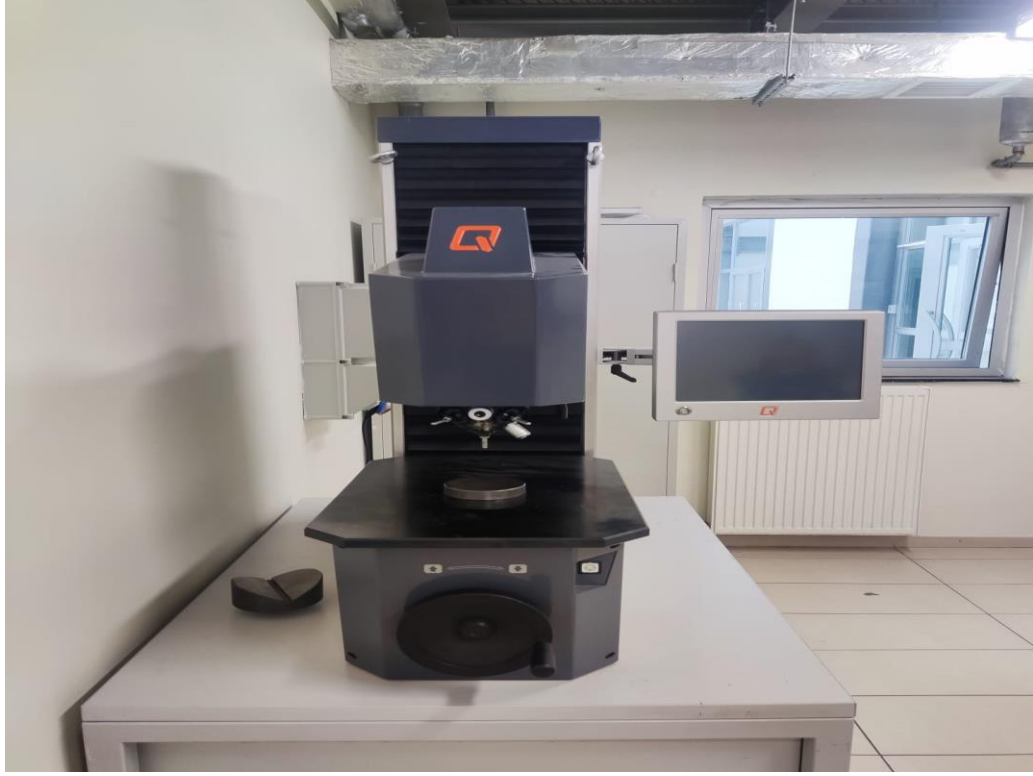
Brinell sertlik ölçüm deneyi Şekil 6.17 'de gösterildiği şekliyle ASTM E10 standardına göre yapılmaktadır. Malzemelerin sertlik değerlerini tespit etmek amacıyla yaygın olarak brinell sertlik deneyine başvurulmaktadır. Test, yüzeyi sertlik ölçmek amacı ile hazırlanmış metal bir numunenin yüzeyine tungsten karbür bilya ile ayarlanan yük miktarının 10 sn ile 30 sn arasında malzeme üzerine uygulanması neticesinde veriler elde edilmesi ile neticelenmektedir. (ASTM E10: Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials)

Yapılan sertlik ölçme işlem standardı: HBW 2,5/187,5

Aşağıda yer alan Çizelge 6.7' da sertlik ölçmek amacı ile hazırlanan metal numune üzerine EN ISO 6506 standartlarında Brinell sertlik ölçme testinin, D (bilya çapı), malzemelere göre değişiklik gösteren Brinell yük katsayısı ve F (yük) değerleri ile bağlantısı gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Brinell test metodu

Test Metodu	Bilya Çapı (mm)	Yük Katsayısı $0,102^* F/D^2$	Test Yüğü (N)
HBW (HBS) 2,5/187,5	2,5	10	1839,3



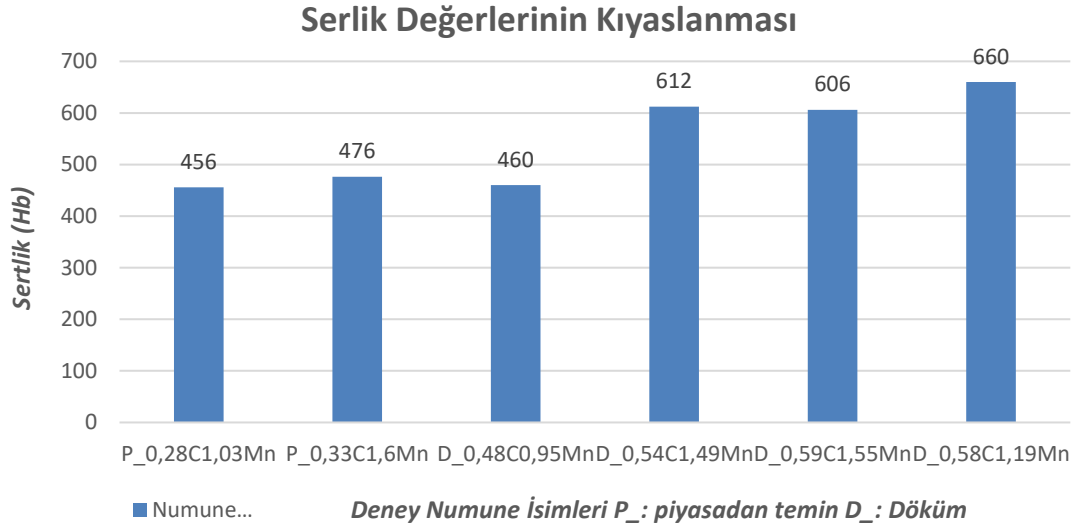
Şekil 6.18. Makro sertlik ölçme cihazı

Yapılan sertlik ölçümlerinde hazırlanan numuneler üzerinden oda sıcaklığında $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ de Şekil 6.18 de görünen cihazda Karabük üniversitesi demir çelik enstitüsünde ve Kardemir laboratuvarlarında minimum 3 adet ölçüm alınmış olup elde edilen ortalama değerler Çizelge 6.8' de görülmektedir.

Çizelge 6.8. Piyasa aşınma plakaları ve döküm numunelere ait ortalama sertlik verileri

Numune İsimleri	Sertlik(Hb)
P_0,28C1,03Mn	456
P_0,33C1,6Mn	476
D_0,48C0,95Mn	460
D_0,54C1,49Mn	612
D_0,59C1,55Mn	606
D_0,58C1,19Mn	660

Deney sonuçlarına göre elde edilen verilerden yola çıkarak numuların birbirleri ile kıyaslanabilmesi için Şekil 6.19’ de görülen grafik oluşturulmuştur.



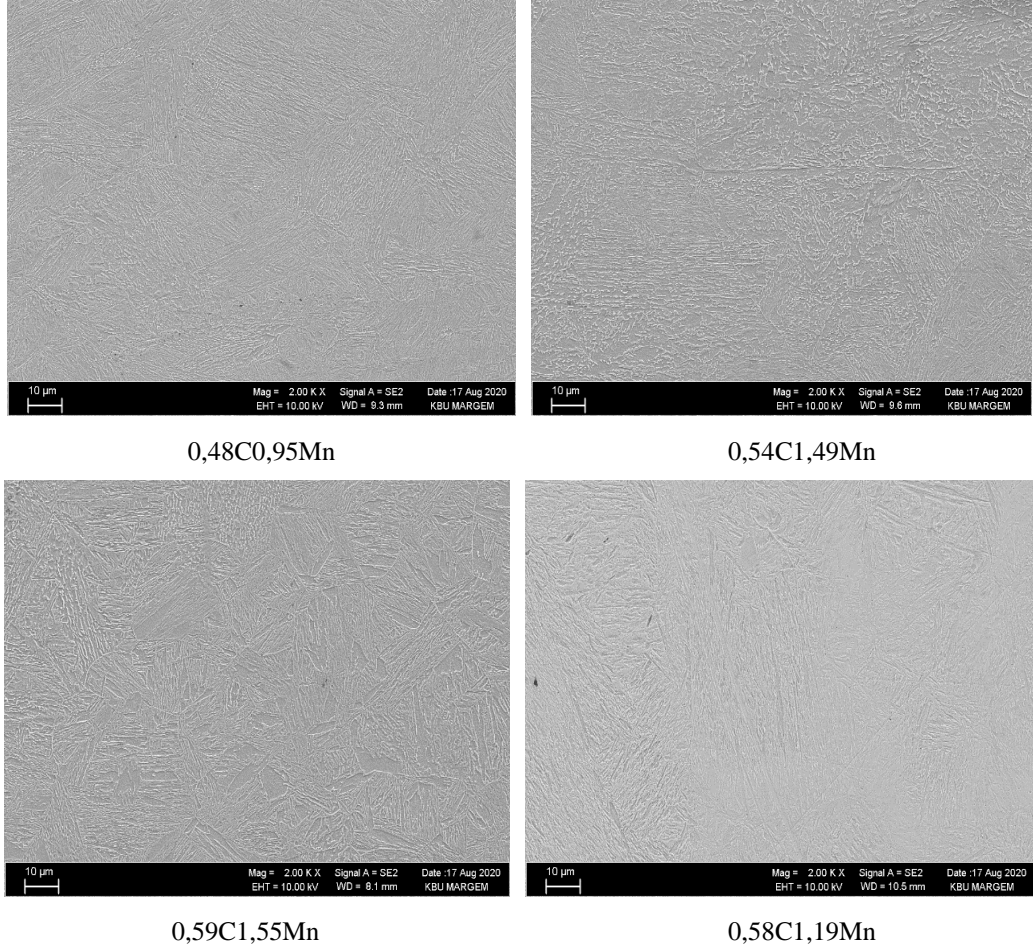
Şekil 6.19. Sertlik deneylerinin sonuç grafiği

Şekil 6.19’de Piyasada aşınma plakası olarak kullanılan numunelere ve dökümünü işlemi yapılarak hazırlanmış olduğumuz numunelere ait Brinell sertlik değerleri görülmektedir. Yapılan testlerde minimum üç adet ölçü alınmış olup test parametreleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre artan karbon miktarının ve Mangan miktarının çelik malzemenin sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Deneyler sonucunda en az sertlik değerine P_0,28C 1,03Mn olan aşınma plakasında 456Hb olarak tespit edilmiş artan karbon ve alaşım elementi oranına bağlı olarak sertlik değerlerinin pozitif yönde arttığı görülmektedir. Bu sonuç Stepanov ve arkadaşlarının karbon miktarı artışının sertlik değeri üzerinde etkisi üzerine yaptıkları çalışmayı desteklemektedir (Stepanov, 2016).

6.7. MİKRO YAPI İNCELEMESİ

Aşındırılmamış çeliklerinin (ISO 4967-1979'a göre üretilmiş) numunelerinin gözlemleri, esas olarak kırılğan silikatlar, oksitler, nitrürler şeklinde eşit olarak dağılmış az miktarda metalik olmayan inklüzyonların varlığını göstermiştir. Numuneler incelendiğinde eşit aralıklarla dağılmış çoğunlukla sülfürler, oksitler, silikatlar ve nitrürler şeklindeki metalik olmayan dağılımlar görülmektedir (Ulewicz, 2013)

Metalografik analiz, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde Nikon MA 100 optik mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan mikroyapı analizi sonucunda üretilen döküm çeliklerin temperlenmiş martenzitik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Çelik numunelerin Şekil 6.20’ de görüntüleri incelendiğinde, kaba iğnemsiz martenzitik yapı olarak karakterize edilen bir yapıya sahip oldukları anlaşılmıştır.

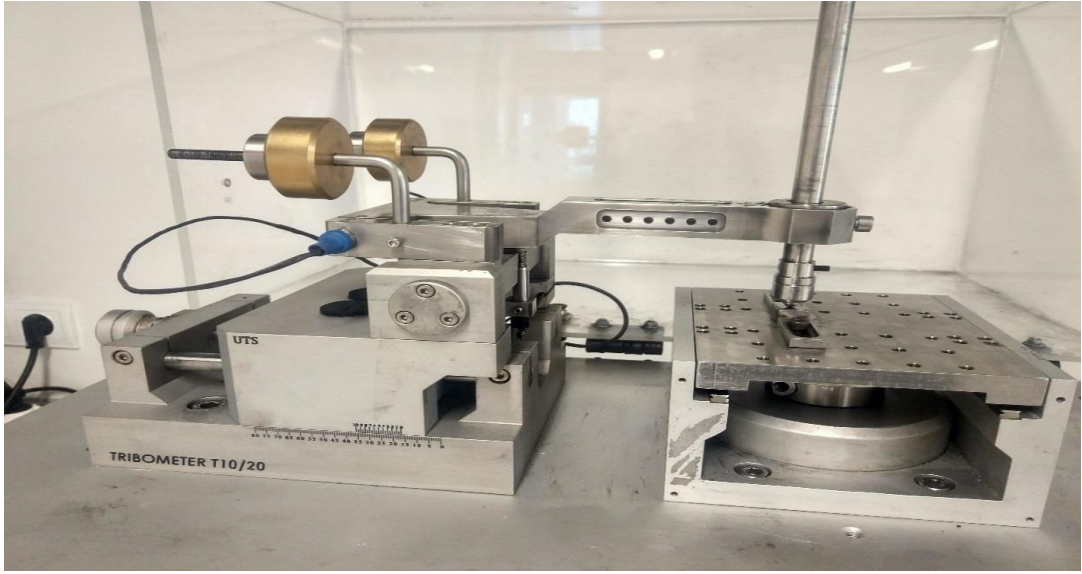


Şekil 6.20. Numunelerin mikro yapı görüntüleri

6.8. AŞINMA DENEYLERİNİN YAPILIŞI

Aşınma deneyleri için Şekil 6.21’ de görülen Uts marka Tribometer T10/20 test cihazı kullanılmıştır. Numuneler Deney öncesinde kesilerek ve zımparalanılarak cihaza takılmak üzere hazırlanmıştır. Deney tipi olarak salınım hareketli (reciprocating) Lineer hareket modülü ile Karabük üniversitesi Demir-Çelik Enstitüsünde ASTM G-133 (Lineer kayma aşınması için standart test yöntemi) standartlarına uygun testler yapılmıştır. Deney oda sıcaklığında $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ yapılmıştır. Bu test yöntemi, doğrusal, ileri geri hareket eden düz

bir düzlemde, seramik, metal ve diğer aşınmaya dayanıklı malzemelerin kayma aşınmasını belirlemek için laboratuvar prosedürlerini kapsar.



Şekil 6.21. Aşınma testi için kullanılan deney düzeneği

Testlerde deney yükü olarak sırası ile 20N, 40N ve 60N'luk yükler uygulanmıştır. Şekil 6.22' de Deney şartlarının ve yüklerin girildiği ekran görüntüsü görülmektedir.

Reciprocating test parameters		
Load(F)	20	N
Frequency	3	Hz
Stoke(X)	7	mm
Test cycles	17857,14	
Sliding distance	250	m
Sliding speed(V)	42,00	mm/s
Test duration	99,2	min

Şekil 6.22. Test parametreleri

6.8.1. Aşınma Deney Sonuçları

Çizelge 6.9, 6.101, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14' de çelik numunelere ait 20N, 40N ve 60 N yüklerde yapılan aşınma testlerine ait aşınma hacimlerinin mm³ cinsinden

hacimlerinin hesap değerleri görünmektedir. Şekil 6.23' de aşınma sonrası malzeme üzerinde oluşan aşınma görünümü yer almaktadır. Çizelge 6.15' da yapılan aşınma testleri sonrasında elde edilen aşınma verilerinin tamamının dahil edildiği aşınma miktarlarını gösteren tablo görünmektedir.

