

**DÖKÜM YÖNTEMİ İLE TREN TEKERLEĞİ  
ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Harun ÇUĞ**

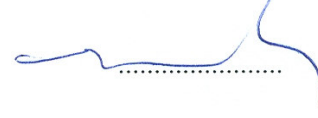
**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır.**

**KARABÜK  
Nisan 2009**

Harun ÇUĞ tarafından hazırlanan "DÖKÜM YÖNTEMİ İLE TREN TEKERLEĞİ ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ercan CANDAN

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 30/04/2009

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Prof. Dr. Ercan CANDAN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (KBÜ)



28/05/2009

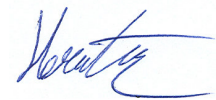
KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Fen Bilimleri 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.”*



Harun ÇUĞ

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DÖKÜM YÖNTEMİ İLE TREN TEKERLEĞİ ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Harun ÇUĞ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Ercan CANDAN**

**Nisan 2009, 67 sayfa**

Ülkemizde tren tekerleği, ray ve demiryolu elektronik ekipmanları ne yazık ki üretilmemektedir. Son yıllarda, Karabük Demir-Çelik Fabrikalarında (Kardemir) yapılan yatırımlarla yerli ray üretimine öncelik verilerek bir adım atılmıştır. Ancak, tren tekerleği üretiminde dışa bağımlılık devam etmektedir. Tekerlekler Romanya'dan veya Ukrayna'dan, raylar ise Güney Afrika'dan satın alınmaktadır. Demiryollarının trilyonluk zararlarının dikkate değer bölümünü bu alımlar oluşturmaktadır.

Tren tekerlekleri, geleneksel olarak çelik ingotlardan dövme olarak üretilmektedir. Ancak, dövme işlemi için 8.000 - 10.000 ton gibi çok büyük dövme preslerine ve hadde aparatlarına ihtiyaç olduğundan yatırım ve işletim maliyetleri çok yüksektir. Son yıllarda, metalurji alanındaki gelişmelere bağlı olarak USA, Hindistan ve Güney

Afrika’da tren tekerleği doğrudan döküm olarak üretilmektedir.

Bu çalışmanın amacı döküm yöntemiyle tren tekerleğinin üretilebilirliğini araştırmaktır. USA, Hindistan ve Güney Afrika’da tekerlekler doğrudan karbon kalıba döküm olarak üretilmektedir. Doğrudan döküm için gerekli alaşım oranları üretici firmalarca patentlendirilmiş durumdadır. Dolayısıyla, bu çalışma tren tekerleği dökümü için mevcut patent kapsamı dışında kalan ve standartlarca belirtilen mekanik özellikler için doğrudan döküme uygun alaşım elemanı ve oranlarının araştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

**Anahtar Sözcükler** : Tren tekerleği, Alçak basınçlı döküm.

**Bilim Kodu** : 626.20.01

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **AN INVESTIGATION ON THE PRODUCIBILITY OF TRAIN WHEELS BY CASTING METHOD**

**Harun ÇUĞ**

**Karabuk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Metal Education**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Ercan CANDAN**

**April 2009, 67 pages**

It is regret to say that train wheels, rails and electrical equipments for railway industry are not produced in Turkey. A step forward has been taken by Karabuk Iron and Steel Factories (Kardemir) for the production of rails by considerable amount of investments in recent years. Therefore, it can be said that Turkey is totally bound to foreign manufacturers for the railway industry. Train wheels are supplied either from Ukraina or Romania, while the rails are supplied from South Africa. Such purchases have considerable share on the loss of Turkish Railway Company.

Traditionally, train wheels are produced by forging of steel ingots. However, initial investment cost is considerably high due to requirement of very high capacity forging equipments such as 8.000 - 10.000 tons capacity. Train wheels are directly cast in the USA, India and South Africa thanks to developments in Metallurgy engineering in recent years.

The aim of this study was to investigate the producibility of train wheels directly by casting method. Train wheels in the USA, India and South Africa are produced by casting of the melt in a carbon mould. Certain alloying compositions, suitable for direct casting, have been patented by the producers. In this frame, investigation of proper alloying composition and solidification modes are the mainstream of this project.

**Keywords** : Train wheels, Antigravity casting, Low pressure casting.

**Science Code** : 626.20.01

## TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince değerli katkı ve yardımları ile beni yönlendiren hocam Prof.Dr. Ercan CANDAN'a, simülasyon çalıőmalarındaki katkılarından dolayı Sakarya Üniversitesi'nde öğretim üyesi olan Doç.Dr. Ramazan KAYIKÇI'ya, yine kıymetli yardımlarından faydalandığım bölüm hocalarım Doç.Dr. Süleyman GÜNDÜZ'e, Doç.Dr. Mustafa ACARER'e, Yrd.Doç.Dr. Yunus TÜREN'e ve değerli arkadaşım Arő.Gör. Erkan KOÇ'a, teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer aileme sonsuz őükranlarımı sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 TREN TEKERLEKLERİ .....	3
2.1 GENEL ÖZELLİKLERİ .....	3
2.2 ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....	5
2.2.1 Dövme Yöntemi .....	5
2.2.2 Döküm Yöntemi .....	7
2.3 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ .....	11
2.3.1 Karbon .....	11
2.3.2 Mangan .....	11
2.3.3 Silisyum .....	11
2.3.4 Fosfor .....	12
2.3.5 Kükürt .....	12
2.3.6 Krom .....	12
2.3.7 Nikel .....	12
2.3.8 Molibden .....	13
2.3.9 Vanadyum .....	13
2.3.10 Bakır .....	13
2.4 ISIL İŞLEM .....	14

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.4.1 Tavlama .....	14
2.4.2 Tavlama yöntemleri .....	14
2.4.2.1 Difüzyon (Homojenleştirme) Tavlaması .....	15
2.4.2.2 Normalizasyon Tavlaması.....	16
2.5 ISLAH İŞLEMİ .....	17
2.5.1 Sertleştirme .....	18
2.5.1.1 Sertleştirme Ortamı Cinsi.....	19
Suda Sertleştirme.....	19
Yağda Sertleştirme .....	20
Havada Sertleştirme.....	21
ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) Diyagramı.....	22
2.5.1.2 Sertleştirme Ortamı Sıcaklığı .....	23
2.5.1.3 Parça Yüzey Şartları .....	25
2.5.1.4 Parça Boyutları .....	25
2.5.1.5 Alaşım Elementlerinin Cins ve Miktarı .....	26
2.5.2 Menevişleme (Temperleme) .....	26
<b>BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>27</b>
3.1 MODELLEME .....	27
3.1.1 Döküm Simülasyon Çalışmaları.....	27
3.2 KALIPLAMA .....	28
3.3 KİMYASAL KOMPOZİSYONUN BELİRLENMESİ .....	30
3.4 DÖKÜM .....	30
3.5 ÖN ISIL İŞLEMLER .....	32
3.5.1 Difüzyon (Homojenleştirme) Tavlaması .....	32
3.5.2 Normalizasyon Tavlaması .....	32
3.6 SERTLEŞTİRME VE MENEVİŞLEME.....	33
3.7 MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	35
3.8 MEKANİK DENEYLER .....	35
3.8.1 Çekme Deneyi .....	35
3.8.2 Sertlik Deneyi.....	36

BÖLÜM 4 DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME .....	37
4.1 SİMÜLASYON MODELLEME SONUÇLARI .....	37
4.1.1 Normal (Gravite Altında) ve Çevreden Sıvı Metal Girişi ile Yapılan Döküm Simülasyonları .....	39
4.1.1.1 Grafit Kalıp Kullanımı Durumunda.....	39
4.1.1.2 Bakır (Cu) Kalıp Kullanımı Durumunda .....	42
4.1.1.3 Dökümlerin Tane Boyutu Dağılımı Analizleri.....	45
4.1.2 Merkezden Sıvı Metal Girişi Durumundaki Döküm Simülasyonları.....	45
4.1.3 Alçak Basıncılı Döküm Yöntemi İle Yapılan Döküm Simülasyonları ....	48
4.1.4 Bakır ve Grafit Kalıpla Karşılaştırma.....	50
4.1.5 Basıncılı Alttan Döküm ile Graviti Dökümün Karşılaştırılması.....	50
4.2 KİMYASAL KOMPOZİSYON BELİRLEME.....	51
4.3 DÖKÜM SONUÇLARI .....	51
4.4 ISIL İŞLEM SONUÇLARI .....	52
4.5 MİKROYAPI İNCELEME SONUÇLARI .....	53
4.5.1 Orjinal Tren Tekerleğinin Mikroyapısı ve Sertlik Değerleri .....	54
4.5.2 Döküm Yapılan Tren Tekerleği Diliminin Mikroyapısı.....	55
4.6 ÇEKME DENEYİ VE SERTLİK SONUÇLARI.....	57
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. En çok kullanılan tren tekerleği ve ölçüleri .....	4
Şekil 2.2. Dövme yöntemi ile tren tekerleği üretimi işlemleri .....	6
Şekil 2.3. Tren tekerleğinin döküm yöntemi ile üretimi .....	8
Şekil 2.4. Gravity döküm yöntemiyle tren tekerleği üretimi .....	9
Şekil 2.5. Tren tekerleği üreten tipik bir döküm fabrikası akım şeması .....	10
Şekil 2.6. Fe – C dende diyagramının çelikler kısmı .....	15
Şekil 2.7. Karbon çeliklerde tipik normalizasyon sıcaklığı dağılımı .....	17
Şekil 2.8. Tren tekerleği yüzeyinin su püskürtülmesi ile sertleştirilmesi.....	20
Şekil 2.9. ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) Diyagramı.....	22
Şekil 2.10. Soğutma ortamında farklı sıcakların (25 ve 50 °C) soğuma hızına etkisi. ....	24
Şekil 2.11. Soğutma ortamı içinde parça hareketinin soğuma hızına etkisi.....	24
Şekil 2.12. Parça ebadının soğuma hızına etkisi .....	25
Şekil 3.1. Modellenecek tren tekerleği dilimi.....	28
Şekil 3.2. Üst derece .....	29
Şekil 3.3. Alt derece .....	29
Şekil 3.4. Döküm kalıbının şematik olarak gösterilmesi .....	30
Şekil 3.5. Döküm işleminde kullanılan indüksiyon ocağı.....	31
Şekil 3.6. Dökümü ve ön ısıtma işlemi yapılan tekerlek diliminin ısıtma işlemi öncesi testere ile keserek dilimlere ayrılması .....	33
Şekil 3.7. Şekil 3.6’da gösterilen A ve B kesitlerinden alınan ısıtma işlemi tabii tutulacak numunelerin ölçüleri.....	33
Şekil 3.8. Yapılan ısıtma işlemlerinin şekil olarak gösterilmesi .....	34
Şekil 3.9. Metalografik inceleme için numunelerinin tekerlek kesitinden alındığı yerler .....	35
Şekil 3.10. a. Çekme deney numunesi şekli b. Çekme deney numunesi ölçüleri .....	36

Şekil 4.1. Bilgisayar ortamında döküm simülasyonu yapılan tren tekerleğinin CAD ortamında oluşturulan katı model görünüşü. ....	38
Şekil 4.2. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıp içersinde yolluk ve besleyicisi olmayan dökümün mavi çizgi ile belirtilen kesit düzleminden alınmış katılaşma zamanı profili.....	39
Şekil 4.3. Şekil 4.2’de verilen soğuma ve katılaşma rejimine göre grafit kalıp için yapılan döküm (kalıplama) tasarımı. ....	39
Şekil 4.4. Şekil 4.3’te verilen grafit kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden geçen kesit düzleminde katılaşma zamanı dağılımı .....	40
Şekil 4.5. Şekil 4.3’te gösterilen grafit kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden kesilmiş izometrik görünüşünde katılaşmanın tamamlandığı zamandaki sıcaklık dağılımı ...	40
Şekil 4.6. Grafit kalıba yapılan dökümde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler .....	50
Şekil 4.7. Grafit kalıba yapılan dökümde mikro porozite (gözeneklilik) riski taşıyan bölgeler .....	41
Şekil 4.8. 200 °C ön ısıtılmış bakır kalıp içersinde yolluk ve besleyicisi olmayan dökümün mavi çizgi ile belirtilen kesit düzleminden alınmış katılaşma zamanı profili .....	41
Şekil 4.9. Şekil 4.8’de verilen soğuma ve katılaşma rejimine göre bakır kalıp için yapılan döküm (kalıplama) tasarımı .....	42
Şekil 4.10. Şekil 4.9’da verilen bakır kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden geçen kesit düzleminde katılaşma zamanı dağılımı .....	42
Şekil 4.11. Şekil 4.9’da gösterilen bakır kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden kesilmiş izometrik görünüşünde katılaşmanın tamamlandığı zamandaki sıcaklık dağılımı .....	43
Şekil 4.12. Bakır kalıba yapılan dökümde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler .....	44
Şekil 4.13. Bakır kalıba yapılan dökümde mikro porozite (gözeneklilik) riski taşıyan bölgeler .....	44