Çizelge 6.9. 0,28C 1,03Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,28C 1,03Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 20 N					
		1.ÖLÇÜM (mm ²)		2.ÖLÇÜM (mm ²)		3.ÖLÇÜM (mm ²)	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,123		0,112		0,109	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,861		0,784		0,763	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,803	

Numune Adı: 0,28C 1,03Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM (mm ²)		2.ÖLÇÜM (mm ²)		3.ÖLÇÜM (mm ²)	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,36		0,337		0,38	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		2,52		2,359		2,66	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						2,513	

Numune Adı: 0,28C 1,03Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N): 60 N					
		1.ÖLÇÜM (mm ²)		2.ÖLÇÜM (mm ²)		3.ÖLÇÜM (mm ²)	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,543		0,477		0,502	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		3,801		3,339		3,514	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						3,551	

Çizelge 6.10. 0,33C 1,60Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,33C 1,60Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N): 20 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,08		0,075		0,067	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,56		0,525		0,469	
ORTALAMA AŞINMA HACMİ (mm ³)						0,518	

Numune Adı: 0,33C 1,60Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,248		0,209		0,108	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,736		1,463		0,76	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						1,32	

Numune Adı: 0,33C 1,60Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 60 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,36		0,271		0,317	
Strok(mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		2,52		1,897		2,219	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						2,212	

Çizelge 6.11. 0,48C 0,95Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,48C 0,95Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 20 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,101		0,103		0,081	
Stroke (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,707		0,721		0,567	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,665	

Numune Adı: 0,48C 0,95Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,167		0,197		0,141	
Strok(mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,169		1,379		0,987	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						1,178	

Numune Adı: 0,48C 0,95Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 60 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,362		0,44		0,4	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		2,534		3,08		2,8	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						2,80	

Çizelge 6.12. 0,54C 1,49Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,54C 1,49Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 20 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,055		0,045		0,049	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,385		0,315		0,343	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,348	

Numune Adı: 0,54C 1,49Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,088		0,086		0,1	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,616		0,602		0,7	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,639	

Numune Adı: 0,54C 1,49Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 60 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,182		0,197		0,203	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,274		1,379		1,421	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						1,358	

Çizelge 6.13. 0,59C 1,55Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,59C 1,55Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 20 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,048		0,068		0,075	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,336		0,476		0,525	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,445	

Numune Adı: 0,59C 1,55Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,147		0,115		0,101	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,029		0,805		0,707	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,847	

Numune Adı: 0,59C 1,55Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 60 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,229		0,218		0,213	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,603		1,526		1,491	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						1,54	

Çizelge 6.14. 0,58C 1,19Mn 20N-40N-60N yükte aşınma miktarları

Numune Adı: 0,58C 1,19Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 20 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,065		0,065		0,058	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		0,455		0,455		0,406	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						0,43	

Numune Adı: 0,58C 1,19Mn		Malzemeye Uygulanan Yük Miktarı (N) : 40 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM (3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,169		0,165		0,163	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		1,183		1,155		1,141	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						1,15	

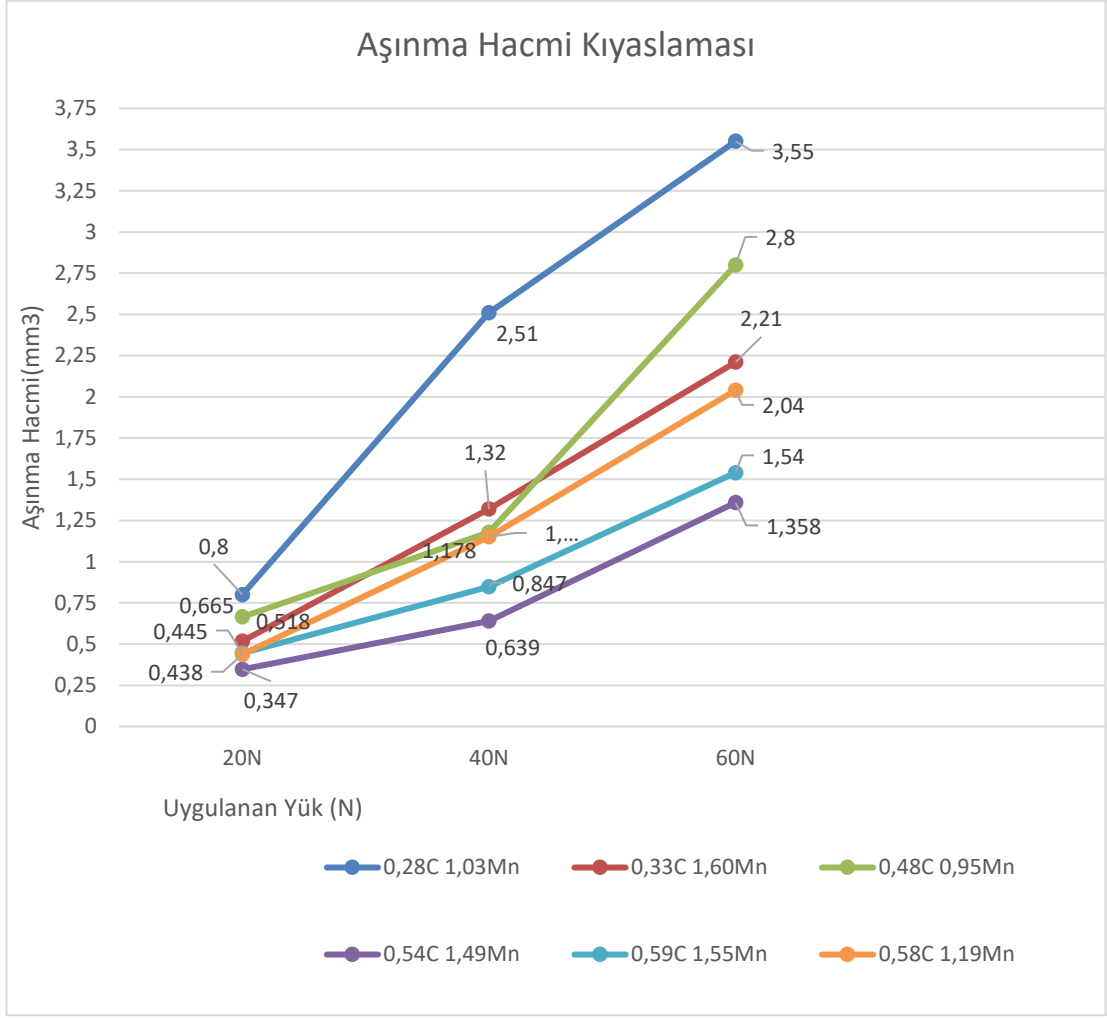
Numune Adı: 0,58C 1,19Mn		Malzemeye uygulanan Yük Miktarı (N) : 60 N					
		1.ÖLÇÜM		2.ÖLÇÜM		3.ÖLÇÜM	
Aşınan yüzey alanı (mm ²)		0,329				0,255	
Strok (mm)	Kayma Mesafesi (m)	7	250	7	250	7	250
Aşınma hacmi (mm ³)		2,303		2,04		1,785	
Ortalama aşınma hacmi (mm ³)						2,04	



Şekil 6.23 Aşınma testi sonrası uygulanan yük miktarına bağlı olarak aşındırılmış numunenin görünümü

Çizelge 6.15. Numunelere ait aşınma miktarları

YÜKE BAĞLI AŞINMA HACMİ	0,28C 1,03Mn	0,33C 1,60Mn	0,48C 0,95Mn	0,54C 1,49Mn	0,59C 1,55Mn	0,58C 1,19Mn
20N	0,803	0,518	0,665	0,347	0,445	0,438
40N	2,51	1,32	1,178	0,639	0,847	1,15
60N	3,55	2,21	2,80	1,358	1,54	2,04



Şekil 6.24. Aşınma deneyi sonuçlarının kıyaslanması

Şekil 6.24' de piyasada aşınma plakası olarak kullanılan çelik malzemelere ait aşınma değerlerinin (0,28C 1,03 Mn/0,33C 1,60Mn) üretilen numunelerle kıyaslanmasına dair grafik görülmektedir. Aşınma deneyleri sonucunda piyasadan temin edilen ve kullanılan aşınma plakalarında aşınma plakalarından 0,28C1,03Mn numara olanının 20N,40N ve 60N' da yapılan aşınma testlerinde en düşük aşınma dayanımına sahip olduğu, 0,33C1,6Mn numaralı aşınma plakasının 0,54C1,49Mn, 0,59C1,55Mn ve 0,58C1,19Mn numaralı numunelerden daha çok aşındığı yalnızca 20N ve 60N' luk aşınma testinde N1 numunesinden daha az aşındığı 40N yükte gerçekleşen teste ise 1,318 mm³ aşınma değeri ile N1 numunesinde fazla aşındığı görülmektedir. Uygulanan Yük Miktarının 20N yükten 60N yüke doğru artması ile birlikte aşınma miktarları arasındaki farkın giderek artarak belirginleştiği görülmektedir. Ayrıca malzeme içerisinde yer alan Karbon (C) miktarının artması ile birlikte bölüm 2.3 de açıklandığı

gibi artan karbon miktarı ve oluşan martenzit hacim oranı malzemenin sertliğini ve mukavemetini artırmaktadır aşınma miktarının da buna bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde bölüm 2.3 de ifade edildiği gibi yapı içerisindeki Mangan (Mn) yapısı itibari ile malzeme içerisindeki süneklik miktarını düşürmekle birlikte çeliğin mukavemetini yükseltme özelliğine sahip bir elementtir. Dökülen numuneler içerisinde de Karbon(C), Mangan (Mn) ve Silisyum (Si) miktarının oluşan aşınma Hacmi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu deneyler sonucunda anlaşılmıştır. Elde edilen bu sonuç Elsayy E.İ ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmayı desteklemektedir (Elsawy, 2017).

6.9. AŞINMA DAVRANIŞININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Sonlu elemanlar analizi için ANSYS- Workbench programından faydalanılmış olup deney düzüneği Şekil 6.24' de görüldüğü üzere her bir deney numunesi için aşınma deneyinde kullanılan düzeneğe uygun olarak tasarlanmış ve deney aşınma yükü olan 20N, 40N ve 60N değerlerinde yük uygulanarak 250 metre mesafe ve 7 mm strok mesafesindeki aşınma davranışı simüle edilmiştir.

Simülasyon ortamında, deney şartlarında aşındırma yapılan çelik levha 1/1 ölçülerinde modellenmiş ve aşınma uygulanacak olan numene malzemenin mekanik özellikleri ile birlikte Ansys programına aktarılmıştır.

ANSYS Workbench de aşınmaya ait doğrudan bir modül bulunmamaktadır. Statik analiz modülü içerisinde kontak tanımlama kısmına ve yük uygulama kısmına komutlar eklenerek aşınma analizi yapılabilmektedir. Bu komutlara ait örnek EK' te sunulmuştur. ANSYS yazılımı ARCHARD denklemlerini kullanarak aşınma analizi yapabilmektedir.

1953 yılında J.F. Archard tarafından geliştirilen ve tanıtılan Archard aşınma yasası ya da diğer bir adıyla Holm/Archard yasası, kayma aşınma hacmi (V), normal yük (W/F), toplam kayma mesafesi (L/s) ve temas durumundaki iki yüzeyden daha yumuşak malzemenin sertliği (H) arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir (Archard, J). Aşınmayla

ilgili olarak, literatürde ve yapılan akademik çalışmalarda yaygın olarak Archard'ın klasik aşınma modeli kullanılır. Archard'ın aşınma yasası, aşınma oranının kayma hızıyla ve normal temas kuvvetiyle orantılı olduğunu göstermektedir. Archard'ın (ya da Holm/Archard) aşınma denklemi (Archard, 1953, Kato, 2001);

$$V = K \frac{F}{H} s \quad (6.1)$$

Şeklinde ifade edilir.

Burada;

V = Aşınan malzemeye hacmi,

K = Boyutsuz aşınma katsayısını,

s = Kaymaya ait mesafeyi,

H = Temasta bulunan yüzeylerden yumuşak olan malzemenin sertliğini,

F = Yüzeyler arasında oluşan normal kuvveti ifade etmektedir.

Çizelge 6.16 da aşınma sınıflandırmasına bağlı olarak K katsayıları gösterilmiştir.

Çizelge 6.16 Aşınma sınıflandırmaları ve mekanizmaları (Thamson, 2006)

Aşınma Sınıflandırması	Mekanizmaların Aşınma katsayısı	K (range)
Malzemelerin mekanik davranışının hakim olduğu aşınma	1. Pürüzlülük deformasyonu ve giderilmesi	10 ⁻⁴
	2. Sürtünmeden kaynaklı aşınma	10 ⁻⁴
	3. Delaminasyon aşınması	10 ⁻⁴
	4. Adhezif aşınma	10 ⁻⁴
	5. Abrezif aşınma	10 ⁻² to 10 ⁻¹
	6. Sürtünme aşınması	10 ⁻⁶ to 10 ⁻⁴
	7. Katı parçacık çarpması ile aşınma	-

Aşınma modelleri temas noktalarındaki sonuçlara dayanarak aşınma simülasyonunu elde etmek için bir temas düğümünün ne kadar ve hangi işlevlerde bulunduğunu hesaplar. Archard aşınma modeli, aşınma oranı, temas basıncı, kayma hızı ve malzeme sertliğiyle beraber aşınma yönünü tanımlar. Hesaplamalarda kullanılan katsayı değerleri için Aşınma katsayısı, basınç üstü ve hız üssü gibi değerler aşağıda görüldüğü

değerlerde sabit tutularak değişken olarak döküm sonunda elde edilen farklı numune değerleri için oluşan farklı sertlik değerleri değişken olarak belirlenmiştir.

C1- Aşınma katsayısı,

$$K = 1.05e-2$$

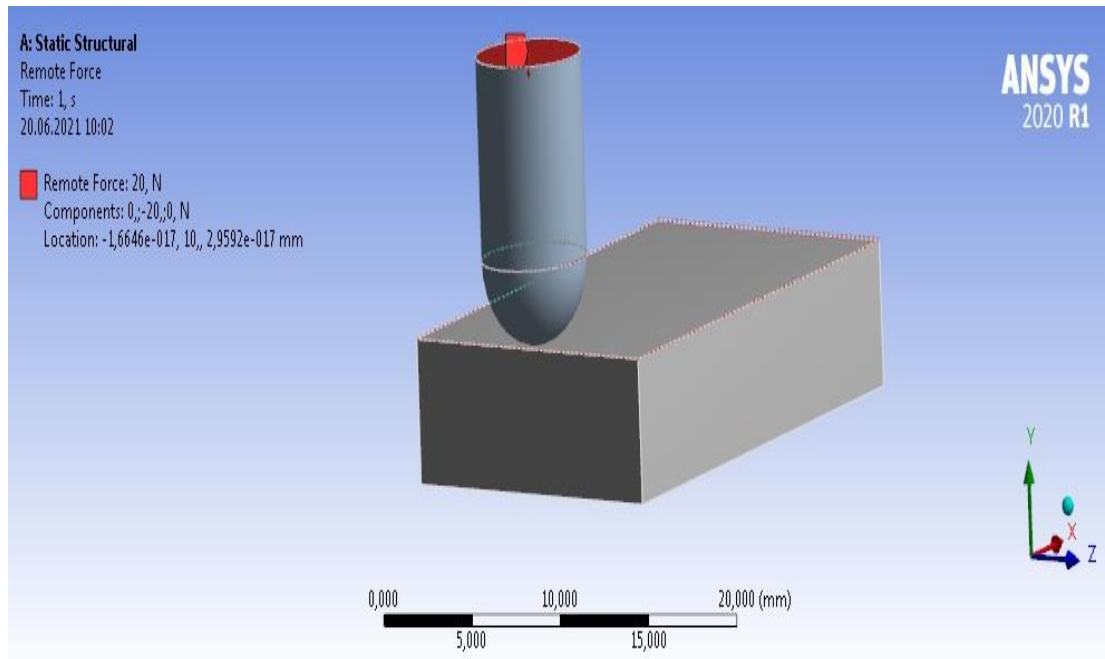
C2 -Malzeme sertliği, Deneylelerden elde edilen veriler

H =Numune sertliğine göre değişken değer

C3 -Basınç üssü, $m = 1$

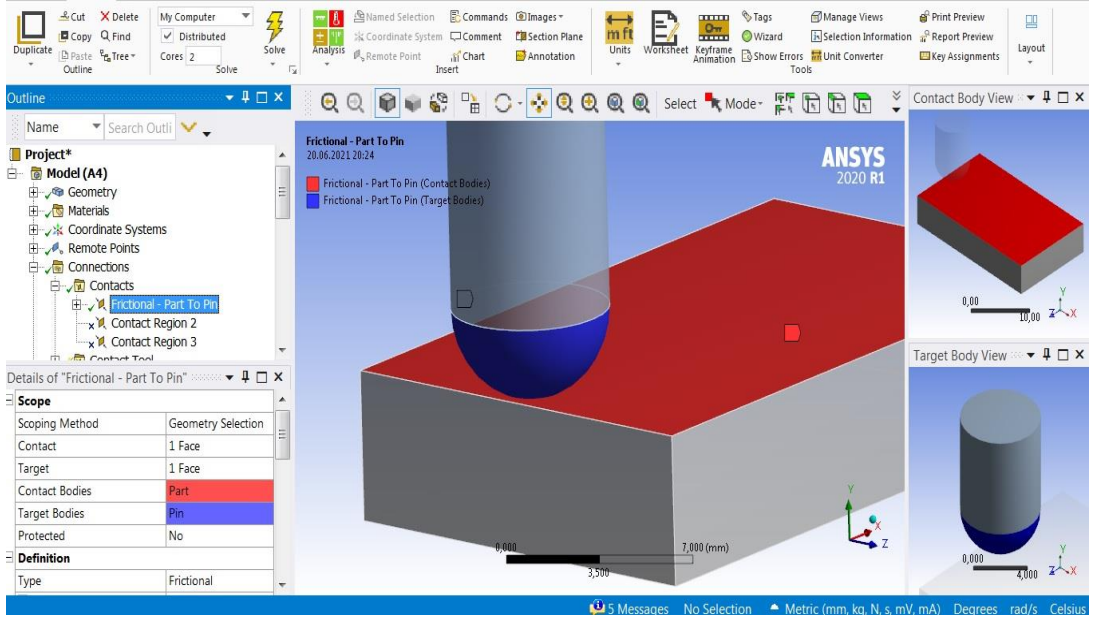
C4- Hız üssü, $n = 0$

Şekilde 6.25' de görüldüğü üzere, deneysel işlem dikkate alınarak, deney numunesinin düzlemine dik yönde uygulanan deney kuvvet değerleri girilerek (aşınma deneylerinde kullanılan kuvvet değerleri) kuvvet tanımlaması yapılmıştır.



Şekil 6.25 Modele kuvvet tanımlaması

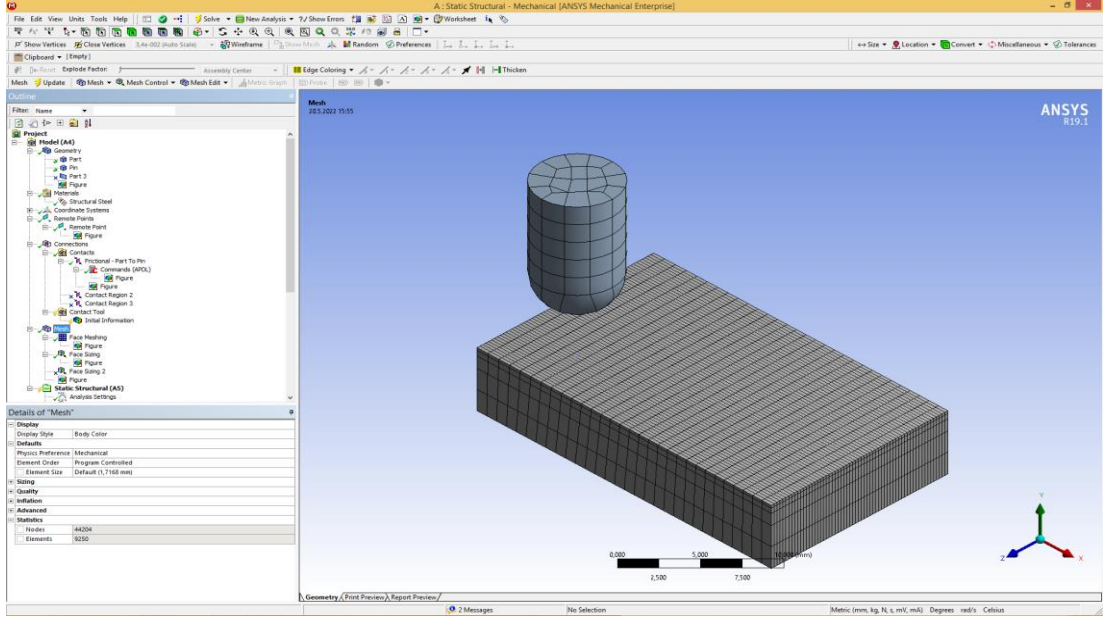
Aşındırıcı deney düzeneği ve numune deney malzemesi arasında gerçekleşecek kontak tanımlaması frictional (0.1) olarak tanımlanmış bu tanımlama işlemi Şekil 6.26' de görüldüğü şekilde yapılmıştır.