Şekil 4.14. Grafit kalıpta katılaştan dökümün merkez kesit düzleminde ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı. ....	45
Şekil 4.15. Bakır kalıpta katılaştan dökümün merkez kesit düzleminde ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı. ....	45
Şekil 4.16. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıba normal (gravite altında) yapılan döküm katı modelinin kesiti.....	46
Şekil 4.17. Şekil 4.16’da verilen döküm modeline göre yapılan simülasyondan alınan ve eksenden geçen kesit düzleminde katılaşma zamanı dağılımı ..	46
Şekil 4.18. Şekil 4.16’da verilen döküm modeline göre yapılan simülasyondan alınan ve eksenden geçen kesit düzleminde katılaşmanın tamamlandığı andaki sıcaklık dağılımı.....	47
Şekil 4.19. Şekil 4.16’da gösterilen döküm modeli için simülasyon sonu analizinde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler.....	47
Şekil 4.20. Şekil 4.16’da verilen döküm modeli için yapılan simülasyon ile hesaplanan ve mavi çizgi ile gösterilen kesitte oluşan ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı .....	47
Şekil 4.21. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıba alçak basınç yöntemi ile yöntemi ile yapılan döküm katı modelinin kesiti .....	48
Şekil 4.22. Şekil 4.21’de verilen alçak basınçlı döküm modeline göre modellenen dökümün mavi çizgi ile gösterilen kesit düzleminde alınan katılaşma zamanı profili. ....	48
Şekil 4.23. Şekil 4.21’de verilen alçak basınçlı döküm modeline göre modellenen dökümün kesitinden alınan katılaşma zamanı andaki sıcaklık dağılımı .....	49
Şekil 4.24. Şekil 4.21’de gösterilen alçak basınçlı döküm modeli simülasyon sonu analizinde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler .....	49
Şekil 4.25. Şekil 4.21’de gösterilen alçak basınçlı döküm modeli simülasyon sonu analizinde mavi çizgi ile gösterilen kesitte oluşan ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı. ....	49
Şekil 4.26. Dökülmüş tren tekerleği dilimi .....	51
Şekil 4.27. Orijinal tren tekerleği üzerinden çıkarılmış dilimin mikroyapı resimleri ve sertlik değerleri .....	54

Şekil 4.28. Metalografik inceleme için numunelerinin tekerlek kesitinden alındığı yerler .....	55
Şekil 4.29. Dökülen tren tekerleği diliminin Şekil 4.28’de gösterilen A noktasından alınan numunelerin su verme işleminden sonraki mikroyapı fotoğrafları.....	55
Şekil 4.31. Çekme deney numunelerinin tekerlek kesitinin neresinden alındığı .....	57
Şekil 4.32. Çekme deney numunelerinin Gerilme – Uzama grafiği (A kesiti) .....	59
Şekil 4.33. Çekme deney numunelerinin Gerilme – Uzama grafiği (B Kesiti) .....	60
Şekil 4.34. Çekme deney numunelerinin akma dayanımları.....	61
Şekil 4.35. Çekme deney numunelerinin % uzama değerleri .....	61
Şekil 4.36. Orjinal ve dökülen tren tekerleği diliminin sertlik değerleri (HV) .....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Simülasyonda kullanılan malzeme listesi ve malzemelerin ısı özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. TCDD'den temin edilen tren tekerleğinin kimyasal analizi .....	30
Çizelge 3.3. Şekil 3.27'de gösterilen ve döküm parçadan alınan numunelere yapılacak olan işlemler .....	34
Çizelge 4.1. Döküm yoluyla elde edilen tekerlek diliminin kimyasal analizi.....	52



## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

### **SİMGELER**

°C	:	Santigrat Derece
µm	:	Mikrometre
Fe <sub>3</sub> C	:	Sementit Fazı
α	:	Ferrit Fazı
γ	:	Östenit Fazı

### **KISALTMALAR**

ASTM	:	Amerika Malzeme ve Test Standartları Kurumu
DIN	:	Alman Standartları Enstitüsü
SDAS	:	İkincil Dendrit Kol Mesafesi Dağılımı
CAD	:	Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
HV	:	Vickers Sertlik Birimi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Demir yolu ağlarının yaygınlığı ve gelişmişliği o ülkenin gelişmişlik göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ülkemizde demiryolları yapımına Osmanlı İmparatorluğu zamanında başlanmış ve Cumhuriyet döneminde de devam edilmiştir. 2000 yılı itibari ile ülkemizin mevcut demiryollarının uzunluğu 8682 km dir. Batılı ülkeler ile mukayese edildiğinde bu rakam oldukça düşüktür. Avrupa birliğine girme eşiğinde olan ülkemizde demir yolları ağının artırılması ve mevcutların rehabilite edilmesi kaçınılmaz bir olgudur.

Ülkemizde yeni demiryolları inşasını, 1985 yılına kadar Bayındırlık Bakanlığı'na, daha sonra da Ulaştırma Bakanlığına bağlı olan, Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) gerçekleştirmiş ve TCDD'ye devretmiştir. 233 Sayılı Kanun Hükmünde kararnameye tabi bir Kamu İktisadi Kuruluşu (KİT) olan TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün ana statüsünde; mevcut demiryollarının rehabilitasyonu işi kendisine görev olarak verilmiştir.

Ülkenin demir yolu ağının yaygınlığının yanı sıra diğer demir yolu ekipmanlarının üretimi, tamir ve bakımının yapılması da önemli konulardan birini oluşturur. 136 yıldır demiryolu ulaşımı yapılan ülkemizde tren tekerleği, ray ve demiryolu elektronik malzemeleri ne yazık ki üretilmemektedir. Tekerlekler Romanya'dan veya Ukrayna'dan, raylar ise Güney Afrika'dan alınmaktadır [1]. Son üç yılda TCDD yaklaşık 60 milyon USD tutarında tren tekerleği satın almıştır [2]. Demiryollarının trilyonluk zararlarının 1/5'den fazlasını bu alımlar oluşturmaktadır. Bütün giderleri Hazine tarafından karşılanan TCDD, bu zararı azaltmak için tekerlekleri normal sürelerinden daha fazla kullanma yoluna gitmektedir. Zamanla aşınmaya bağlı olarak kalınlığı incelen tren tekerleklerine Kırıkkale'deki Makine Kimya Endüstrisi'nde (MKE) çelik dolgu malzeme kaynağı yapılmaktadır. Ancak bu

durum tekerleğin maliyetine yakın bir masraf gerektirdiği gibi aynı zamanda kaynak sırasındaki mikro çatlaklar nedeniyle kaza riski taşıyan bir yöntemdir.

Kalkınma Planları çerçevesinde [3] Türkiye Cumhuriyeti'nin acilen 3500 km. yeni demiryolu şebekesi kurması gerçeğinden yerli ray ve tekerlek takımı üretme mecburiyeti vardır. Son yıllarda, Karabük Demir-Çelik Fabrikalarında (Kardemir) yapılan yatırımlarla yerli ray üretimine öncelik verilerek bir adım atılmıştır. Ancak, tekerlek üretiminde ülkemiz halen tamamen dışa bağımlıdır. Bu alanda da acilen üretilebilirlik çalışması yapıp bir yatırıma gidilmesi gerekmektedir. Böylece ülkemiz, her yıl başka ülkelere ödediği trilyonlarca lirayı kendi bünyesindeki tesislerin kurulmasına harcayarak TCDD'nin ihtiyaç duyduğu malzemeyi üretecek, istihdamı artıracak ve de muhtemel ihracat ile döviz girdisi sağlayacaktır.

## BÖLÜM 2

### TREN TEKERLEKLERİ

#### 2.1. GENEL ÖZELLİKLERİ

Tren tekerlekleri üretimi konusunda literatürde neredeyse hiç bilgi yok denecek kadar azdır ve bulunanlar da genelde reklâm mahiyetindedir. Fabrikaların soğuk savaş döneminde yapılmış olmaları ve dolayısıyla bilginin saklanmış olabileceği ilk akla gelen nedenlerden biri olabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise daha çok ses, titreşim, sıcaklık dağılımının modellenmesi [4-5] gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Söz konusu çalışma için gerekli literatür bilgileri merkezi Paris'te bulunan Uluslararası Demir Yolu Birliğinin (UIC) denetimi altındadır. Yayınlanan birkaç üretim çalışmaları [6-7] da Patent olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tren tekerlekleri geleneksel olarak düşük alaşımlı C'lu çeliklerden üretilir. Ölçüleri çok fazla değişmemekle birlikte birkaç çeşittir. Şekil 2.1'de en çok kullanılan tren tekerleği ve ölçüleri gösterilmektedir [24]. Tekerlekler tek bir malzemeden üretilmesine karşılık kullanım sırasında farklı gerilmelere maruz kalan farklı bölgelere sahiptir. Örneğin, tren tekerinin kenarı sürekli raylarla temas halindedir ve bu yüzden aşınma direnci çok iyi olmalıdır. Genelde kenarın aşınma ve yorulmaya dirençli olması istenirken gövde kısmının yorulma direnciyle uyuşmalıdır. Diğer taraftan gövde kısmındaki istenen yorulma direnci seviyesi kenar kısmının aşınma direncini düşürebilir.



Tren tekerleklerinin özelliklerini belirleyen iki temel faktör vardır. Bunlar:

- a. Sağlam dış direnç
- b. Güçlü sıcak çatlama direnci olarak tanımlanabilir.

Söz konusu özellikleri etkileyen temel parametreler:

- a. Alaşım elementleri
- b. Üretim yöntemi
- c. Isıl işlem olarak sınıflandırılabilir [9].

## **2.2. ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

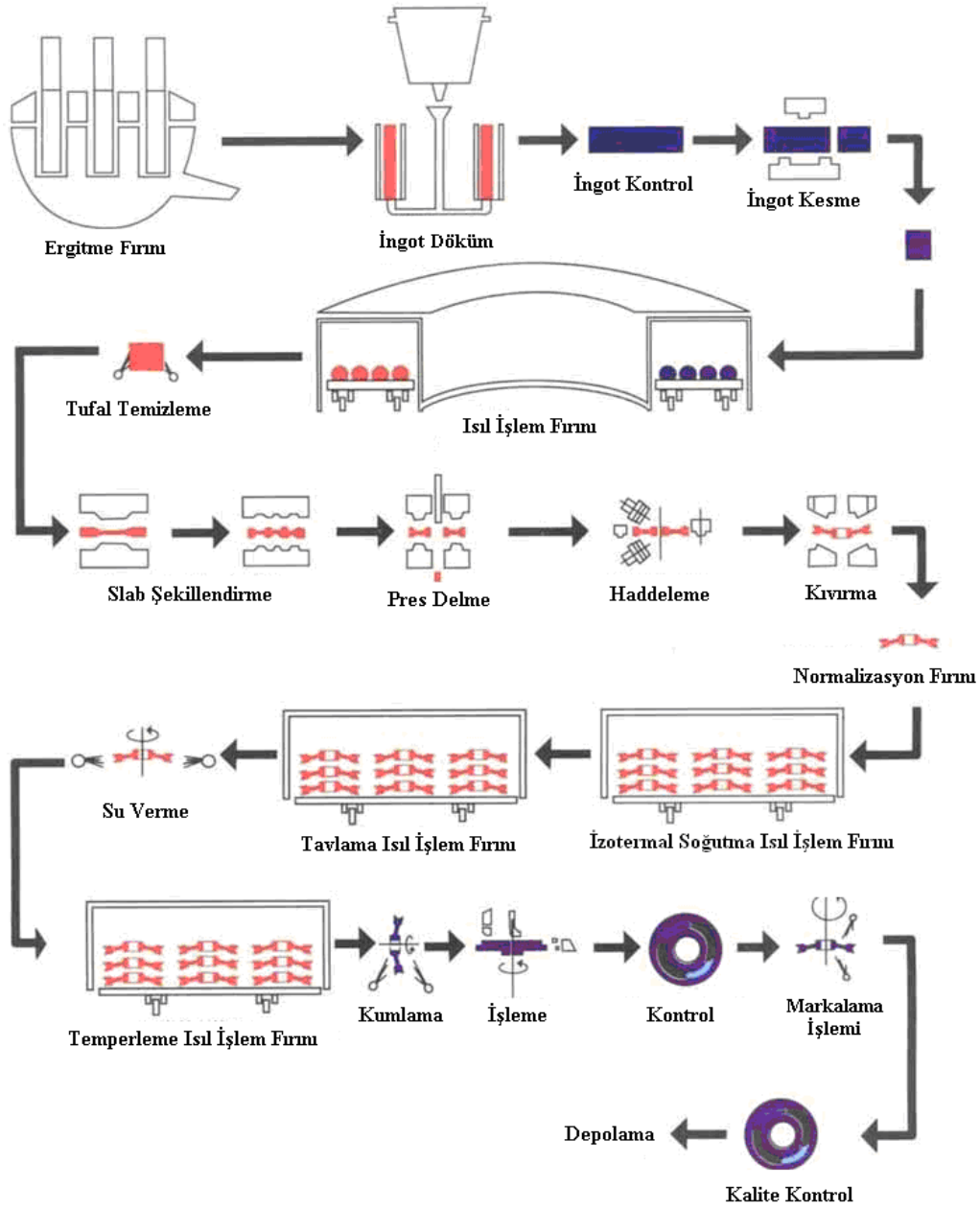
Halen mevcut tekerlek üretiminde dövme veya doğrudan döküm yöntemleri kullanılmaktadır.

### **2.2.1. Dövme Yöntemi**

Şekil 2.2’de dövme yöntemi ile tren tekerleği üretimi işlemleri gösterilmektedir [10-11]. Bu yöntemde, uç kısımları kesildikten sonra iki veya daha çok tekerlek üretebilecek ingot veya kütüklerden dövme yoluyla tekerlekler imal edilmektedir. Uç kısımların kesilmesi ingot dökümde tipik görülen inklizyon vb. hataların elimine edilmesi için kaçınılmazdır. Ingot veya kütük halinde dökülen çelik, ardından presle dövülerek şekillendirilir. Dövme için çok yüksek kapasiteli (8.000-10.000 ton) preslere ihtiyaç vardır ki bu ülkemizde mevcut değildir. Son şekillendirme ise kenar haddeleme veya şahmerdanla dövülerek yapılmaktadır. Dövme ve haddeleme ara işlemlerinde tekerlekler gerilim giderme işlemine tabi tutulurlar.

Dövme işleminde çok yüksek kapasiteli (8.000-10.000 ton) preslere ihtiyaç olduğundan ve işlem basmaklarının fazlalığından enerji ile işçilik maliyeti çok yüksektir. Bu noktadan hareketle son yıllarda Hindistan ve Güney Afrika’da kurulan fabrikalarda döküm yöntemi tercih edilmiştir [10-11]. Dövme işlemlerinin yapıldığı fabrikalar ise yoğunluklu olarak Ukrayna, Romanya gibi eski doğu bloku ülkelerinde bulunmaktadır.