Şekil 6.26 Kontak tanımlama

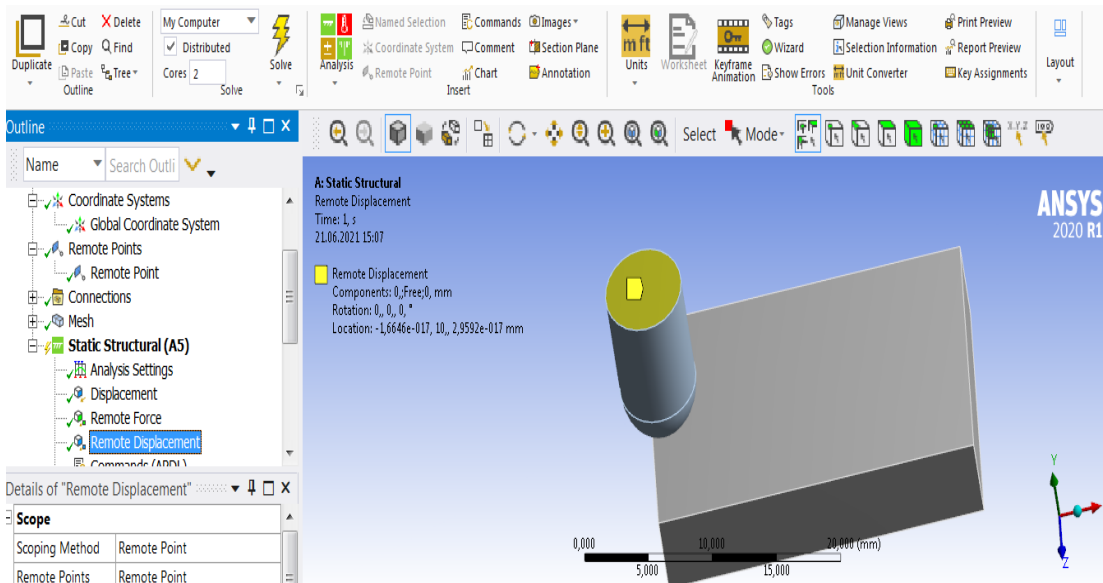
Ansyes de aşınma yapabilmek için gerekli modül bulunmamaktadır. ARCHARD denklemi kullanabilmek için kodlama yapılmaktadır. Ansyes buna commend ekleme modülüyle mümkün kılmaktadır. Commend kısmına Şekil 6.28 de gösterildiği gibi kısa bir kod yazılması gerekmektedir.

Tasarımlarda mesh atamaları yapılırken gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşmak için mesh boyutlandırılmalarında asıl sonucun istendiği ve aşınma mekanizmasının gerçekleştiği malzeme yüzeylerine daha yoğun mesh örülmüş (Nodes:44204, Elements:9250), aşınmaya uğramayan malzeme alt yüzeyleri ile aşındırıcı bilyaya daha az (Nodes:556, Elements: 100) mesh tabakası örülmüştür. Mesh yoğunluğu gereğinden fazla olursa çözüm zamanı uzamakta ve sonuçlarda hata da oluşmaktadır. Aşındırıcı pin ile çelik numune arasındaki malzeme aşınmasını elde etmek istendiği için aşınan numune yüzeylerine daha detaylı mesh tanımlanmıştır. Atılan mesh yapısı analizin yapıldığı bilgisayarın çözüm süresinin uzamaması için mesh yoğunluğu tolere edilmiştir. Deney ortam tasarımına ait meshler Şekil 6.27’de görülmektedir.



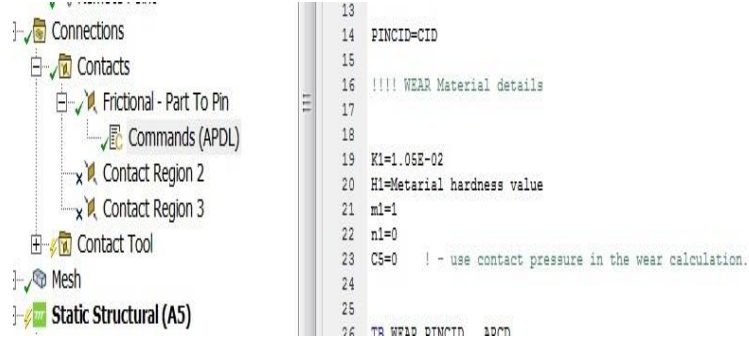
Şekil 6.27 Mesh ağı şekli

Sınır Şartlarında deney ortamında pin üzerinde etki eden kuvvet etkisi ile aşındırıcı pin aşağı yönde hareket ederek deneyde kullanılan tezgah sistemine benzer bir sistemle numune üzerine kuvvet etki eder, deney sisteminde numune sabit aşındırıcı pin hareketli olurken, ANSYS’ de pine kuvvet uygulanmış ve numune 7mm’ lik stroklarla hareket ettirilmiştir. Şekil 6.27’de kuvvet uygulanan pin ile hareket verilen numune görülmektedir.



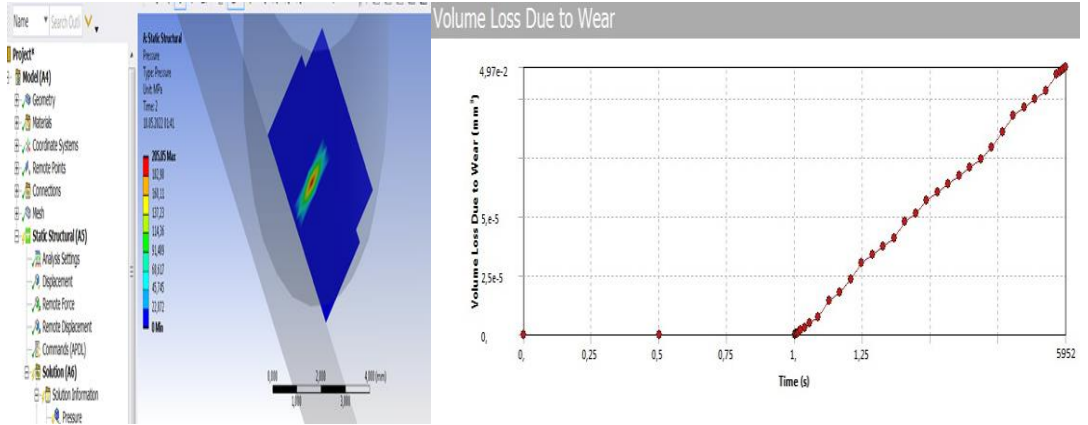
Şekil 6.28 Kuvvet uygulanan pine ait sınır şartı görüntüsü

Ansyes Statik analiz modülünde yapılan analizde deney ortamında olduğu gibi numunenin üst yüzeyi ile aşındırıcı bilya yüzeyleri seçilerek kontak sürtünmeli olarak seçilmiş ve malzemelere ait değerler commands modülü üzerinden girilmiştir. Şekil 6.29 da kontak tanımlamaları ve kodlamalarının değerlerin girildiği ekranın görüntüsü verilmiştir.



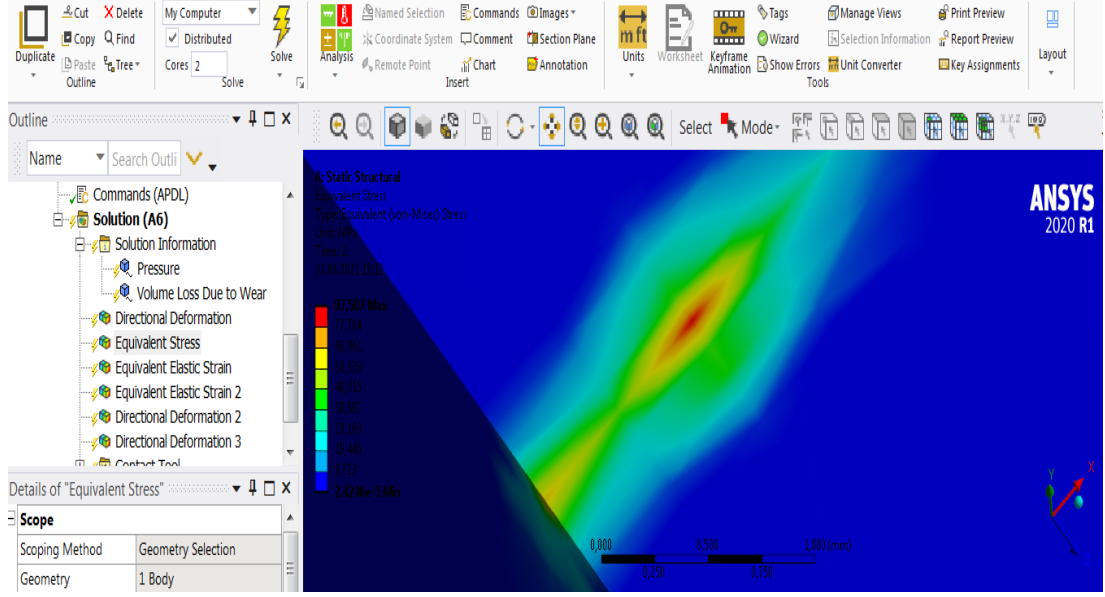
Şekil 6.29. Kontak tanımlamalarının ve değerlerin girilmesi örneği

Şekil 6.30' da 20 N yük değerinde 0,48C 0,95Mn numunede oluşan basınç değeri ve hacim kaybı grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.30. 20N yükte 0,48C0,95Mn basınç değeri ve hacim kaybı grafik örneği

Uygulan kuvvet ve analiz şartları sonucunda gerilme değeri, basınç değeri ve aşınma hacmi gibi değerlere ulaşmak mümkündür. Şekilde 6.31' de 20N yükte numune üzerinde oluşan eşdeğer gerilme değeri görülmektedir.



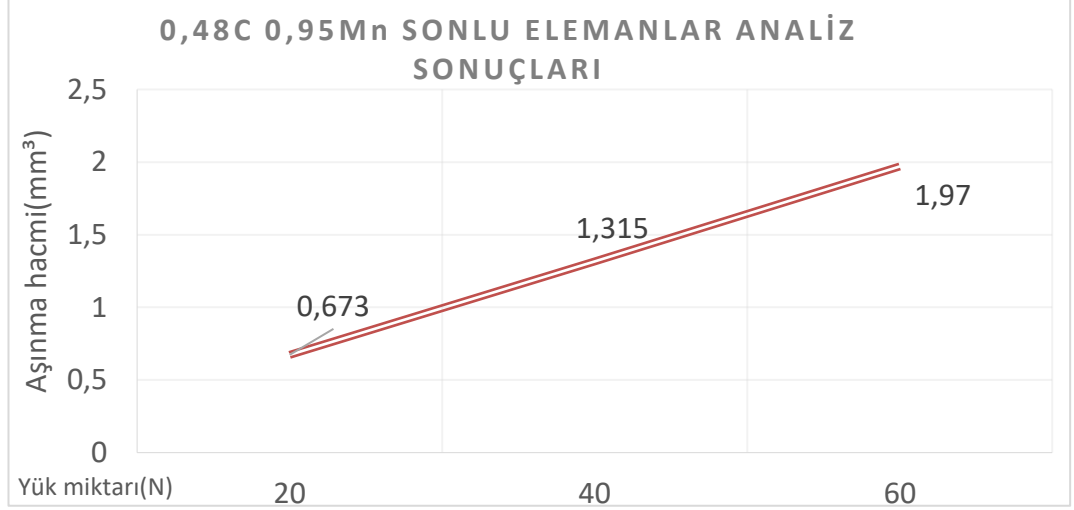
Şekil 6.31 Malzeme üzerinde 20N yükte aşınma sonrası oluşan gerilme görünümü

Ansyes analiz sonrasında elde edilen analiz sonuçları Çizelge 6.17’ de görülmektedir.

Çizelge 6.17. Ansyes analizi sonrasında elde edilen aşınma hacimleri

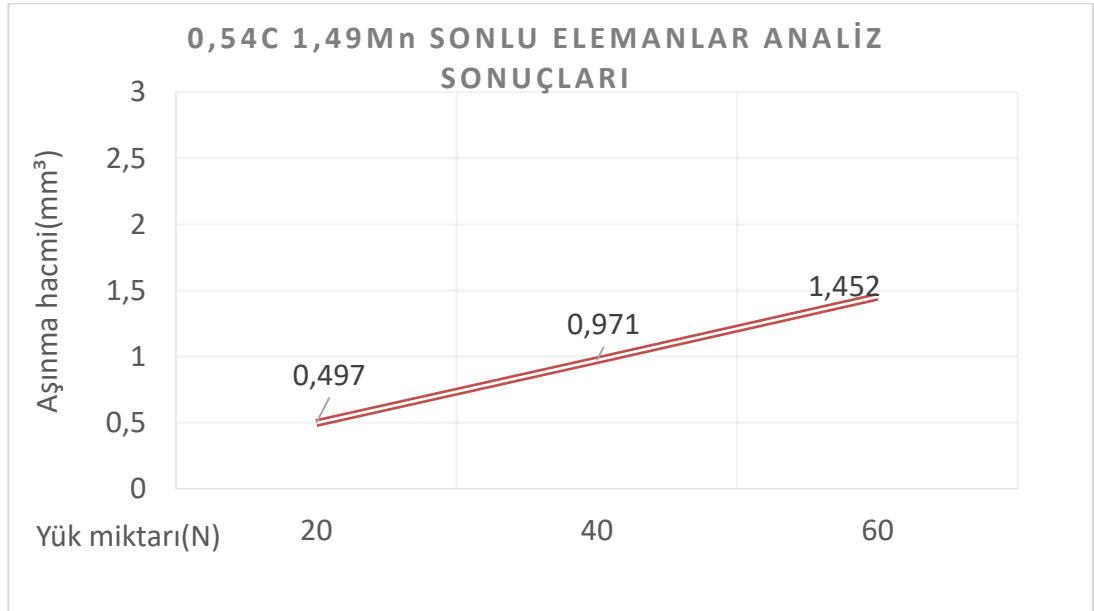
AŞINMA HACMİ(mm ³)	0,48C0,95Mn	0,54C1,49Mn	0,59C1,55Mn	0,58C1,19Mn
ANSYS 20N	0,673	0,497	0,518	0,464
ANSYS 40N	1,315	0,971	1,011	0,907
ANSYS 60N	1,97	1,452	1,513	1,356

Çizelge 6.17’ de Ansyes analizi sonrasında malzeme yüzeylerinde meydana gelen aşınma miktarları görülmekte olup malzeme yüzeyine uygulanan yük miktarı artması ile birlikte tüm numunelerde aşınma miktarında artma olduğu görülmektedir. En düşük aşınma dayanımı analizi 0,48C 0,95Mn olan numunede meydana geldiği ve Karbon miktarı artışının aşınmada olumlu sonuç verdiği görülmektedir Bu sonuçlar Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmayı desteklemektedir (Wang, 2019).