## TEKERLEK ÜRETİM ŞEMASI

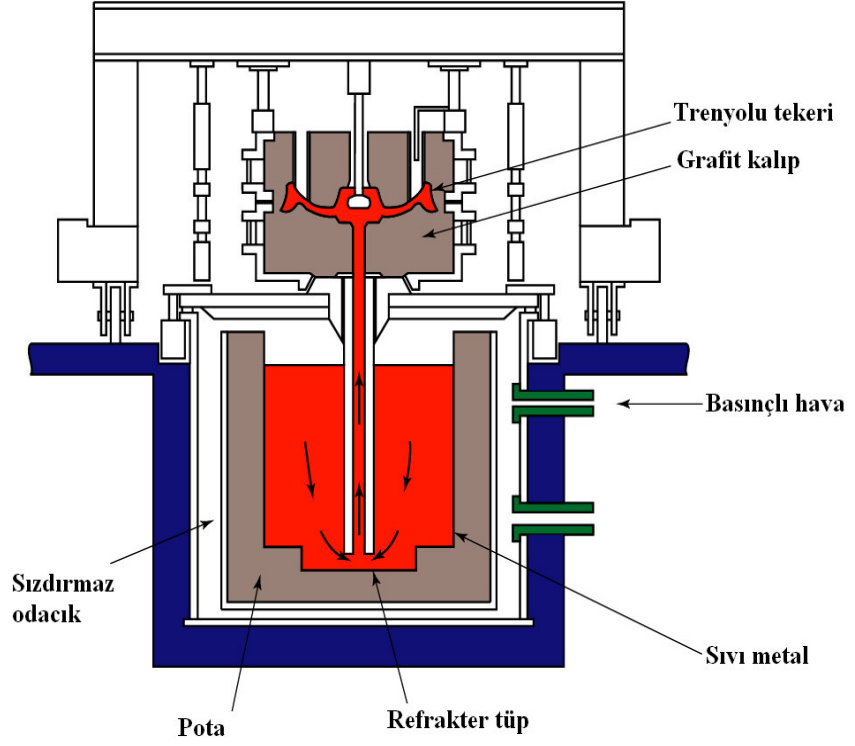


Şekil 2.2. Dövme yöntemi ile tren tekerleği üretimi işlemleri [12].

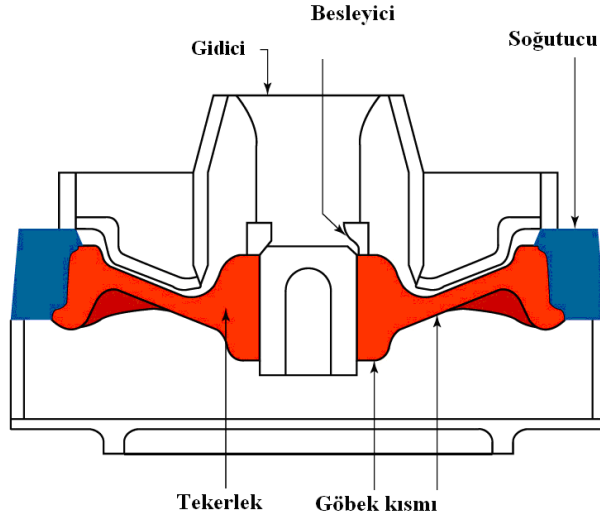
### 2.2.2. Döküm Yöntemi

Döküm için gerekli malzeme genelde kütük veya hurda malzemeden elde edilmektedir. Malzemelerde aranan en önemli özellik, bileşiminde S, Sb, Sn, Pb gibi katışkı (contaminant) olmamasıdır. Ergitme işlemi ark ocaklarında yapılabilmektedir. Ergitme sonrası vakumla gaz giderme işlemi en önemli ilk aşamalardan biridir. Tekerlek dökümü hemen her üreticide grafit kalıplarda yapılmaktadır [10-11]. Grafit kalıplar genelde 50 cm kalınlığında şekillendirme takımları kullanılarak işlenmiştir [7]. Kalıplardaki bozulmalar kalıbın tekrar işlenmesi ile giderilir ve kalıp kalınlığı yaklaşık 20 cm ininceye kadar bu işlem tekrar edilebilir. Döküm işlemi için alçak basınç kontrollü (ABD ve Hindistan) veya gravity (Güney Afrika) prosesleri kullanılır. Söz konusu prosesler şematik olarak Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Basınç kontrollü sistemde ergitilen metal, hava sızdırmaz bir kapakla contalanarak bir odaya yerleştirilir ve basınçlı asal gaz bu oda içerisine gönderilir ve ergiyik çelik refrakter tüp boyunca yukarı doğru itilir ve alttan itibaren tekerlek şeklini alarak kalıba dolar [11]. Gravity dökümde ise asal gaz atmosferi altında ergiyik metal kalıba üstten dökülür. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta dökümün mümkün olduğunca laminar (sakin) olmasıdır. Şekil 2.4'de gravity döküm yöntemiyle tren tekerleği üretiminde sırasıyla kalıplar, döküm işlemi ve dökülmüş tekerleğin kalıptan çıkartılması gösterilmektedir. Şekil 2.5'te ise döküm tren tekerleği üreten tipik bir döküm fabrikası üretim akış şeması verilmiştir.





a. Alçak basınçlı döküm



b. Gravity döküm

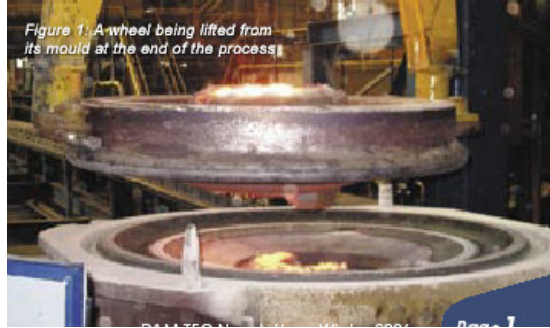
Şekil 2.3. Tren tekerleğinin döküm yöntemi ile üretimi [11].



a. Kalıplar



b. Döküm işlemi



c. Dökülmüş tekerleğin kalıptan çıkartılması

Şekil 2.4. Gravity döküm yöntemiyle tren tekerleği üretimi [11].



Şekil 2.5. Tren tekerleği üreten tipik bir döküm fabrikası akım şeması [10].

## **2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ**

### **2.3.1. Karbon (C)**

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzama ve şekillenebilirlik kabiliyetini ise azaltır [13]. Dökülebilirliği kolaylaştırır. Şekillenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır. Tren tekerleklerinde C miktarı ülkelere göre 0,4 ile 0,6 aralığında değişmektedir.

### **2.3.2. Mangan (Mn)**

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. Ayrıca, FeS sıcak kırılma eğilimine neden bir soruna neden olur [13]. Genellikle oksijen alıcı olarak kullanılır. Tren tekerleklerinde Mn oranı 0,6 ile 0,9 aralığında değişim göstermektedir.

### **2.3.3. Silisyum (Si)**

Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki Si miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar. Yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım kaybını önleyen bir elementtir. Silisyum oksijen alıcı bir temizleyicidir [13]. Tren tekerleklerinde üretim metodu ve ülkelere göre 0,3 ile 0,5 aralığında değişmektedir.

#### **2.3.4. Fosfor (P)**

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmalık yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır [13]. Tren tekerleği için müsaade edilen maksimum değer 0,02'dir.

#### **2.3.5. Kükürt (S)**

Kükürt demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddelme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılmalığa sebep olur ve haddelenmesini güçleştirir. Çeliğin işlenebilme özelliğinin artırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilen bir elementtir [14]. Normal şartlarda tren tekerleklerinde hiç istenmez ancak 0,015 değerine kadar kabul edilebilir.

#### **2.3.6. Krom (Cr)**

Çeliğin dayanım özelliğini artıran fakat buna karşılık, esnekliğini eksi yönde etkileyen bir alaşım elementidir. Cr, çeliğin sıcağa dayanımını artırır. Kabuk-tufal yapmayı önler. Krom, dengesi çabuk bozulmayan karbürü meydana getirir. Çelikte her %1,0 oranındaki Cr yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-10 kg/mm<sup>2</sup> lik bir artış görülür [15]. Genelde üretici firmaların üretim bandına bağlı olarak tekerleklerde 0,2 ile 0,4 arasında bulunabilir

#### **2.3.7. Nikel (Ni)**

Darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Çeliğin dayanımını silisyum ve mangana kıyasla daha az artırır. Çelikte nikel, özellikle kromla birlikte bulunduğu zaman, sertliğin derinliklere inmesini sağlar [13]. Krom nikelli çelikler, tren frenlemesinde meydana gelen ısıya ve bunun sonucu kabuklaşmaya dayanımlıdır.

### **2.3.8. Molibden (Mo)**

Tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Çeliklerin sürünme dayanımını ve aşınma direncini yükseltir [16]. Ancak, tekerleklerde yüksek oranlarda fazla sertlik verdiği için 0,05 oranına kadar kullanılmaktadır.

### **2.3.9. Vanadyum (V)**

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, menevişleme ve ikinci sertleşmede olumlu etkileri vardır. Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile, mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Çeliklerin ısıya karşı dayanımını artırır. Dövme tekerleklerde maksimum 0,06 ya kadar izin verilirken mikro alaşımlı döküm tekerleklerde daha yüksek değerlere izin verilebilmektedir [15].

### **2.3.10. Bakır (Cu)**

Akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Korozyon direncini yükselten etki gösterir. Tren tekerleklerinde 0,3 civarında bulunur.

Tren tekerleği çeliklerinde ana alaşım elementleri Mn ve Si olmasının yanı sıra aynı zamanda V, Ti vb. elementlerle mikro alaşımlandırılmaktadır. Amaç uzun ömürlü, ısıya ve aşınmaya dayanıklı demiryolu tekerleği üretmektir. Örneğin, yüksek oranda Si ve düşük oranda Cr içeren kombinasyon ile tekerlek tam olarak sertleşebilir. Böylelikle fren gibi ısıya neden olan durumlarda yapısını koruyabilen kararlı perlitik yapı büyük oranda oluşur. Bu yapı sürtünen yüzeyde 50 mm derinliğe kadar inebilmektedir [7]. Belli limitlerde mikro alaşımlamaya gidildiğinde tekerlerin raya temas eden kısmı daha fazla sertleştirilemez, dolayısıyla aşınır ve bu aşınma yaklaşık 150–200 bin km civarında 10 mm'yi bulur [10]. Alaşım standartları aynı zamanda üretim yöntemine göre de değişebilmektedir.

## 2.4. ISIL İŞLEM

Isıl işlemler çeliğin katı haldeki dönüşümleri neticesi mümkün olmaktadır. Dönüşüm sıcaklıkları malzemenin ihtiva ettiği karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle dönüşümler için belirli sıcaklıklar verilemez. Dönüşüm sıcaklıkları Şekil 2.6'de olduğu gibi demir-karbon diyagramındaki gibi belirtilebilir [17].

### 2.4.1. Tavlama

Genel anlamda; istenilen yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek ve talaş kaldırmayı veya soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla metal malzemeleri uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp, gerekli değişiklikler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş soğutulması işlemine tavlama denir [18].

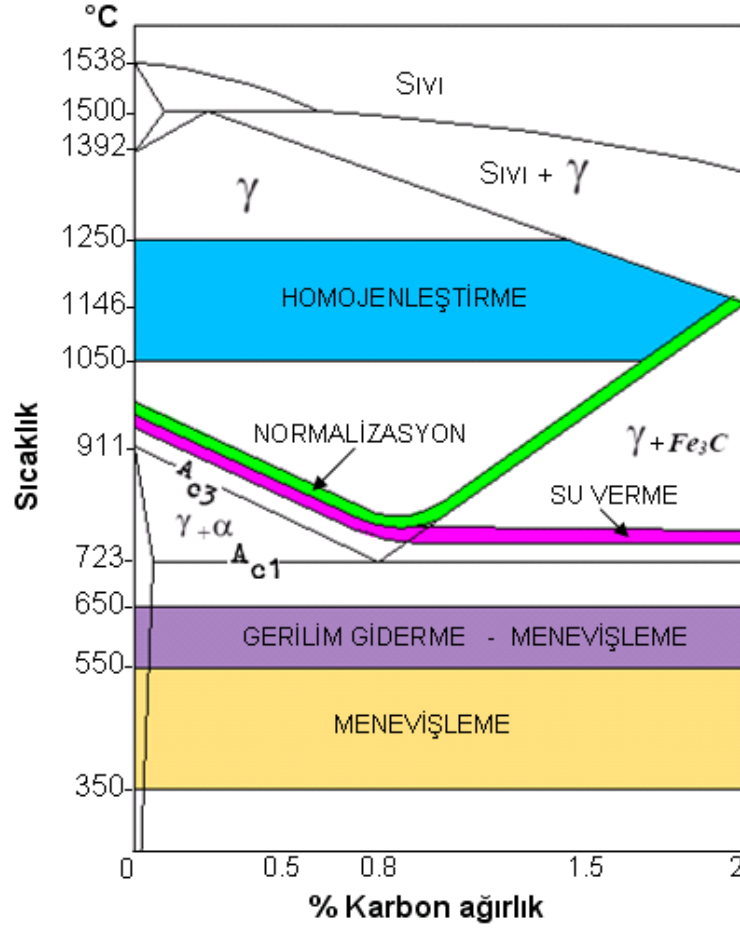
Tavlama işleminin amaçları;

- a. Mikroyapısını homojenleştirmek,
- b. Soğuk işlemler için biçimlenebilme kabiliyetini artırmak,
- c. Makinede işlenebilirliğini artırmak,
- d. Tane küçültmek,
- e. Çeliklerin elektrik ve manyetik özelliklerini iyileştirmek [19].