Şekil 6.32. 0,48C 0,95Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği

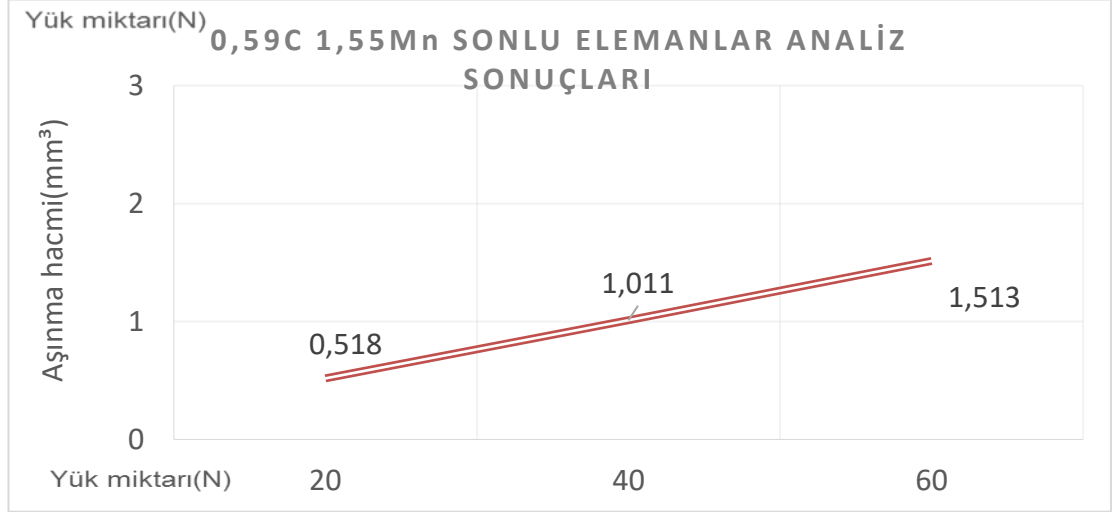
Şekil 6.32 'de 0,48C 0,95Mn numunesine ait aşınma davranışı görünmekte olup aşınma davranışının malzeme yüzeyine uygulanan yük miktarına paralel bir artış oluşturduğu 20N yükte 0,673mm³ aşınma hacmi, 40 N yükte 1,315 mm³ aşınma hacmi ve 60 N yükte 1,97 mm³ aşınma hacmi olduğu görülmektedir. Artan yük miktarı ile aşınmanın doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 6.33. 0,54C 1,49Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği

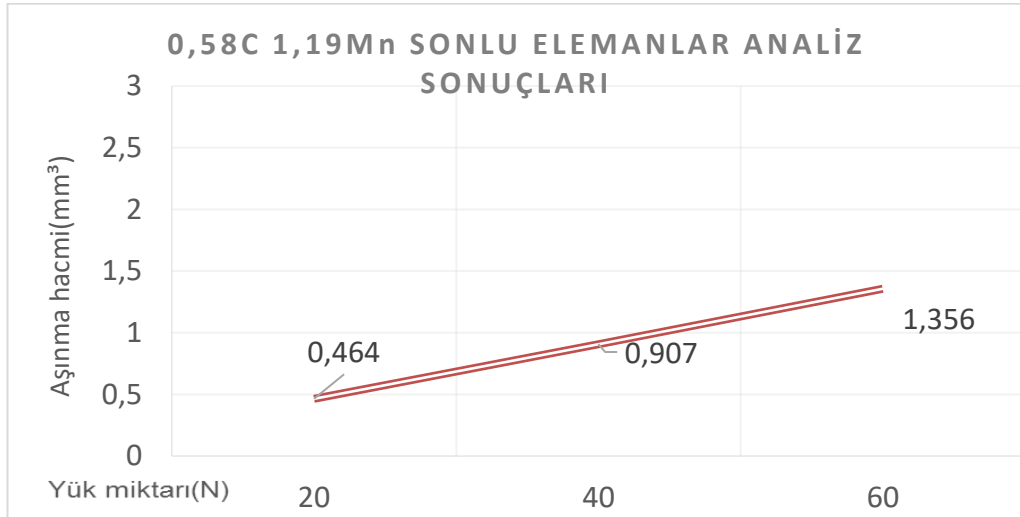
Şekil 6.33 'de 0,54C 1,49Mn numunesine ait aşınma davranışı görünmekte olup aşınma davranışının malzeme yüzeyine uygulanan yük miktarına paralel bir artış

oluşturduğu 20N yükte 0,497mm³ aşınma hacmi,40 N yükte 1,971 mm³ aşınma hacmi ve 60 N yükte 1,452 mm³ aşınma hacmi oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.34. 0,59C 1,55 Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği

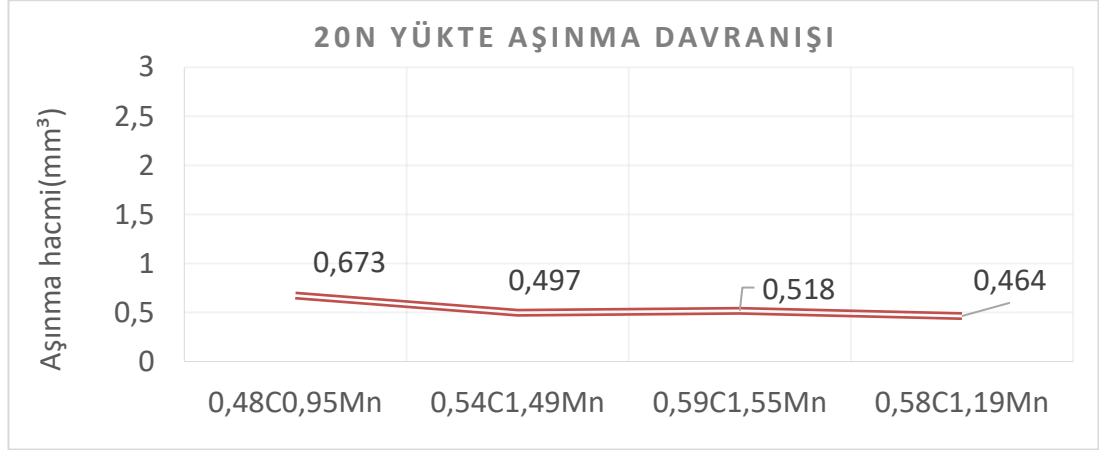
Şekil 6.34 'de 0,59C 1,55Mn numunesine ait aşınma davranışı görünmekte olup aşınma davranışının malzeme yüzeyine uygulanan yük miktarına paralel bir artış oluşturduğu 20N yükte 0,518 mm³ aşınma hacmi, 40 N yükte 1,971 mm³ aşınma hacmive 60 N yükte 1,513 mm³ aşınma hacmi oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.35. 0,58C 1,19Mn yük miktarına bağlı aşınma hacmi grafiği

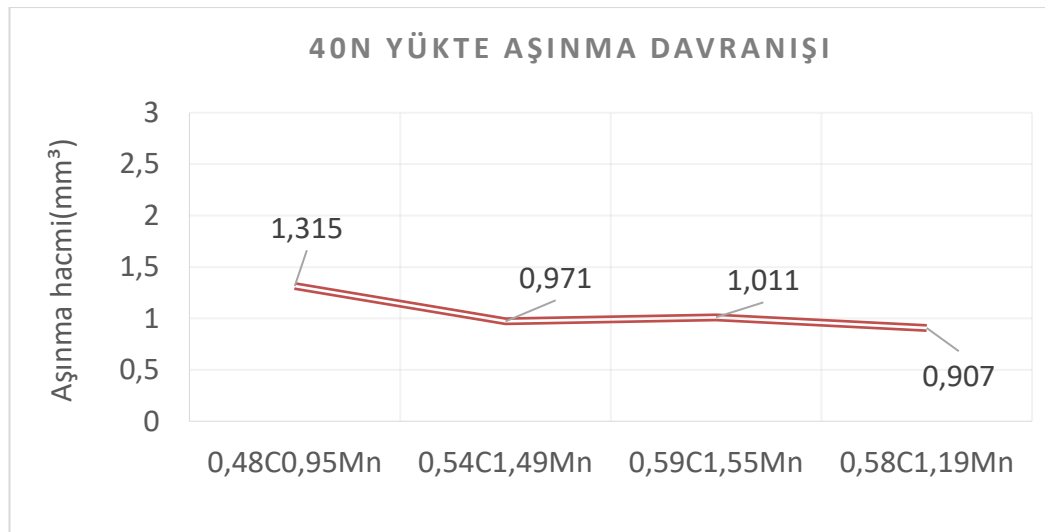
Şekil 6.35 'de 0,58C 1,19Mn numunesine ait aşınma davranışı görünmekte olup aşınma davranışının malzeme yüzeyine uygulanan yük miktarına paralel bir artış

oluşturduğu 20N yükte 0,464 mm³ aşınma hacmi, 40 N yükte 0,907 mm³ aşınma hacmi ve 60 N yükte 1,356 mm³ aşınma hacmi olduğu görülmektedir. Artan yük miktarı ile aşınma hacmi artmış buda 6.1de yer alan formülasyonda payda kısmında yer alan F kuvvetini artırdığımızda V aşınma hacminin paralelinde artması olarak sonuç vermektedir.



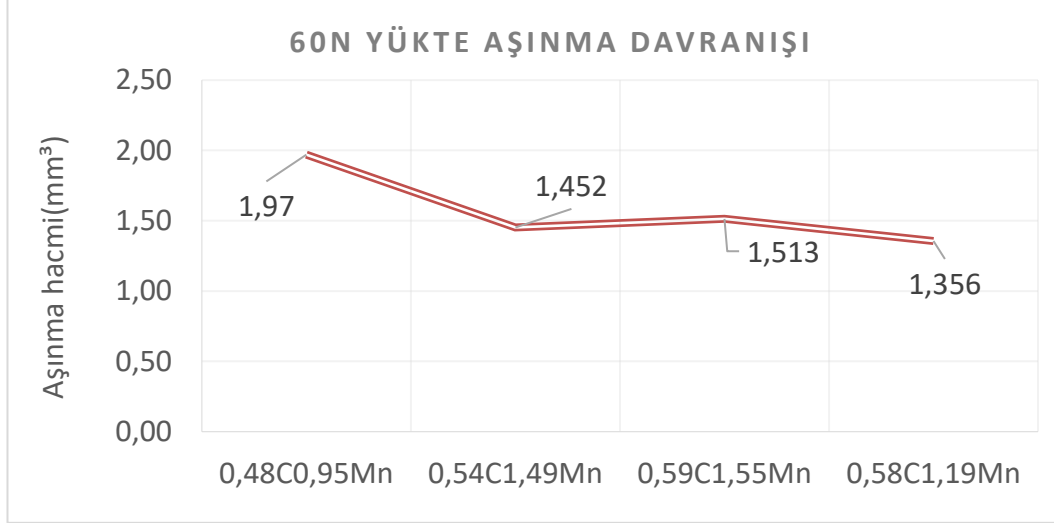
Şekil 6.36. 20N yükte aşınma davranışları

Şekil 6.36' de 20N yükte yapılan analizlerin tüm numuneler içerisinde elde edilen veriler neticesinde en az aşınma miktarına 0,464 mm³ 0,58C 1,19Mn numunede ulaşılmış analiz sonucunda en çok 0,48C0,95Mn olan numunede 0,673 mm³ olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.37 40N yükte aşınma davranışları

Şekil 6.37' de 40N yükte yapılan analizlerin tüm numuneler içerisinde elde edilen veriler neticesinde en azaşınma miktarına 0,907 mm³ 0,58C 1,19Mn numunede ulaşılmış analiz sonucunda en çok 0,48C0,95Mn olan numunede 1,315 mm³ olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.38 60N yükte aşınma davranışları

Şekil 6.38' de 40N yükte yapılan analizlerin tüm numuneler içerisinde elde edilen veriler neticesinde en azaşınma miktarına 1,356 mm³ 0,58C 1,19Mn numunede ulaşılmış analiz sonucunda en çok 0,48C 0,95Mn olan numunede 1,97 mm³ olarak elde edilmiştir.

Simülasyon sonrasında elde edilen verilerde Mangan miktarı ve karbon miktarı en düşük olan numune olan 0,48C 0,95Mn malzemede meydana gelen aşınma miktarı diğer malzemelere nazaran daha yüksek olduğu ve malzemelerde yer alan Karbon ve Mangan miktarının aşınma miktarında etkin bir değişime neden olduğu Mn ve C miktarı artışının aşınma miktarını azalmasına neden olduğu görülmektedir. Simülasyonun sonrasında elde edilen veriler ile deneysel veriler farklılık gösterebilmektedir bunun en büyük nedenlerinden biri bütün malzemelerin elastik davranışlı ve mükemmel malzeme olarak kabul etmesidir. Artan yük miktarı ile birlikte plastik etkilerin yaptığı oluşumlar ile aşınma sırasında kontak noktasında meydana gelen sıcaklık etkisinin artması ile hata yüzdesinde oluşan az miktarda artış meydana gelmesi beklenen bir sonuçtur (Demir, 2020).

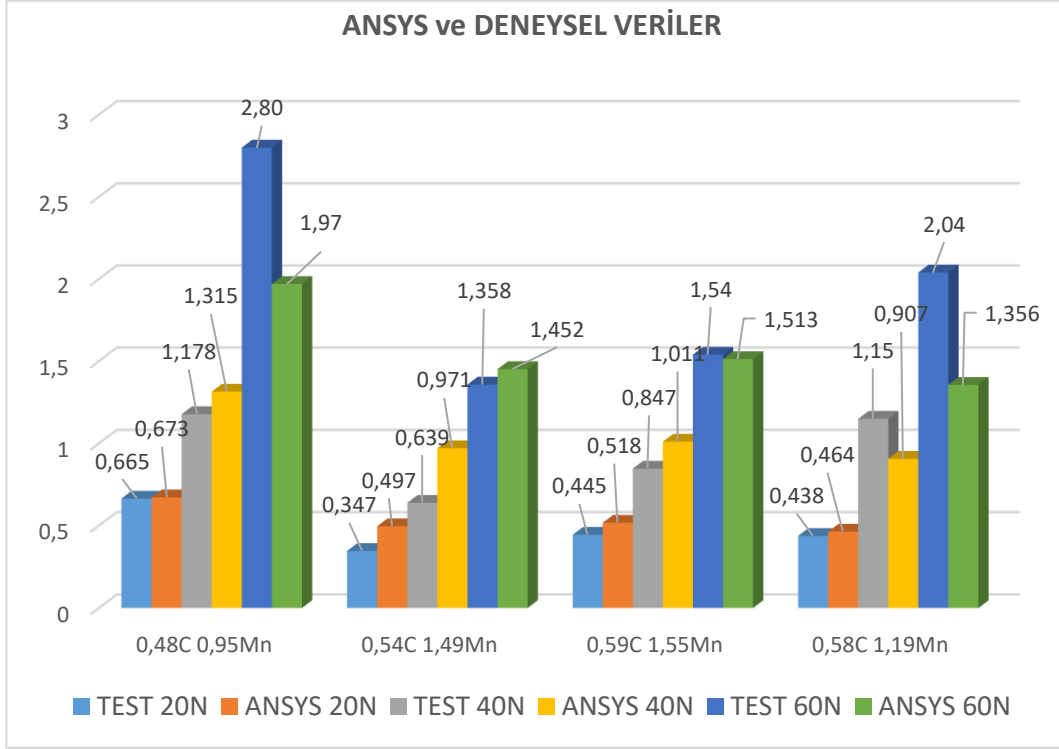
6.10. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ VE AŞINMA DENEYİ VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Her koşulda kullanılan, çalışılacak veya araştırma yapılacak olan malzemeye erişim sağlanması mümkün olmayabilir veya malzemelerin aşınma yüzeyleri karmaşık geometriler olabilir. Bu gibi koşullarda ise numerik analiz yöntemi olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEA) kullanılarak deney yapılması mümkün olmayan durumlar için deneysel sonuçlara dair bir yaklaşım elde edilmesi mümkündür. Literatür araştırması yapıldığında aşınma analizlerinin bilgisayar ortamında modellenmesine yönelik olarak yapılan çalışmaların 90' lı yıllarda başladığı ve günümüze kadar halen gelişmekte olduğu görülmektedir. ANSYS, ABAQUS gibi sonlu eleman analiz programları kullanılarak farklı modeller üzerinde yapılan çalışmalar aşınma hasarının karmaşık yapısı nedeni ile sürekli geliştirilmeye açık olarak belirtilmektedir (Demir C., 2020).

Aşınma modellemesi ile ilgili çalışmalar, Archard tarafından ortaya konan klasik aşınma teorisi göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan aşınma analizlerinde Archard aşınma teorisi günümüzde halen en sık kullanılan yöntemdir. Bu model birim kayma mesafesinde aşınan hacmin, normal kuvvet ve aşınan malzemenin sertliği ile doğrudan ilişkisi olduğunu kabul etmektedir. Çizelge 6.18' de ANSYS programı ile yapılan analizlerin neticesi ile laboratuvarda yapılan aşınma deneylerinin sonuçları görülmektedir.