### 2.4.2. Tavlama Yöntemleri

Tavlama, farklı sıcaklık aralıklarında uygulanan farklı yöntemleri kapsar. Döküm malzemelerde döküm sonrası oluşan bileşim farklılıklarını gidermek için önce difüzyon tavlama daha sonra ise difüzyon tavlama ile kaybedilen mekanik özellikleri iyileştirmek ve tane boyutunu inceltmek için normalizasyon tavlama uygulanır.

Şekil 2.6'da çelik malzemelere uygulanan ısıtım sıcaklıkları Fe-C dende diyagramını üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Fe-C dende diyagramının çelikler kısmı [19].

#### 2.4.2.1. Difüzyon Tavlaması (Homojenleştirme)

Difüzyon tavlaması ile katılaşma esnasında meydana gelen bileşim farklılıklarının (Primer çökelmeler yada çözelti segregasyonları) dengelenmesi amaçlanır. Bunun için malzemelerin 1050–1250 °C gibi sıcaklıklarda uzun süre tavllanması gerekir. Bu süre yaklaşık olarak parça kalınlığının her 10 mm'si için 10 saattir. Tavlama işleminden sonra parça fırında veya havada soğumaya bırakılır. Bu esnada çok fazla tane kabalaşması da kaçınılmaz olur. Bunun giderilmesi içinde difüzyon tavlamasından sonra sıcak şekillendirme yada normalizasyon tavlaması yapılması gerekir [18].



Difüzyon tavlamaıyla elde edilen yapıdaki homojenlik sonucunda döküm parçalarda iyi süneklik sağlanır.

Difüzyon tavlamaı yüksek miktarda kükürt ihtiva eden otomat çeliklerine uygulanır. Haddelenmiş yapılar tane sınırlarında sülfür segregasyonları ihtiva ederler. Bunlar difüzyon tavlamaı ile daha ince ve düzenli şekilde yapıya dağılırlar [18].

Ayrıca, döküm parçalarında döküm esnasında meydana gelen konsantrasyon farklılıklarını tekrar dengelemek amacıyla da yapılır.

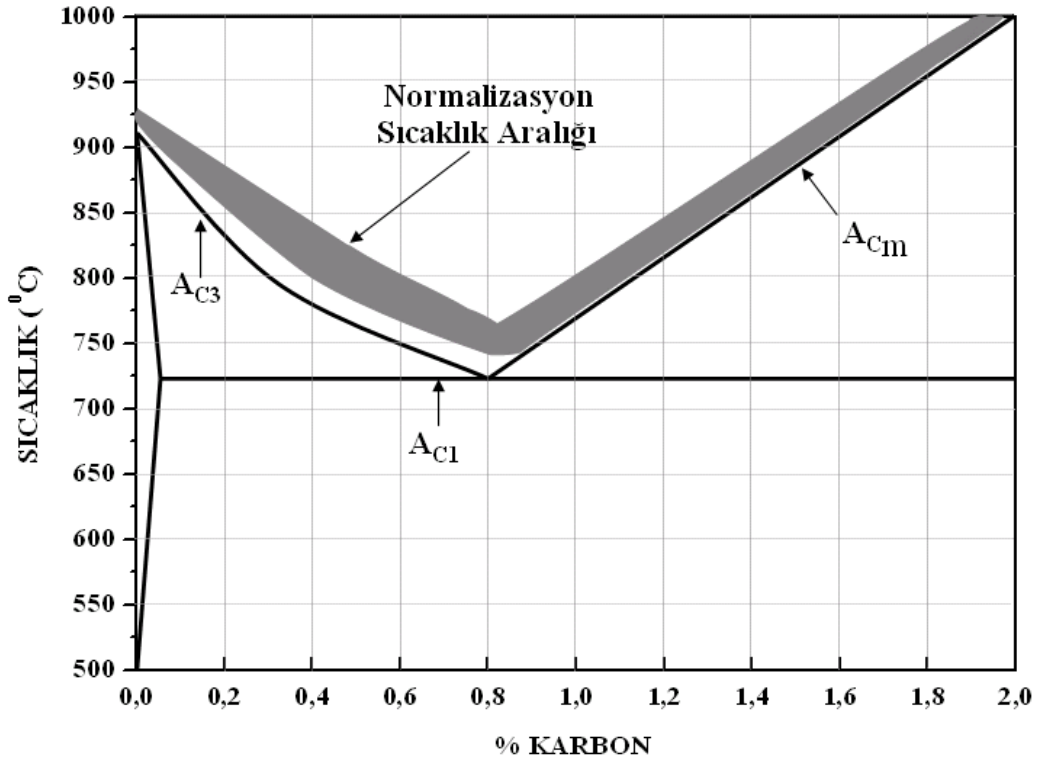
#### **2.4.2.2. Normalizasyon Tavlamaı ( Normalleştirme)**

Normalizasyon tavlamaı, bir çeliğin sertleştirme sıcaklığına kabaca yakın bir sıcaklığa (genelde 780–950 °C) kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta parça kalınlığı ve alaşım miktarına göre hesaplanan bir sürede tutulması ve bunu takiben durgun havada soğumaya tabi tutulması işlemidir. Normalizasyon süresi yaklaşık olarak parça kalınlığının her 25 mm'si için 1 saattir. Normalizasyon tavlamaı ötektoid altı çelikleri  $Ac_3$  ve ötektoid üstü çelikleri  $Ac_m$  dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 40–50 °C üstündeki sıcaklıklara yapılır. Isıtma ve soğutma işlemleri genellikle açık atmosferde yapılır. Bu nedenle tufal veya dekarbürizasyon tabakalarını kaldırmak için daha sonra talaşlı işlem veya yüzey tamamlama işlemleri gereklidir [18].

Normalizasyon tavı [17];

- a. Tane boyutunu inceltmek,
- b. Homojen bir iç yapı elde etmek,
- c. Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak,
- d. Çeliklerin işleme özelliklerini iyileştirmek,
- e. Mekanik özellikleri iyileştirmek,
- f. Çelik parçasının türüne bağılı olarak mukavemetini artırmak,
- g. Çelik parçasının türüne göre düşük termal ve mekanikliğini artırmak,
- h. Yumuşatma tavına tabi tutulmuş çelikleri sertlik ve mukavemetlerini arttırmak için yapılır.

Dökülmüş ve dövülmüş parçalar şekil vermeden sonra kontrolsüz olarak soğuduklarından, kısmen iri taneli iç yapıya sahiptirler. Ayrıca uzun zaman yüksek sıcaklıkta tavllanmış parçalar (difüzyon tavlaması), kritik şekil değiştirme miktarına kadar soğuk şekil değiştirmiş yapılara ve kaynak edilmiş küçük parçalar da düzensiz bir yapıya sahip olduklarından, normalizasyon tavlamasına tabi tutulurlar [20]. Şekil 2.7’de karbon çeliklerinde tipik bir normalizasyon sıcaklık dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Karbon çeliklerde tipik normalizasyon sıcaklığı dağılımı [20].