Çizelge 6.18. Ansys ve deneysel verilerin sonuçları

İŞLEM TÜRÜ\NUMUNE ADI	0,48C 0,95Mn	0,54C 1,49Mn	0,59C 1,55Mn	0,58C 1,19Mn
TEST 20N	0.665	0.347	0.445	0.438
ANSYS 20N	0.673	0.497	0.518	0.464
TEST 40N	1.178	0.639	0.847	1.15
ANSYS 40N	1.315	0.971	1.011	0.907
TEST 60N	2.80	1.358	1.54	2.04
ANSYS 60N	1.97	1.452	1.513	1.356

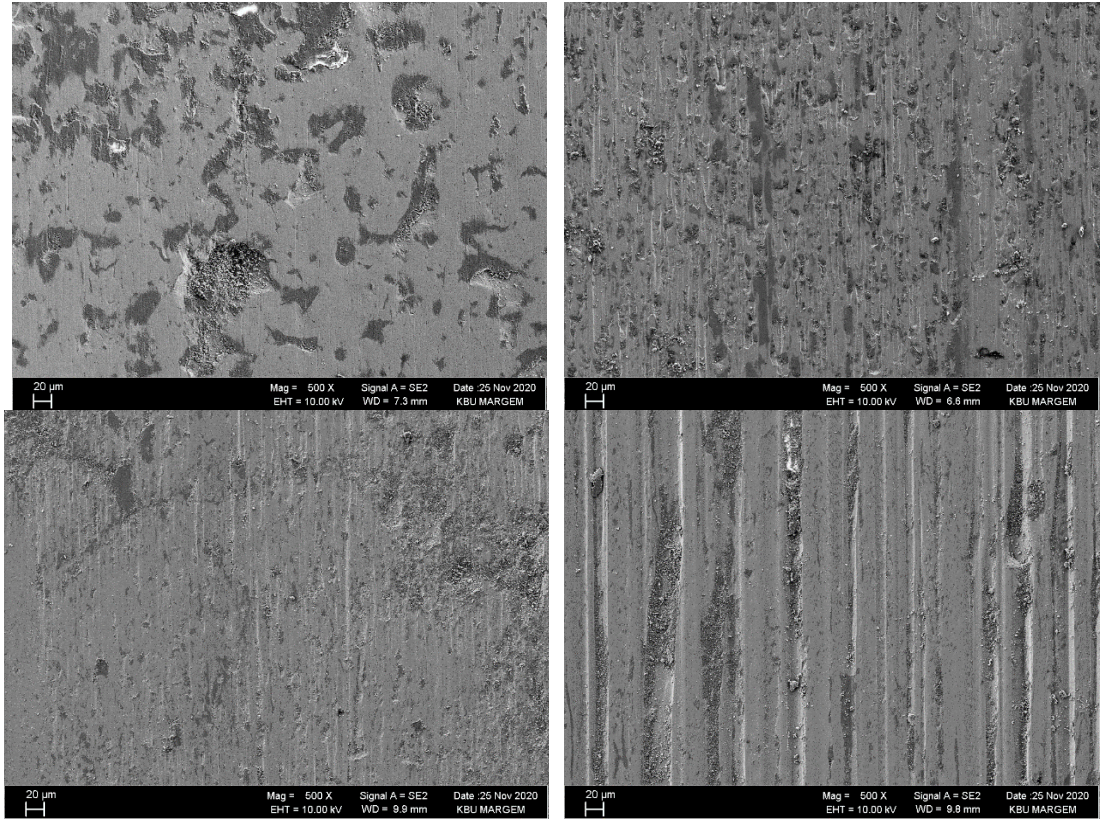


Şekil 6.39. ANSYS ve deneysel verilerin karşılaştırılması

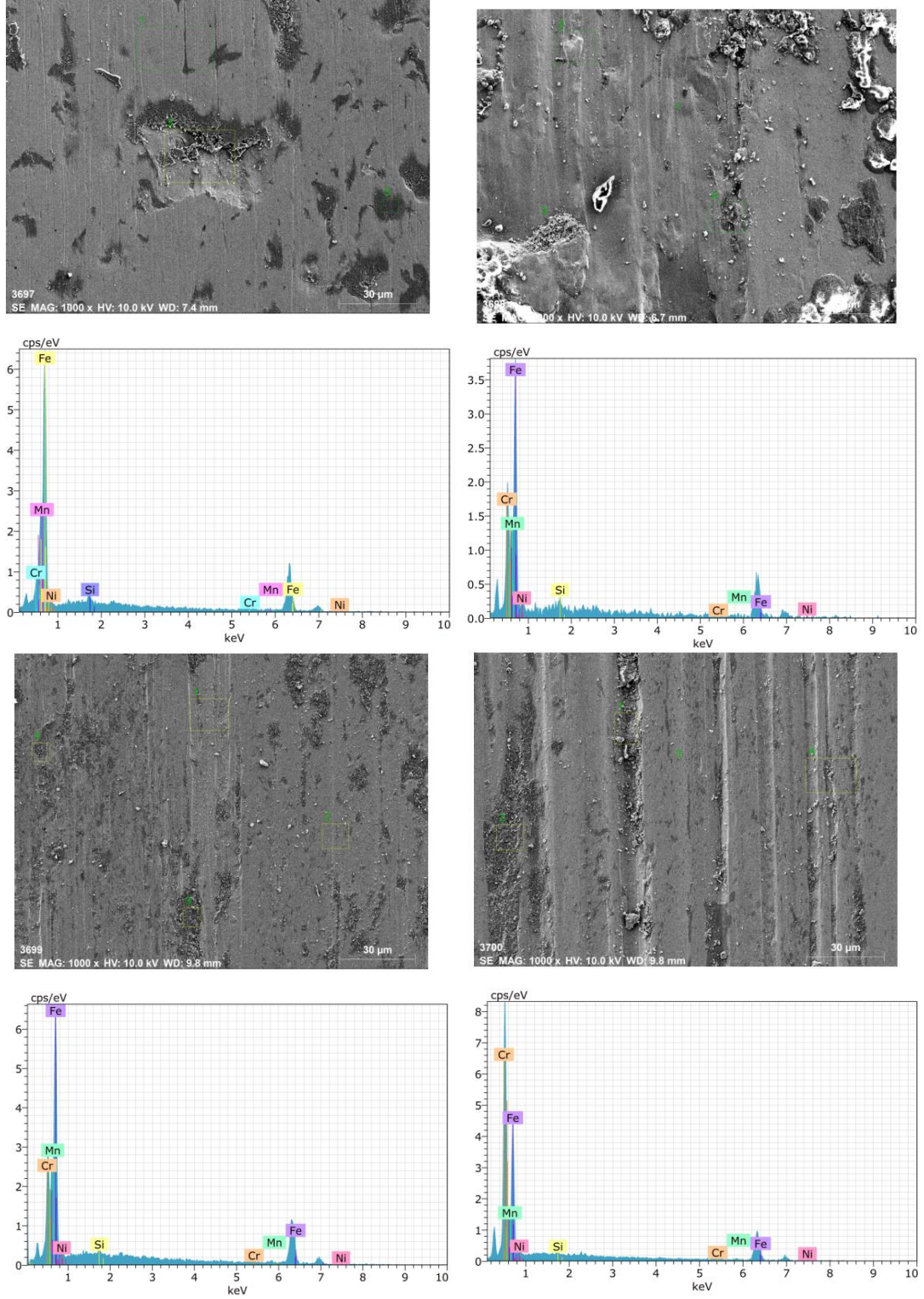
Yapılan aşınma testleri sonucunda elde edilen verilerle sonlu elemanlar yöntemi sonucunda elde edilen verilerin gösterildiği karşılaştırmalı grafik Şekil 6.39’ da gösterilmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar ile deneysel verilerin ortalama yüzde seksenin üzerinde uyuştugu görülmektedir. Yapılan analizler ile deneysel veriler arasında en büyük farkın 60 N yük uygulanan numunelerde meydana geldiği özellikle 20N luk yük uygulanan aşınma numunelerinde farkın daha az olduğu tespit edilmiştir. Simülasyonun tüm malzemeleri elastik davranışlı ve mükemmel olarak kabul etmesi, sabit basınç uygulaması, yüzey pürüzlülüğünü sabit kabul etmesi ve temas esnasında oluşan ısı değerleri hesaplamada dikkate almaması da bu hatalarda en büyük faktörlerden birkaçı olarak bilinmektedir. Artan yüklerle beraber plastik etkilerin, aşınma sırasında kontak noktasında sıcaklık etkisinin artması ile hata miktarında bir artış meydana gelmesi beklenen bir sonuçtur (Demir, 2020). Aşınan parçaların yüzeylerinde meydana gelen oksit oluşumlarının ise yağlayıcı etki veya metal-metal aşınmasına sebep olabilecek durumlar ortaya çıkardığı bilinmektedir. Numerik analiz tarafından ön görülemeyen bu davranışlar elde edilen hata paylarının oldukça anlaşılabilir olduğunu işaret etmektedir (Demir, 2020).

6.11. SEM ve EDX İNCELEMESİ

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ışını tarafından malzeme yüzeyi bombardımana tutulduğunda, malzemelerin yüzeyini oluşturan atomlardan elektronlar fırlatılır. Atomlardan fırlatılan elektronlardan ortaya çıkan elektron boşlukları daha yüksek bir durumdaki elektronlarla doldurulur ve iki elektronun mevcut durumları arasındaki enerji farkını dengelemek için bir x-ışını gönderilir. X ışının enerjisi, yayıldığı elementin karakteristiğine aittir bu şekilde karakteristik özellikler sayesinde tespit yapılır. Şekil 6.40' da aşınma numunelerinin 500 x 'de çekilmiş SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.40. Aşınma numunelerden (a) 0,48 C 0,95 Mn, (b) 0,54 C 1,49 Mn, (c) 0,59 C 1,55 Mn, (d) 0,58 C 1,19 Mn numunelerine ait 500Kx görüntüde SEM görüntüleri



Şekil 6.41. Aşınma numunelerinin EDX analiz grafikleri

Şekil 6.41 (a) - (d), 60N yük altındaki çelik numunelerinin aşınma yüzeylerinin SEM görünümünü göstermektedir. Şekil (a) - (d) sadece yüzeysel, oluk benzeri çizikler değil, aynı zamanda aşınma sonrası kırılan parça üzerinde biriken deformasyon

çizikleri ve yüzeyinde dağılan plastik deformasyon malzemeleri olduğunu göstermektedir. Yüzeylerinde manganez oranı yüksek olan bölgelerde aşınmanın daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuc Gürol U. ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmayı desteklemektedir (Gürol, 2020). Özellikle Şekil (b) ve (c) 'de verilen örneklerde aşınma miktarının daha az olduğu ve en fazla aşınmanın şekil (a) 'daki numunede meydana geldiği görülmektedir. Tüm şekillerde malzemelerin aşınmaya karşı ciddi bir direnç mekanizması gösterdiği ve aşınmaya dayanıklı çelik olarak adlandırılabilceği görülmüştür.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Aşınmaya maruz kalan alanlarda kullanılmak üzere çoğunlukla yurt dışından temini yapılan çelik levhalara alternatif olarak kum kalıba döküm yöntemi ile çelik levhaların üretilmesi amaçlanmıştır. 4 farklı kimyasal bileşene sahip olarak tasarlanan çelik döküm malzemelerin kalıp tasarımı Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Any Casting döküm analiz programı kullanılarak döküm öncesi kalıbı doldurma ve soğuma süreci analiz edilmiştir. 100*100*15mm ölçüsünde dökülen çelik malzemeler aşınma dayanımını artırmak için sıcak haddeleme yöntemi ile 15mm kalınlıktan 10mm kalınlığa indirilmiştir. 4 farklı kimyasal yapıya sahip olan çelik dökümden oluşturulan numuneler ile birlikte piyasadan temin edilen aşınma plakarı 20N, 40N ve 60N' luk yüklerde aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan fiziksel deneylerin daha sonraki çalışmalarda tekrar edilebilirliğinin her zaman mümkün olmayacağı düşünülerek, deneysel sisemin ANSYS programında bire bir modeli oluşturulmuştur. Teorik olarak sonlu elemanlar yöntemiyle ARCHARD denklemi kullanılarak analiz edilmiş, sonuçları fiziksel aşınma deneyleri sonuçlarıyla karşılaştırması yapılmıştır. Aşınan malzemelerin aşınma yüzeyindeki kimyasal yapısı görmek için malzemeler Mikro yapı, SEM ve EDX incelemesine tabi tutulmuş olup aşınmaya dayanıklı çelik döküm malzeme üretebilmek için yapılan bu çalışma neticesinde;

1. Mikro yapılar incelendiğinde temperlenmiş martenzitik bir yapıya sahip oldukları gözlemlenmiştir. Bu yapının kaba iğnemsiz martenzitik yapı olarak karakterize edilen bir yapı olduğu anlaşılmıştır.
2. Çelik döküm olarak üretilen malzemelerin sertlik değerlerinin tedarikçi firmalardan temin edilen aşınma plakalarından daha yüksek sertlik derecesine sahip olduğu ölçülmüştür. Malzeme içerisinde bulunan karbon

3. miktarının artması ve oluşan martenzit hacim oranı malzemenin sertliğini ve mukavemetini artırmaktadır aşınma miktarında buna bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Sıcak haddeleme ile numunelerin dayanımı ve sertliğide artmıştır buda aşınma davranışına olumlu yönde bir katkı sağlamıştır. Yapı içerisindeki Mangan (Mn) yapısı itibarı ile malzeme içerisinde süneklik miktarını düşürmekle birlikte çeliğin mukavemetini yükseltme özelliğine sahip bir elementtir, mangan alaşım miktarının sertliğin belirlenmesinde ikinci ve önemli bir etmen olduğu tespit edilmiştir.
4. Yapılan teorik analizler ile malzemede meydana gelen aşınma miktarları simüle edilmiştir. Simulasyonda deneysel şartlar ve deneyde kullanılan yükler olan 20N, 40N ve 60N' luk yükler ile simüle edilmiştir. Büyük oranda deney sonuçlarına yakın sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar %80-85 oranında eşleşmiştir. En büyük aşınma farkının 60N aşınma yükünde elde oluşmuştur. Aşınma testinde uygulanan yükün artmasından dolayı aşırı ısınmadan ve bu ısınmaya bağlı aşınma bölgesindeki yırtılmanın artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir, bunun yanı sıra teorik analizde sabit basınç uygulanması, yüzey pürüzlülüğünün sabit kabul edilmesi ve temas esnasında oluşan ısı değerlerinin hesaplamada dikkate alınmaması sonuçlar arasında fark oluşmasına neden olmaktadır.
5. Aşınan malzeme yüzeylerinde yapılan SEM ve EDX sonuçları incelendiğinde; aşınan malzemeler üzerinde sadece yüzeysel (oluk benzeri çizikler) olmayan, aynı zamanda aşınma sonrası kırılan parça üzerinde biriken deformasyon çizikleri ve yüzeyinde dağılan plastik deformasyon malzemeleri olduğu görülmüştür. Malzeme yüzeyinde manganez oranı yüksek olduğu bölgelerde aşınmanın daha az olduğu görülmüştür.
6. Yapılan aşınma deneyleri (ASTM G-133) standartına göre yapılmıştır. Numuneler değerlendirildiğinde en az aşınma hacmine 20N yük uygulanan numunelerde elde edilirken, malzeme üzerine uygulanan yük miktarına bağlı olarak malzemede meydana gelen aşınma hacminin arttığı deneyler

sonrasında tespit edilmiştir. Deney numunelerin tamamında en yüksek aşınmanın 60N yükte görüldüğü dolayısıyla malzeme üzerine uygulanan yük miktarının artırdığı bilinmekle birlikte piyasada elde edilen numunelerde bu çok daha fazla olurken üretilen numunelerde sıcak haddelemenin ve alaşım elementlerinin etkisiyle daha düşük olduğu görülmüştür.

Öneriler :

1. Yapılacak sonraki akademik çalışmalarda malzeme içerisinde yer alan alaşım elementleri miktarının farklı oranlarda yeni malzemeler ile üretim yapılarak, farklı haddeleme yöntemleri uygulayarak çelik malzemenin diğer mekanik özellikleri araştırılabilir.
2. Haddeleme ısıl işlem şartları ve ezme miktarları tekrar incelenebilir.
3. Numunelerin TEM analizleri incelenerek daha derinlemesine bir mikro yapı analizi yapılabilir.

EK AÇIKLAMALAR A.

DENEY CİHAZLARI VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ



Şekil Ek 1.1. GNR atlantis optik emisyon spektrometresi

Cihaza Ait Teknik Özellikler;

- 750 mm odak uzaklığı olan, Hibrid (PMT+CCD) optiği sayesinde, yüksek çözünürlüğe sahip, kararlı analiz ve tekrarlanabilirlik
- 120-800 nm aralığında geniş dalga boyu aralığı
- Vakum Optik sayesinde Işık ve toz geçirmeyen korumalı düşük dalga boylu elementlerde kararlı bir yatırıya sahip ve hassas analiz imkanı sunar.
- Yakma anında minimum argon tüketimine sahip Numune Tablası (Kıvılcım standı)
- Açık ve geniş numune tablasına sahip olması neticesinde 20 kg ağırlığa kadar farklı şekil ve boyuttaki numunelerin analizinde çalışma kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil Ek 1.2. Carl zeiss ultra plus

Cihazı Tanımlayan Teknik Özellikleri;

- EDX dedektörü ile kalitatif ve kantitatif kimyasal analiz,
- İletken, yarı iletken ve iletken olmayan malzemelerin yüksek çözünürlüklerde mikroyapısal analizi,
- Yüksek kaliteli görüntüler için iletken olmayan yüzeylerin Au, Au-Pd veya C ile kaplanması,
- İletken olmayan malzemelerin şarj kompanzasyonu ile mikroyapısal analizi,
- EDX dedektörü ile yüzeylerin elementel haritalanması,
- 800°C'ye kadar ve maksimum 30 dakikalık ısı işlem süresi için sıcak aşama eki kullanılarak ısı işlem görmüş numunelerin yerinde yapısal ve kimyasal analizi.



Şekil Ek 1.3. QNESS Q250M Makro sertlik ölçüm cihazı

Cihaz Teknik Özellikleri;

- Minimum 0,5 kg. yük ve Maksimum 250 kg. yük uygulanabilmekte
- 2.5 mm. bilye çapı bulunmakta
- Otomatik odaklamalı



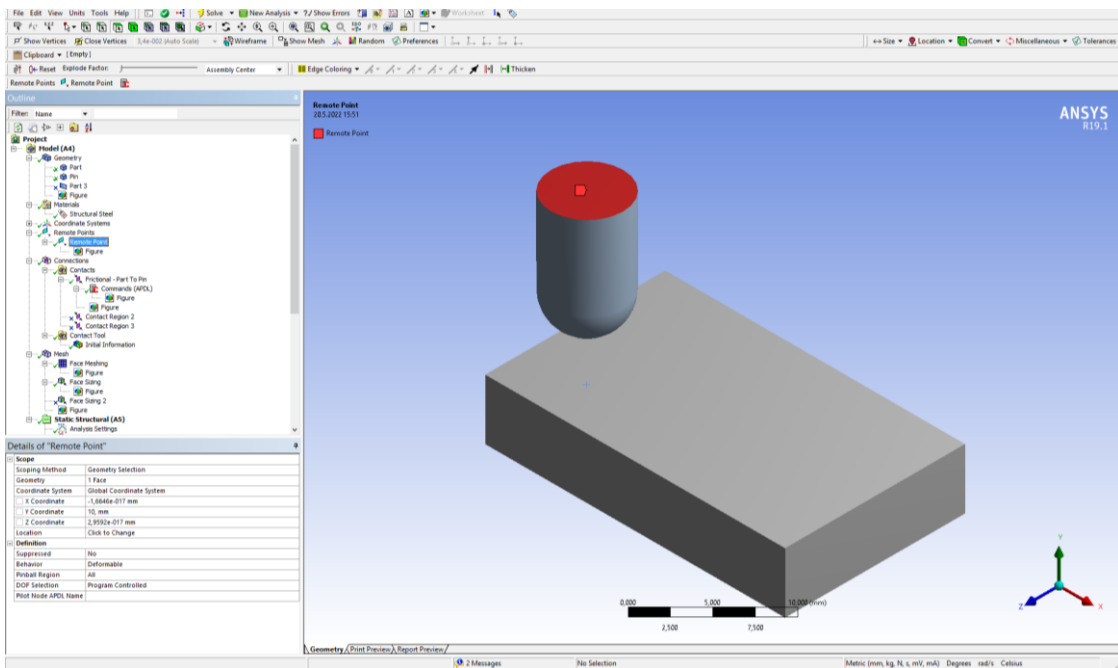
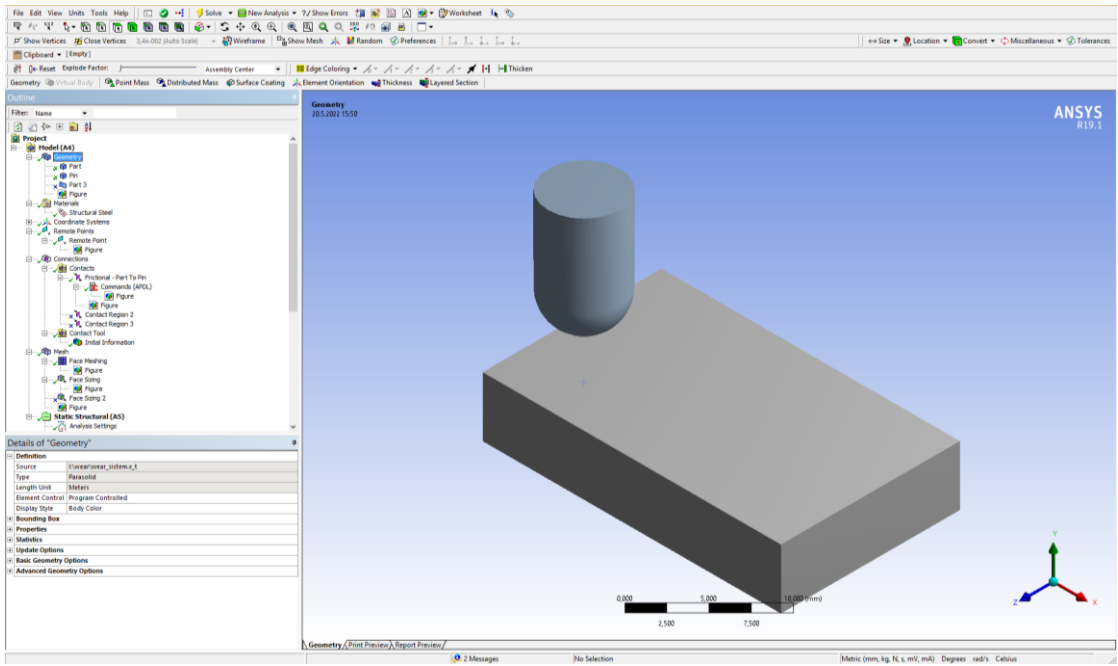
Şekil Ek 1.4. UTS tribometer t10 test cihazı

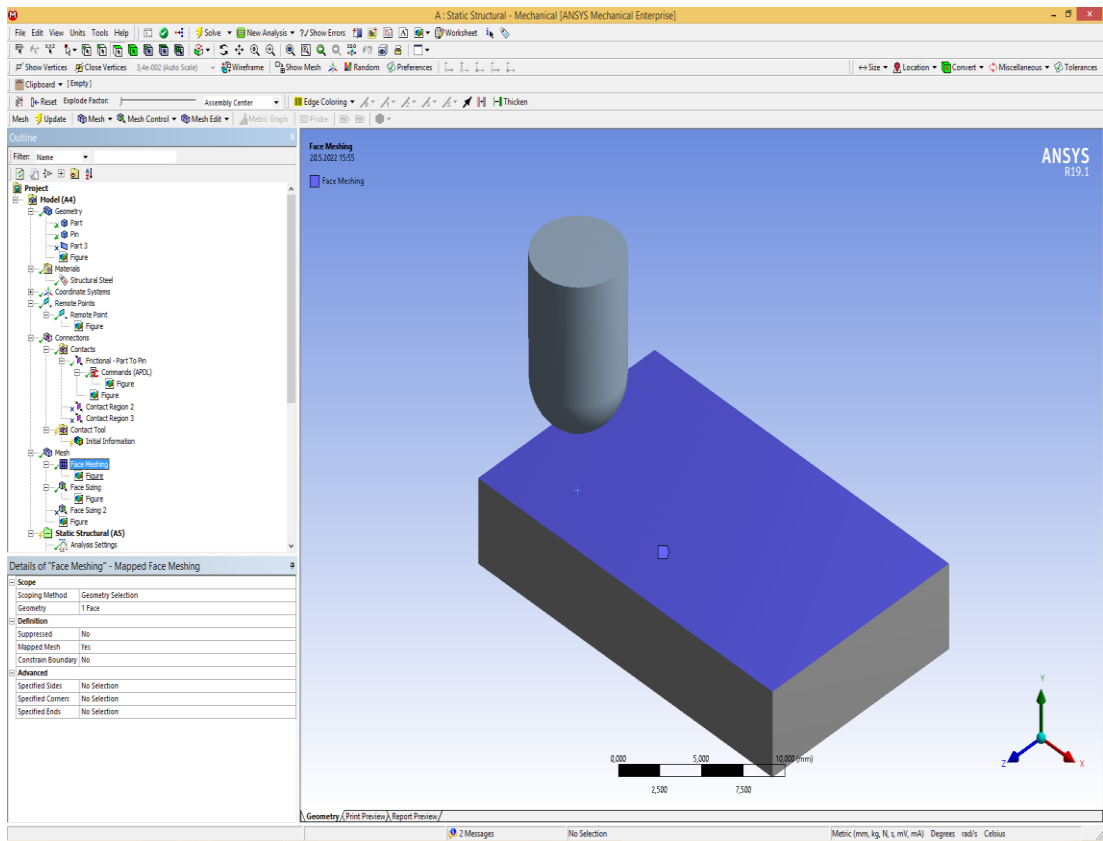
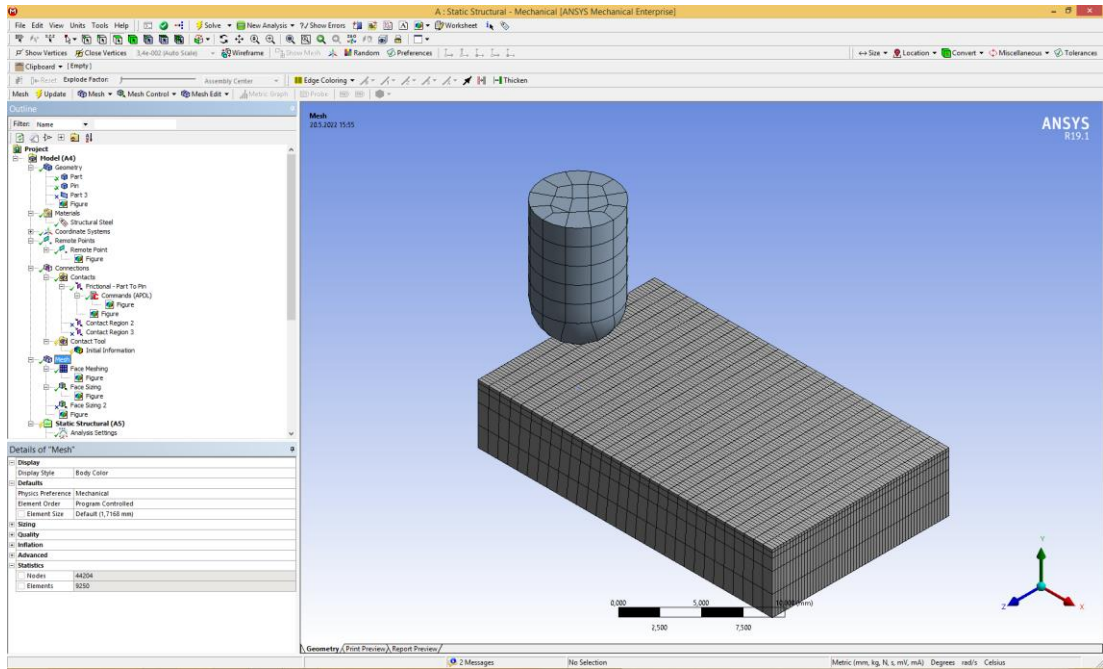
Cihaz Teknik Özellikleri;

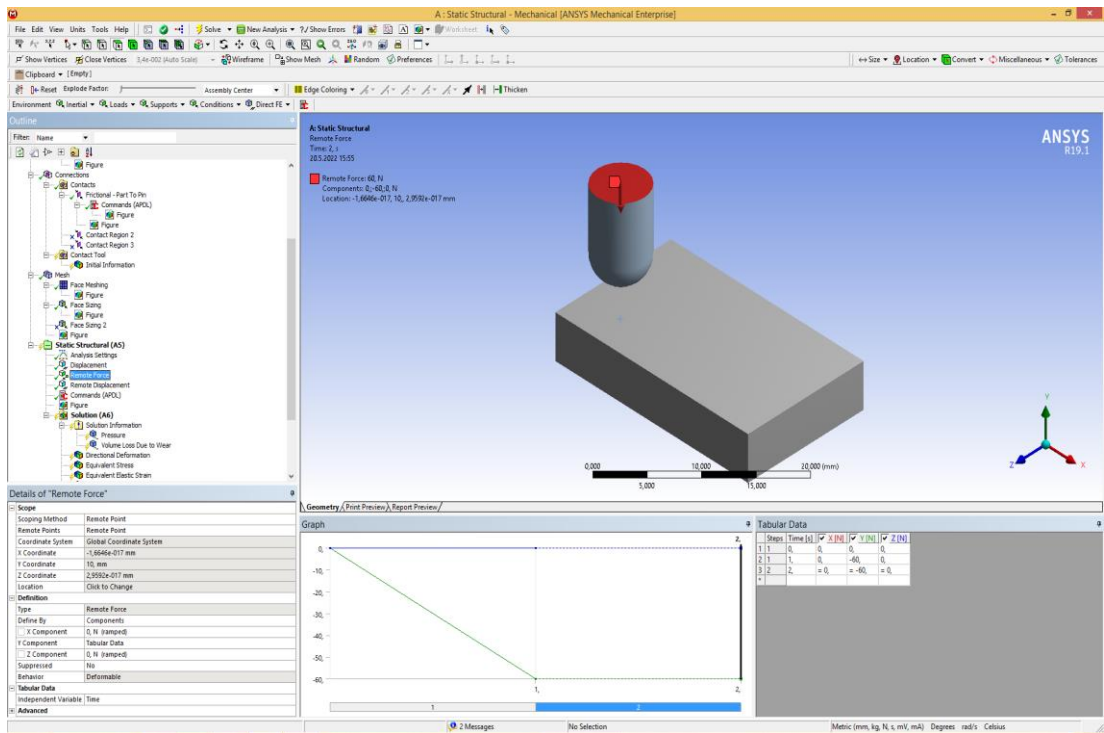
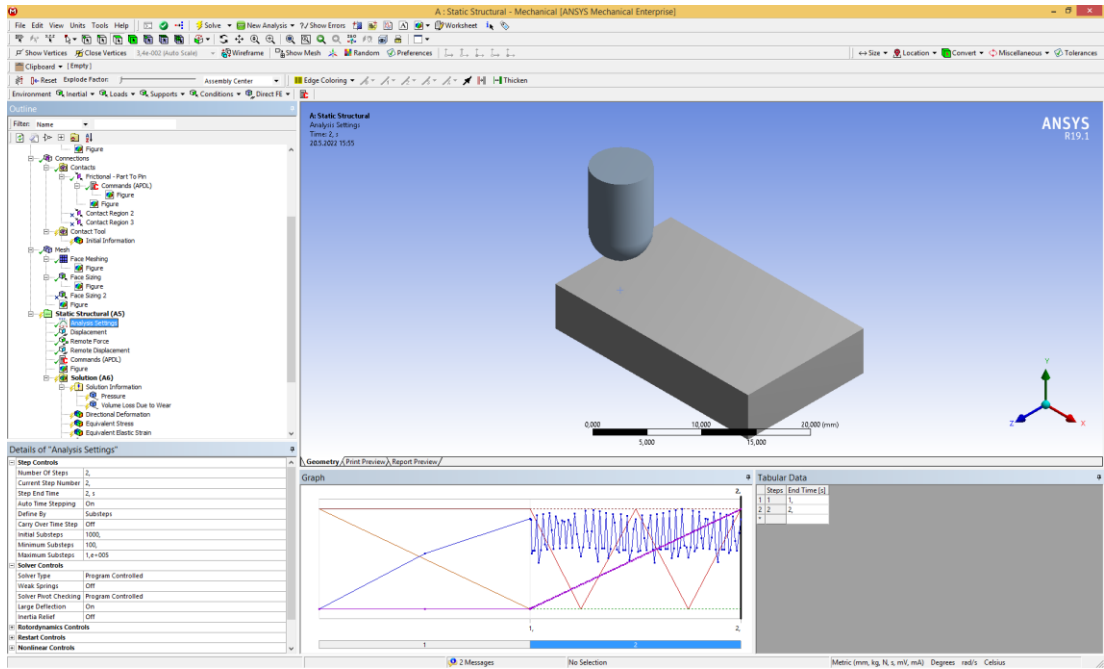
- Maksimum 6 Hz frekansta aşınma testi gerçekleştirilebilmekte
- Uygulanabilen maksimum yük 60 N
- Minimum numune kalınlığı 10 mm

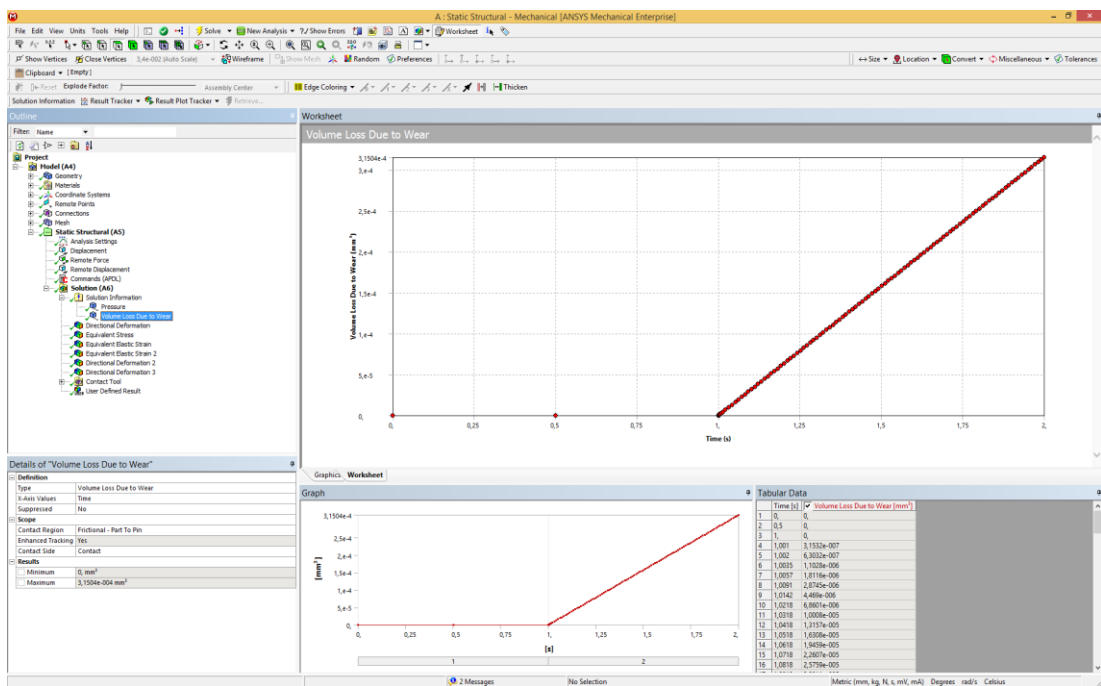
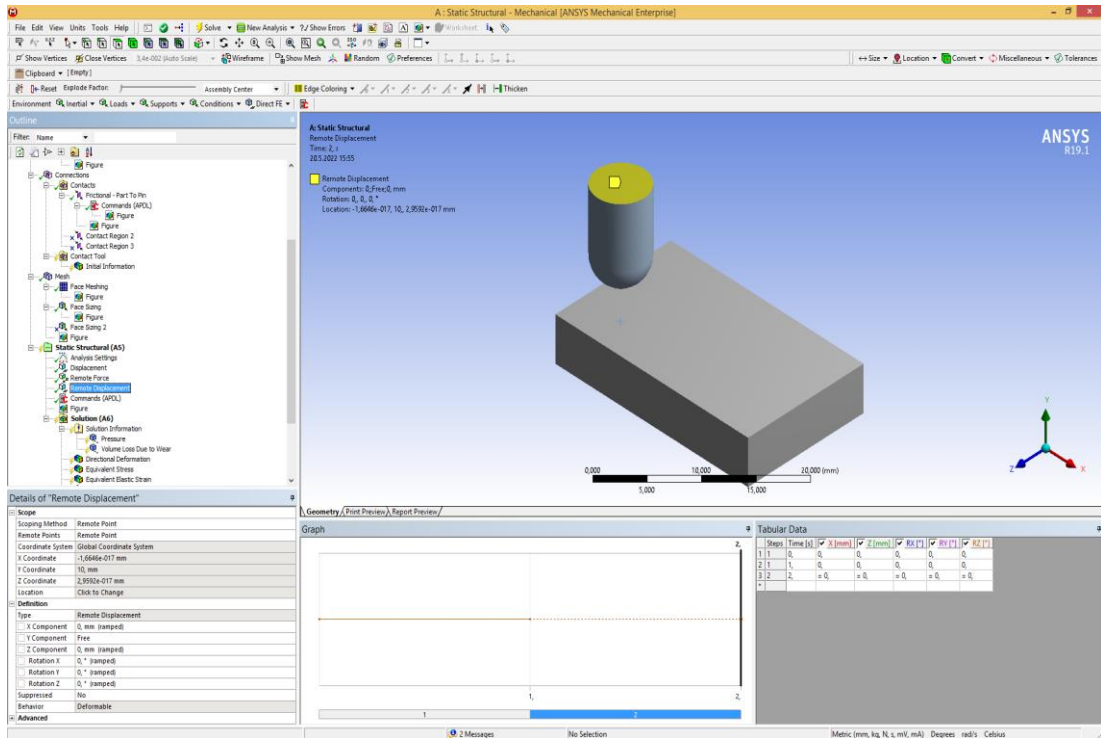
EK AÇIKLAMALAR B.

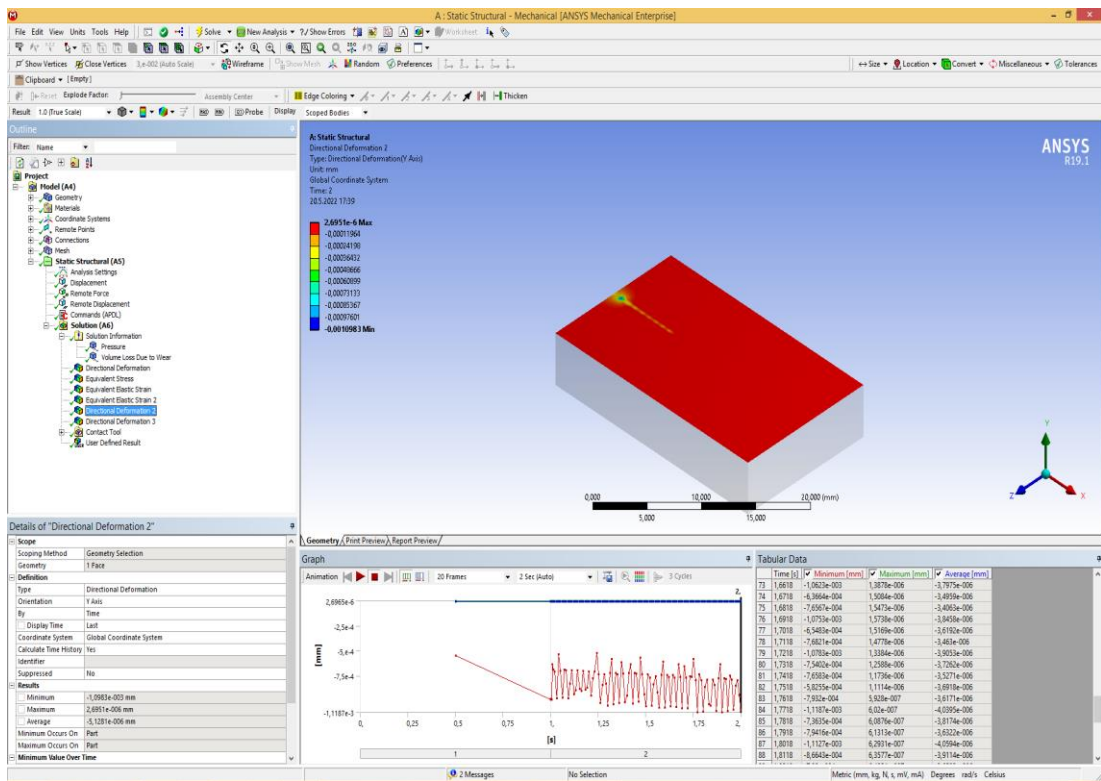
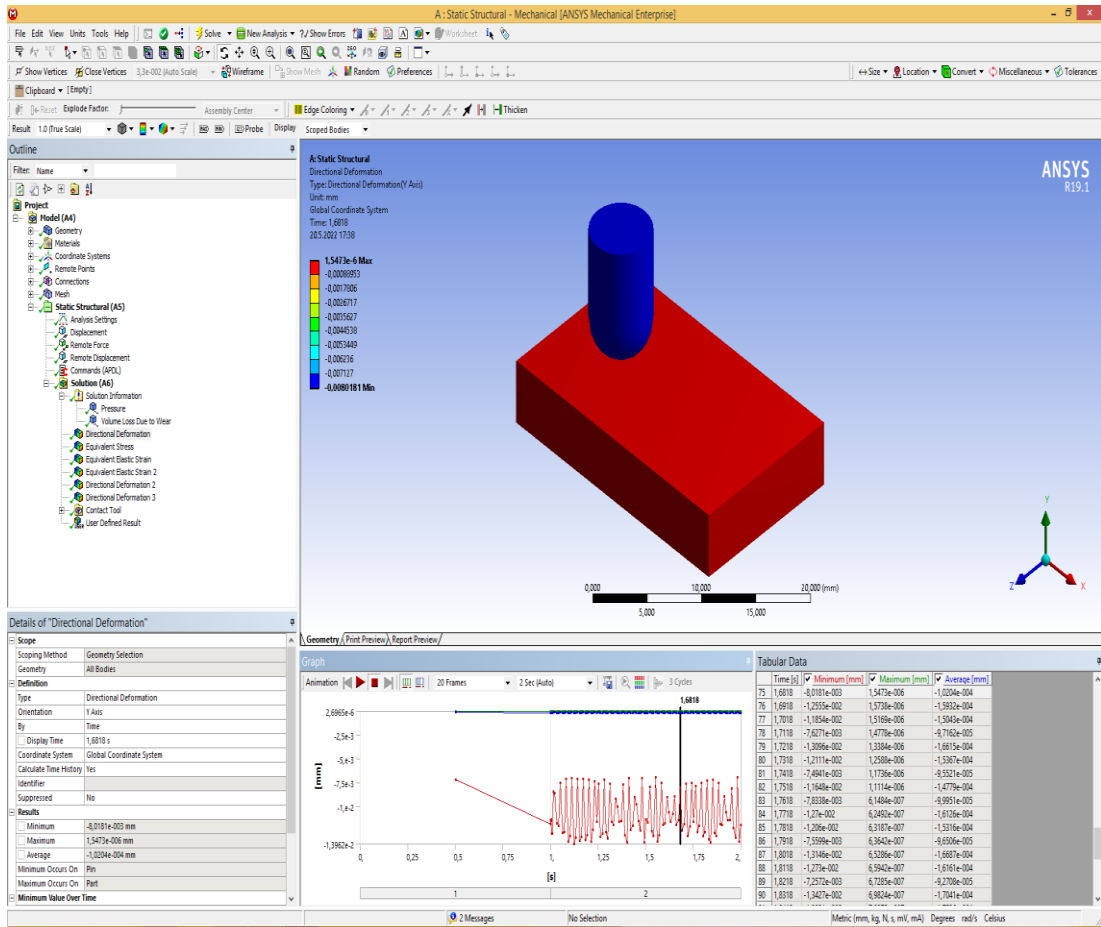
ANSYS ÇÖZÜM ADIMLARI

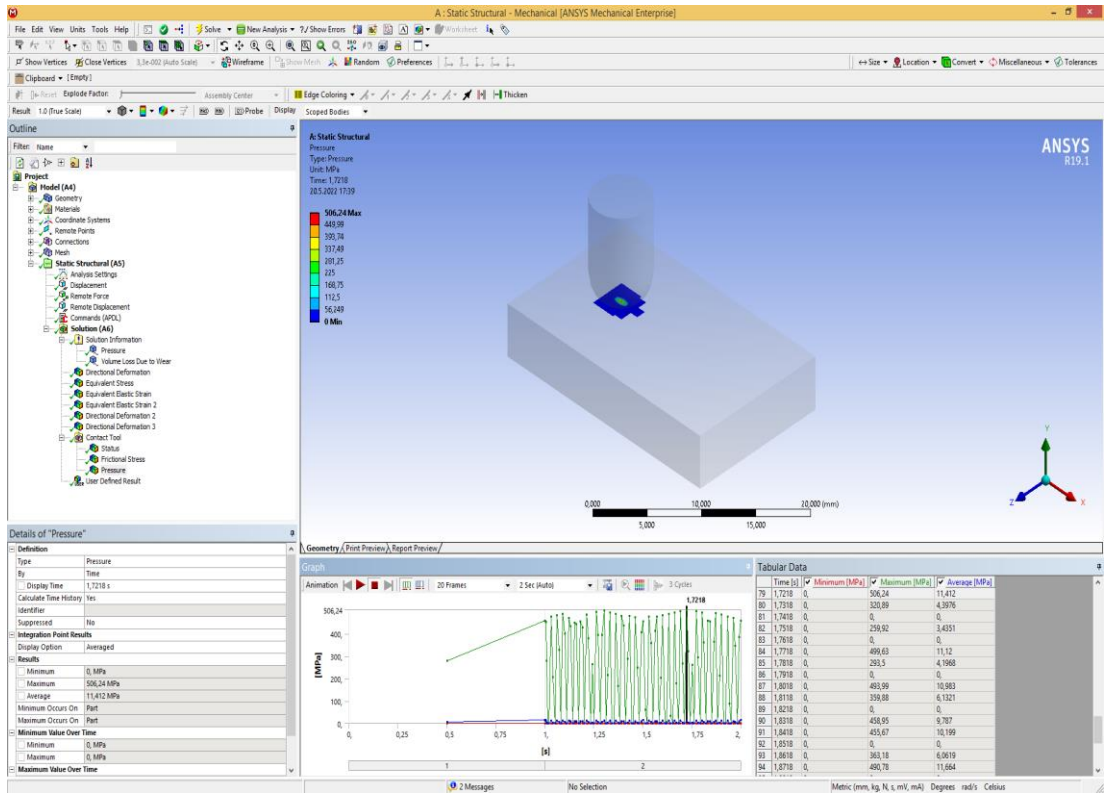












EK AÇIKLAMALAR C.

ANSYS MAKRO ÖRNEĞİ

! ANSYS Macro Lineer Aşınma için Demo olarak geliştirilmiştir
! Bu makro Santhosh M on 03-Mar-2017 tarafından yazılmıştır
! yalnızca demo amaçlı olarak yazılmıştır

finish

/clear

/filnam,Dikdörtgen_Aşındırma

/Title, Doğrusal Olmayan Mesh Kabulü ile Sert Disk Üzerinde Dikdörtgen Pimin
Simülasyonu

/prep7

wpro,,90.0

PCIRC,120,80,0,360,

BLOCK,95,105,-5,5,0,-30,

WPCSYS,-1,0

VSEL,S, , ,1

ASLV,S

LSLA,S

LSEL,S,LENGTH,,10

LESIZE,ALL, , ,2, , , ,0

LSLA,S

LSEL,S,LENGTH,,30

LESIZE,ALL, , ,10, , , ,0

!!! Create Dummy area mesh to generate good Tet mapped mesh for the volume &
clear the area mesh after Volume mesh

ET,100,281

TYPE,100

MSHAPE,1,2D

MSHKEY,1

AMESH,ALL

ET,1,187

EX,1,200e3

NUXY,1,0.3

TYPE,1

MSHAPE,1,3D

MSHKEY,0

VMESH,1

ACLEAR,ALL ! Clear Dummy area mesh

!!! Create Contact pair

et,10,174

et,11,170

KEYOPT,10,4,3 ! On nodal point - normal from contact surface
(projection-based method)

KEYOPT,10,5,1 ! Close gap with auto CNOF

KEYOPT,10,12,0 ! Standard Frictional contact

KEYOPT,11,1,1 ! High order elements

KEYOPT,11,2,0 ! Automatically constrained by the program

R,10

rmod,10,3,1. ! FKN

rmod,10,5,0. ! ICONT

rmod,10,6,-5. ! PINB

mu,10,0.2 ! Friction Co-eff

MAT,10

REAL,10

TYPE,10

VSEL,S, , ,1

ASLV,S

ASEL,R,LOC,Y,0

AMESH,ALL

ALLSEL

TYPE,11

AMESH,1

AREVERSE,1,0 ! Reverse Target Normals

ALLSEL

!!! Constrain pin in-plane motion

NSEL,S,LOC,Y,30

```
D,ALL,UX
D,ALL,UZ
```

```
!!! Apply Pressure on Pin
ASEL,R,LOC,Y,30
SFA,ALL,1,PRES,100
ALLSEL
```

```
/PSF,PRES,NORM,2,0,1
APLOT
```

```
!!!! WEAR Material details
```

```
K1=1.05E-02
H1=1
m1=1
n1=0
C5=0 ! - use contact pressure in the wear calculation.
```

```
TB,WEAR,10,,ARCD
TBFIELD,TIME,0
TBDATA,1,0,1,1,0,0 ! No wear for load step#1;
TBFIELD,TIME,1
TBDATA,1,0,1,1,0,0
TBFIELD,TIME,1.0001 ! Start Wear in load step #2
TBDATA,1,k1,H1,m1,n1,C5
TBFIELD,TIME,10 ! From time 1.0001 to End Time 10 (10 Sec is
arbitrary here ) use this wear constants
TBDATA,1,k1,H1,m1,n1,C5
```

```
! DEFINE COMPONENT FOR NLAD
```

```
ALLSEL,ALL,ALL
ESEL,S,TYPE,,10
CM,CONWEARELEM,ELEM
ALLSEL,ALL,ALL
```

```
! DEFINE NON-LINEAR ADAPTIVITY CRITERION
```

```
NLAD,CONWEARELEM,ADD,CONTACT,WEAR,0.15 ! MORPH AFTER
15 % IS LOST IN WEAR
NLAD,CONWEARELEM,ON,ALL,ALL,1,,7
NLAD,CONWEARELEM,LIST,ALL,ALL
```

```
/solu
antype,0 ! static analysis
```

```
nlgeom,on          ! Turn on Large Deformation Effects
outres,all,all
```

```
!!! result items to track during solution.
```

```
nlhist,pair,CONT_PRE_1,cont,pres,10      ! Contact Pressure
nlhist,pair,CONT_WEAR_1,cont,wear,10     ! Wear Volume
```

```
! ***** Establish Initial Contact Pressure *****
```

```
TIME,1.
NSUB,2,10,2,OFF
SOLVE
```

```
! ***** Solve for wear *****
```

```
TIME,2.0
NSUB,200,1000,25,
SOLVE
```

```
/post1
```

```
/PLOPTS,MINM,0      ! Min-Max Symbol off
/EFACET,4           ! For smooth display
```

```
set,last
plnsol,u,sum,2
PLNSOL, CONT,PRES, 2,1.0
```

```
ETABLE,Wear_Y_i,NMISC, 176
ESEL,S,ENAME,,174
```

```
! *GET,TNSS,ACTIVE,0,SOLU,NCMSS          ! Total number of sub
steps
*GET,TNSS,ACTIVE,,SET,NSET              ! Total number of result sets
(undocumented)
*DIM,WearResults_1,ARRAY,TNSS,4,1      ! Define TABLE to get the Time
Vs Wear thickness
*DIM,WearResults_2,TABLE,TNSS,4,1      ! Define TABLE to get the Time
Vs Wear thickness
```

```
/post26
```

```
lines,1000
numvar,100
esol,2,375,,nmisc,176
```

```
VGET,WearResults_1(1,1),1,0
VGET,WearResults_1(1,2),2,0
```

```
!!! Calculate the cumulative wear thickness, considering remeshing
!!! Calculate Sliding Distance = Sliding Velocity * Time
```

```
Sli_Velo= 10471.98      ! Sliding Velocity mm/sec
NLADOFFSET=0
```

```
*DO,i,2,TNSS
  *IF,WearResults_1(i,2),NE,0,THEN
    WearResults_1(i,3)=WearResults_1(i,2)+NLADOFFSET
  *ELSE
    NLADOFFSET=WearResults_1(i-1,3)
    WearResults_1(i,3)=WearResults_1(i,2)+NLADOFFSET
  *ENDIF
```

```
    WearResults_1(i,4)=Sli_Velo*(WearResults_1(i,1)-1.0)/1000    ! mm to m
conversion
```

```
*ENDDO
```

```
*MFUN,WearResults_2(1,1),COPY,WearResults_1(1,1)
*MFUN,WearResults_2(1,2),COPY,WearResults_1(1,2)
*MFUN,WearResults_2(1,3),COPY,WearResults_1(1,3)
*MFUN,WearResults_2(1,4),COPY,WearResults_1(1,4)
```

```
/show,png
```

```
/AXLAB,X,Time [s]
/AXLAB,Y,Wear Thickness [mm]
/Title, Time Vs Wear thickness
/Title, Time Vs Wear thickness
*VPLTO,WearResults_2(1,1),WearResults_2(1,3)
```

```
/show,close
```

```
/show,png
```

```
/AXLAB,X,Sliding Distance [m]
/AXLAB,Y,Wear Thickness [mm]
/Title, Sliding Distance Vs Wear thickness
```



```
/Title, Sliding Distance Vs Wear thickness  
*VPLTO,WearResults_2(1,4),WearResults_2(1,3)
```

```
/show,close
```

KAYNAKLAR

Achamyeleh T., Şahin Y., "Investigation of Mechanical Properties of Ribbed Reinforcement Steel Bars: A Case Study on Ethiopian Construction Industry, *International Journal of Steel Structures*, (2019)

Anon., "Classification and designation of carbon and low-alloy steels, ASM Handbook, " 10th ed., Vol. 1, *ASM International*, Materials Park, OH, pp. 140–194 (1990).

Ansys Inc., " Ansys wear verification problems in 3d", 2015.

AnyCasting™ Advanced Casting Simulation Software "anyPRE A Pre-Processor of AnyCasting", *Anycasting software co. ltd.*, 6-7 (2021).

Archard, J. F., "Contact and Rubbing of Flat Surfaces". *Journal of Applied Physics*, 24(8) 981 – 988, (1953).

Askeland D.R, "The Science and Engineering of Materials", *Chapman&Hall*, London, (1992)

ASM handbook, Steels, H. S. L. A., Volume 1, "properties and selection: irons, steels, and high performance alloys section: carbon and low-alloy steels". The Materials Information Company, 972-974 (2005).

ASM International., "Casting Design and Performance", USA,73-80 (2009).

ASM International, ASM Handbook Volume 15 "Casting", Ohio, (1998).

Avinal A., Duhbacı T., B., Tosun C., Cengiz U., Ersen O., Bilgiç M. "Determination of Cleaner Production Options in the Iron and Steel Industry: Case Study for an Induction Furnace Plant", 2016.

Aydoğan K., "Haddelme prosesinde malzeme karakteristiğindeki değişimlerin incelenmesi ve modellenmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 12-21, (2007).

Aytaç, A., Işık, M. S., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K., & Hüseyin, İ. P. E. K., AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 17(2), 139-165 (2018).

Akyalçın B., Yılmaz Ş., Çeliklerin Haddelenmesinde Malzeme Modelleme, *IV.Demir-Çelik Kongresi*, İTÜ Makine Fakültesi, (2008).

Balogun S.A., Esezobor D.E., Agunsoye J.O., “Effect of Melting Temperature on the Wear Characteristics of Austenitic Manganese Steel”, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 7, No.3, 277-289 (2008)

Basak H., Goktas H.H., “Burnishing process on al-alloy and optimization of surface roughness and surface hardness by fuzzy logic”, *Materials and Design*, 30, 1275–1281 (2009).

Bhanu, V. D. S., Malleshham, D. P., “Sheet metal rolling using two roller powered machine”, *International Journal in IT and Engineering*, 4(1), 1-12 (2016).

Bodur İ., “Yüzey temizleme granüllerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri”, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 15-22 (2006).

Bose K. K., Penchaliah R. “3-D FEM Wear Prediction of Brass Sliding against Bearing Steel Using Constant Contact Pressure Approximation Technique”, *Tribology Online*, doi: 10.2474/trol.14.194, 14(4) 194–207 (2019).

Byun, J. Y., Lee, C. J., Jang, J. S., & Choi, W. S. “Fundamental Behavior Analysis of SCM440 Steel on Friction and Wear”, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 15(1), 74-80 (2016).

Campbell, J., “Invisible Macrodefects in Castings”, *Journal De Physique IV*, 3: 861-872 (1993).

Campbell, J., “Casting (Second Edition)”, Butterworth-Heinemann, *Oxford*, United Kingdom, 17-98. (2003).

Campbell, J., “Castings Practice The 10 Rules of Castings”, *Butterworth-Heinemann, Oxford*, United Kingdom, 9-113, (2004).

Capudean, B., “Carbon content, steel classifications, and alloy steels”, *Practical Welding Today*, (2003).

Čikara D., Rakin M., Todić A., “Cast Steel-SiC Composites as Wear Resistant Materials”, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade. All rights reserved, *FME Transactions* 37, 151-155, (2009)

Chintha, A. R., “Metallurgical aspects of steels designed to resist abrasion, and impact-abrasion wear”, *Materials Science and Technology*, 35(10), 1133-1148(2019).

Cook R. D. “Concepts and applications of finite element analysis”. New York: John Wiley and Sons, (1981).

Çapan L., “Metallere Plastik Şekil Verme”, *Çağlayan Kitabevi*, 207 (2003)

Çengel, Y., Cimbala, J.M., “Akışkanlar Mekaniğini Temelleri ve Uygulamaları”, *Güven Kitabevi*, Ankara, 328-351 (2008).

Çolak M. “ Döküm Endüstrisinde Ergitme, Endüksiyon Ocakları ve Spektral Analiz Hesaplamaları”, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, *Demir Çelik Store, Demir Çelik, Metal Mamulleri, Makine & Sanayi Dergisi*, (2011)

Dai, B., Gong, H., Kong, D. J., & Zhou, Z. M., “Simulation Analysis and Optimization of Die-Casting for Automobile Steering Valve Shell”, *Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science)*, 11(2016).

Demir, C., “Wear behaviour analysis of different metals by the finite element method”, PhD Thesis., Institute of Science And Technology, (2020).

Elsawy, E. E. T., El-Hebeary, M. R., and El Mahallawi, I. S. E., “Effect of manganese, silicon and chromium additions on microstructure and wear characteristics of grey cast iron for sugar industries applications.”, *Wear*, 390, 113-124., (2017).

Erbul A., “Dökme demirlerin kum kalıba döküm tekniğinde yolluksistemlerinin dizaynı ve simülasyon sonuçlarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim dalı imal usulleri programı, *Yıldız teknik üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2017).

Erdem, V. E., Arisoy, C. F., Başman, G., & Şeşen, M. K., “SAE 1060 çeliğinin erozif aşınma özelliklerinin aşınmaya dirençli ticari çelik plakalarla karşılaştırılması”., İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, *12. Uluslararası Metalurji –Malzeme Kongresi*, 137 (2005)

Fabrizi, A., Ferraro, S., Timelli, G. (2014). The influence of Fe, Mn and Cr additions on the formation of iron-rich intermetallic phases in an Al-Si die-casting alloy, *Springer*, Cham. In Shape casting: 5th international symposium, 277-284 (2014).

Flemings, M.C., “Solidification Processing”, *McGraw-Hill Series In Materials Science and Engineering*, New York, 219-229.(1974).

Fiaz R., “Classification of Steel”, *Imtisal Near*, (2011).

Friedrich, H. E. and Mordike, B. L., "Magnesium technology metallurgy", *Design Data, Applications*, Springer, Berlin, 80–124 (2006).

Gusel L., Rudolf R., Kosec B., "Analysis of A Strain Rate Field in Cold Formed Material Using The Visioplasticity Method", *Metalurgija*, 48, 2, 103–107 (2009).

Gülgen S. İ., “İş makineleri Tırnakları Üretiminde Kullanılan Az Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 37-43 (2008).

Güngörmüş K.V., “Az Alaşımli İmalat ve Yapı Çeliklerinin Zayıf Asidik Ortamdaki Ağırlık Kaybına Mikroyapı ve Alaşım Elementlerinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 31-33 (2008).

Gürol, U., ve Can, K. S., “Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel”., Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy, 56(2), 171-182, (2020).

Güven A.ve Özcan M.T., “ Sade karbonlu çeliklerin mineral ortamlarda abrasive aşınmasında malzeme sertliğinin aşınma üzerine etkisi”, *Mühendis ve Makina*, Cilt:46 Sayı:545, 26-33 (2005).

Gülmez T., İmal usulleri “Döküm Ders Notları”, *İTÜ Makine Fakültesi Makina mühendisliği*

Handbook, A. S. M., “Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys”. *ASM international*, 1, 140-194 (1990).

Huyett, G. L., Engineering Handbook, technical information., (2000).

Ikumapayi O.M., Akinlabi E.T., Onu P., Abolusoro O.P., "Rolling operation in metal forming: Process and principles – A brief study", *Materials Today: Proceedings*, (2020)

Kah, P., Layus, P., and Martikainen, J., “Influence of alloying elements on the low-temperature properties of steel.” *In The Twenty-fifth International Ocean and Polar Engineering Conference.*, (2015).

Kalandyk, B., Tęcza, G., Zapała, R., & Sobula, S., “Cast high-manganese steel—the effect of microstructure on abrasive wear behaviour in Miller test”, *Archives of Foundry Engineering*, 15 (2015).

Karpe B., Kosec B., Kolenko T., Bizjak M., "Heat Transfer Analyses Of Continuous Casting By Free Jet Melt spinning Device", *Metalurgija*, 50, 1, 13–16 (2011).

Kato, K., Adachi, K., “Wear Mechanisms”, in Modern Tribology Handbook 1, *Press LLC*, (2001).

Keehan, E., Karlsson, L., Andrén, H. O., & Bhadeshia, H. K. D. H., Influence of carbon, manganese and nickel on microstructure and properties of strong steel weld metals: Part 3–Increased strength resulting from carbon additions. Science and Technology of Welding and Joining, 11(1), 19-24., (2006).

Kocabekir İ., Tunca N., Özer O., Tümer C., Eker C., Özçelik S., Çuğ H., Ahlatçı H., “Demir yolu ray sistemlerindeki kullanılan hadfield çeliğinin aşınma davranışı”, *2. Uluslar arası raylı sistemler sempozyumu (ISERSE13)*, Karabük, (2013).

Krauss, George & Grossmann, M. A. (Marcus Aurelius), “Principles of heat treatment of steel”. *American Society for Metals*, Metals Park, Ohio 5-290 (1980).

Krauss G., “Steels: Heat Treatment and Processing Principles”, ASM International, Materials Park, OH, 497 (1990).

Krishnamoorthy V. S., “Materials and Composition Analysis in Casting Using QFD and Statistical Plots”, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering Thiruvananthapuram, India, *International Journal of Research in Manufacturing Technology & Management*, DOA : 28102016, Volume 4, Issue 2, July-December, 10-19 (2016)

Kurgan N., “Triboloji ders notları”, *Samsun Ondokuzmayıs Üniversitesi*, (75-76), 2020

Leslie W.C., “The Physical Metallurgy of Steels”, *McGraw-Hill*, New York, (1981).

Lindroos M., “Abrasive and impact wear of high strength steels – Experimental and numerical approach on deformation and wear”, Tampere Wear Center DMS/*Tampere University of Technology*, Fimecc Doctoral School Seminer, (2015)

Li, J., Xu, T. G., & Zhu, J. J., “Simulation Analysis and Optimization of Die-Casting for Automobile Steering Serve Shell”. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 580: 7 (2017).

Li C. X., Surface Engineering, “Wear and Wear Mechanism”, *The University of Birmingham*, UK

Lorusso V. L., H. N., Svoboda, H. G., Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of dual phase steels. *Procedia Materials Science* 8: 1047–1056 , <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.167>, (2015).

Ma, S., & Zhang, J., “Wear resistant high boron cast alloy-a review”, *Rev. Adv. Mater. Sci*, 44(1), 54-62 (2016).

Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Metalurji Alanı, “Endüksiyon Ocağı”, *Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara, 33-34 (2006).

Min M.C., “Effect of Alloying Elements on Steels”, Inspector Knowledge Series 04-0, E Book, 57, (2021)

Narin Ü., “Alaşımın iç yapısı ve özellikleri”, *Akdeniz Üniversitesi Basım Evi* Yayın No:37, 46-73 (1990).

Ning, Z., “Visualization for Runner System Design in Die Casting”, Phd Thesis, The Ohio State University, 2009

Onaran K., “Malzeme Bilimi”, 298-299 (1993).

Özçatalbaş Y., “Machinability of steels: the relationship between machinability and chemical composition, microstructure and also mechanical properties”, *Journal of Polytechnic*, 23(2): 457-482 (2020).

Podra P., Andersson S., “Simulating sliding wear with finite element method”, *Tribology International* 32 71–81(1999).

- Potter, M.C., Wiggert, D.C., “Fluid Mechanics”, *Schaum’s Outline Series McGraw-Hill*, New York, 47-50 (2008).
- Poweleit D., Monroe R., “Steel Casting Mechanical Properties”, *Steel Founders’ Society of America*, Crystal Lake, Illinois, (2005)
- Purkar, P. P., “Design optimization for obtaining zero defects in steel casting”, Master of Science programme, *Jönköping University*, (2019)
- Ravi, B., “Metal Casting Computer-Aided Desing and Analysis”, *Prencice-Hall of India Private Limited*, New Delhi, 1-24 ve 69-83 (2006).
- Rentz, O., Jochum, R., Schultmann, F., *Report on Best Available Techniques (BAT) in the German ferrous metals processing industry*. DFIU Karlsruhe, March. (1999).
- Ruddle, R.W., “The Runing and Gating of Sand Casting”, *The Institute of Metals.*, London,1-168. (1956).
- Ross R. B., *Metallic Materials Specification Handbook*, 4th ed., *Chapman & Hall*, London, (1992).
- Singh V. K., “Software development for gating and riser design,” **Indian institute of Technology** Roorkee, Department of mechanical and industrial engineering, Roorkee, (2003).
- Stefanescu, D.M., “Science and Engineering of Casting Solidification”, *Springer*, New York,1-3 ve 75-125 (2009).
- Stepanov, N. D., Yurchenko, N. Y., Tikhonovsky, M. A., & Salishchev, G. A., “Effect of carbon content and annealing on structure and hardness of the CoCrFeNiMn-based high entropy alloys”, *Journal of Alloys and Compounds*, 687, 59-71(2016).
- Sunthorn, S., Kittiphath R., “The effect on rolling mill of waviness in hot rolled steel”, *Int. J. Mater. Metall. Eng.*, (2014).
- Sutton, C., Eng, T,L., Ficme, H., “The Basic Principles of Fluid Dynamics Applied to Running Systems of Casting”, *The Instutue of Casting Metals Engineers, UK*, 10-88 (2007).
- Şenel M.C., “Döküm Yöntemleri”, *OndokuzMayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ders Notu*
- Tabur M. ve İzçiler M., “Hardox 500 ve Hardox 600 Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Davranışlarının Karşılaştırılması”, *SETSCI Conference Proceedings*, 4 (1): 56-59 (2019).
- Temiz V., “Triboloji”, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Makina Elemanları I, Ders notu*
- Thompson, J. M., & Thompson, M. K., “A Proposal for the Calculation of Wear”, *In Proceedings Of The International Ansys Users Conference*, Pittsburgh, (2006)

Thelning, K. E., “Steel and its heat treatment”. *Butterworth-heinemann*, London, UK., 45-93 (2013).

Topçuoğlu O., “Solidworks Flow Simulation, Solidworks Simulation”, *Armada Yazılım*, (2020)

Totten, G. E. (Ed.), “Steel Heat Treatment Handbook-2 Volume Set”., *CRC press*. 17-20 (2006).

Tunçay T., “A356 Alüminyum döküm alaşımlarında sıvı metal hareketinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi”, Doktora tezi Metal eğitimi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2012).

Ulewicz, R., Mazur, M., & Bokůvka, O., “Structure and mechanical properties of fine-grained steels”, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 41(2), 111-115, 2013

Uras A., Okursoy, R. “Pulluk Uç Demirlerindeki Aşınmaların Görüntü İşleme Tekniğinden Yararlanılarak Belirlenmesi”, *Journal of Agricultural Sciences*, 13(03), 253-260 (2007).

Ülker A., “Kum kalıba dökümde farklı yolluk, besleyici tasarım yöntemlerinin kıyaslanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 68-(2006).

Wang, X., Chen, Y., Wei, S., Zuo, L., & Mao, F., “Effect of carbon content on abrasive impact wear behavior of Cr-Si-Mn low alloy wear resistant cast steels”, *Frontiers in Materials*, 6, 153 (2019).

Wegst, C. W., “Stahlschlüssel (key to steel)”, *Arkan Esfahan publication.*, (1997).

Williams, R. V., “Control and analysis in iron and steelmaking”, *Elsevier*, (2016).

Varol T., “Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, (2016).

Vukelic D., Miljanic D., Randjelovic S., Budak I., Dzunic D., Eric M., Pantic M., “A burnishing process based on the optimal depth of workpiece penetration, *Materials and technology*, 47, 1, 43–51, (2013).

Yamak H. “ Talaşsız Üretim Yöntemleri 1” , *OndokuzMayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ders Notu*

Yılmaz, R., Türkmen, M., & Fıçıcı, F. “Hardoks 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi”, *International Iron and Steel Symposium*, Karabük-Turkey, 522-530 (2012).

Yu, Kuang-O., “Modeling for Casting and Solidification Processing”, *Marcel Dekker*, New York, 1-54 (2002).

Zhang S. and C. Wu, Ferrous Materials, *Metallurgical Industry Press*, Beijing, (1992).

internet: Kaya Demir Çelik , Teknik Bilgiler , Üçüncü Kısım: Alaşımli Çelikler
<http://kayademircelik.com/2016/04/28/teknik-bilgiler/>, (2021).

internet : Uslular hadde çeliklerin sınıflandırılması
<https://www.uslularhadde.com/celiklerin-siniflandirilmesi>, (2021)

İnternet: Etna Çelik, “Karbonlu Çelikler” <https://www.etnacelik.com.tr/karbonlu-celikler/> (2021).

İnternet : Pinterest <https://tr.pinterest.com/pin/699676492092042224/>, (2021)

İnternet: Sciencehook “Bernoulli principle”, <https://sciencehook.com/tag/bernoullis-equation/>, (2020).

İnternet: “ Kum Kalıba Döküm”,
<http://metalurjistman.blogspot.com/2012/01/kum-kaliba-dokum.html>, (2012).

internet: knowledge/mechanical-testing-notched-bar-or-impact-testing-071, (2021)

internet: İzmir Çelik, “Alaşım elementlerinin çelik yapısına etkisi”,
<https://docplayer.biz.tr/25256339-Izmir-celik-en-guclu-sermayemiz-memnun-musterimiz.html>, (2021)

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan BİLDİK; ilk, orta ve lise öğrenimini Karabükte tamamladı. Karabük D.Ç. Lisesinden mezun oldu. 16 yaşında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp hazırlık ve lisans eğitimi sonrası mezun oldu. 2008 yılında Karabük İl Özel İdare Müdürlüğünde Atölye Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2010 yılında ataması gerçekleşerek Trafik Araştırma Mühendisi olarak yaklaşık 2 yıl görevine devam etti. Sonrasında Merkez Atölyesine atanarak 3 yıl kadar Merkez Atölye Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2016 yılında Tesisler ve Bakım Başmühendisliği Makine ve İkmal Mühendisi olarak göreve başlamış yaklaşık 3,5 yıl kadar görevini yerine getirmiştir. 2020 yılında Makine ve İkmal Başmühendiliğine Eğitim Mühendisliği Kadrosuna atanmış, 2021 yılı Şubat ayına kadar Mühendislik görevini yerine getirmiş, Görevi sırasında birçok projede Kontrol Mühendisliği görevlerini üstlemiştir. 2016 Yılında Maliye Bakanlığının Düzenlemiş olduğu İç denetim Eğitimi ve sınavını başarı ile tamamlayarak İç denetçi sertifikası almış, İç Denetim Birimi başkanlığına sınavla 2021 yılında ataması gerçekleşmiş halen aynı kadroda çalışmaya devam etmektedir.