## 2.5. ISLAH İŞLEMİ

Önce bir sertleştirme ve arkasından meneviş olayları, birbiri peşi sıra uygulandığında Islah işlemi olarak adlandırılır. Islahta seçilen meneviş sıcaklıkları, sertleştirilmiş duruma nazaran sertlikte belli ölçüde düşme yapar. Uygun ıslah işlemi yapabilmek için, sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi gerektiğinden, çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu tam bilinmelidir. Malzemede mevcut iç gerilmelerin ısınmada sakınca yaratmaması için, çeliğin ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılması, dikkatlice yapılmalıdır. Sertleştirme öncesi, gerilim giderme ya da normal tavlama yapılması yararlıdır [21].

Islah etme işleminde, alaşımsız ve alaşımlı çelikler kullanılır. Alaşımsız ıslah çelikleri, % 0,2 ila % 0,6 karbon; alaşımlı ıslah çelikleri ise ilave olarak bir miktar nikel, krom, molibden veya mangan içerir [21].

### **2.5.1. Sertleştirme**

Sertleştirme, çelikleri sert ve aşınmaya dayanıklı yapan bir işlemdir. Sertleştirme, birçok işlem basamağından meydana gelir.

Sertleştirme işlemi, öncelikle çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak, uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Östenit sıcaklığında tutma süresini, çelik parçanın östenit fazda homojen bir yapıya ulaşması belirler ve bu süre çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişir [16].

Östenit faz sıcaklığında homojenliği sağlamak için yeterli süre bekletilmiş çelik parça, yüksek hızla soğutulursa martenzite dönüşür.

Sertleştirmenin ana gayesi minimum soğuma hızında tamamen martenzit yapı elde etmektir. Tamamen martenzit yapı verecek minimum soğuma hızına kritik soğuma hızı denir. Kritik soğuma hızı çeliğin kimyasal bileşimine ve östenit tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Sertleştirme işlemi sonunda elde edilecek mikroyapı ile, sertlik ve dayanım değerleri sertleştirme işlemindeki soğutma hızına bağlı olarak değişir. Eğer çelik parça, kritik soğuma hızından daha süratli soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martenzit yapı elde edilir. Fakat, parçaya uygulanan soğutma hızı kritik soğuma hızından daha yavaşsa, östenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlit dönüşmesiyle sonuçta yapıda martenzit miktarı azalacak ve sertlik değeri düşecektir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe östenitin ferrit ve perlite dönüşüm miktarı artacak buna bağlı olarak sertlikte düşecektir [16].

Parçanın soğuma hızına tesir eden faktörler [20];

- a. Sertleştirme ortamının cinsi
- b. Sertleştirme ortamının sıcaklığı
- c. Parçanın yüzey şartları
- d. Parçanın ebadı
- e. Alaşım elementinin cins ve miktarı

### 2.5.1.1. Sertleştirme Ortamı Cinsi

#### Suda Sertleştirme

Su en şiddetli soğutma etkisine sahiptir. Suda sertleştirme, çarpılma ve hatta sertleşme çatlaklarına yol açabilir. Bundan dolayı su ile genelde alaşımsız çelikler sertleştirilebilir [20].

Genel olarak su vererek sertleştirme başlangıcı, çeliğin her yanında eşit su verme sıcaklığına kadar erişmesiyle sağlanır. Böylece çelik iç yapısının tamamen östenitten oluşması sağlanır. Bunu için çelik, demir-karbon diyagramındaki karbon miktarı  $<0,8$  den düşük bölgelerde  $Ac_3$  ve karbon miktarı  $\% 0,8 - 2,0$  olan bölgedeki  $A_{cm}$  (uygulamada  $Ac_1$ ) üzerindeki sıcaklıklarda tavlmalıdır. Bütün yapının östenitten oluşması ve perlitin tamamının östenite dönüşmesi için, bu sıcaklık değerlerinde çelik bekletilir [19].

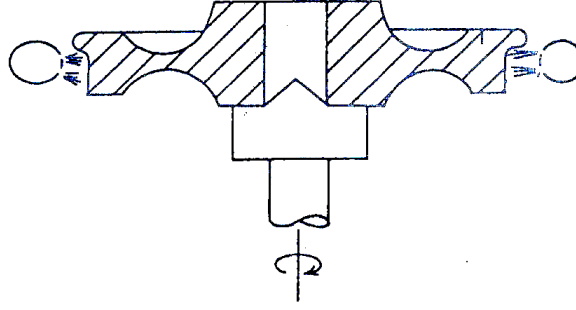
Sertleştirilmek için önceden tavllanmış çelik su içine batırılınca iş parçasının etrafında oluşan buhar tabakası, su ile çeliğin temasını keseceğinden sertleşmeyi önler ve yumuşak bölgelerin kalmasına neden olur.

Bunu önlemek için [20];

- a. Soğuk su kullanılmalı,
- b. Ortam sürekli karıştırılmalı,
- c. İnorganik katkıları kullanılmalıdır.

Katkıların en çok kullanılanları  $\% 10$  kadar NaCl yada  $\% 3$  NaOH' dir [22].

Döküm yöntemi ile tren tekerleği üretirken yüzey sertleştirme işlemide su ile soğutularak yapılır. Tekerlek göbeği ve tekerleğinin raya değen kısmı tazyikli su ile soğutularak sertleştirilir. Bu tür sertleştirme yöntemi su verme işlemidir. Bu yöntemin bir olumsuz yanı dikkat edilmediğinde tekerlek göbeği aşırı sertleşmesidir. Şekil 2.8’de tren tekerleğine su verme işlemi gösterilmiştir. Genel olarak su vererek sertleştirme başlangıcı, çeliğin her yanında eşit su verme sıcaklığına kadar erişmesiyle sağlanır [6].



Şekil 2.8. Tren tekerleği yüzeyinin su püskürtülmesi ile sertleştirilmesi [6].

### **Yağda Sertleştirme**

Sudan sonra en fazla kullanılan soğutma sıvısı yağdır. Yağda soğutma hızı, suda soğutmadan daha yavaştır. Yağda sertleştirmede daha az gerilmeler doğar ve buna bağlı olarak ta çarpılma, çekme ve çatlama daha az olur. Yağın bu özelliği, kritik soğuma hızı düşük olan düşük alaşımlı çeliklerin yağda sertleştirilmesini gerekli kılar [18].

Isıl işlem yağları hayvansal yağlar ve madensel yağlar olmak üzere iki ana bölüme ayrılır. En çok bilinen hayvansal yağlar iç yağı, kuyruk yağı, balık yağı, zeytin yağı vb.. Özelliklerinin çabuk bozulması, çelik yüzeyine yapışması ve çalışma sırasında şiddetli koku çıkarması bu yağların sanayi alanlarındaki kullanımını çok kısıtlamış durumdadır [22].

Soğutma ortamlarının, işlem esnasında korozyon yapma sorunları vardır. Bu açıdan yağda sertleştirme bütün çeliklerde en yüksek korozyon direnci sağlar.

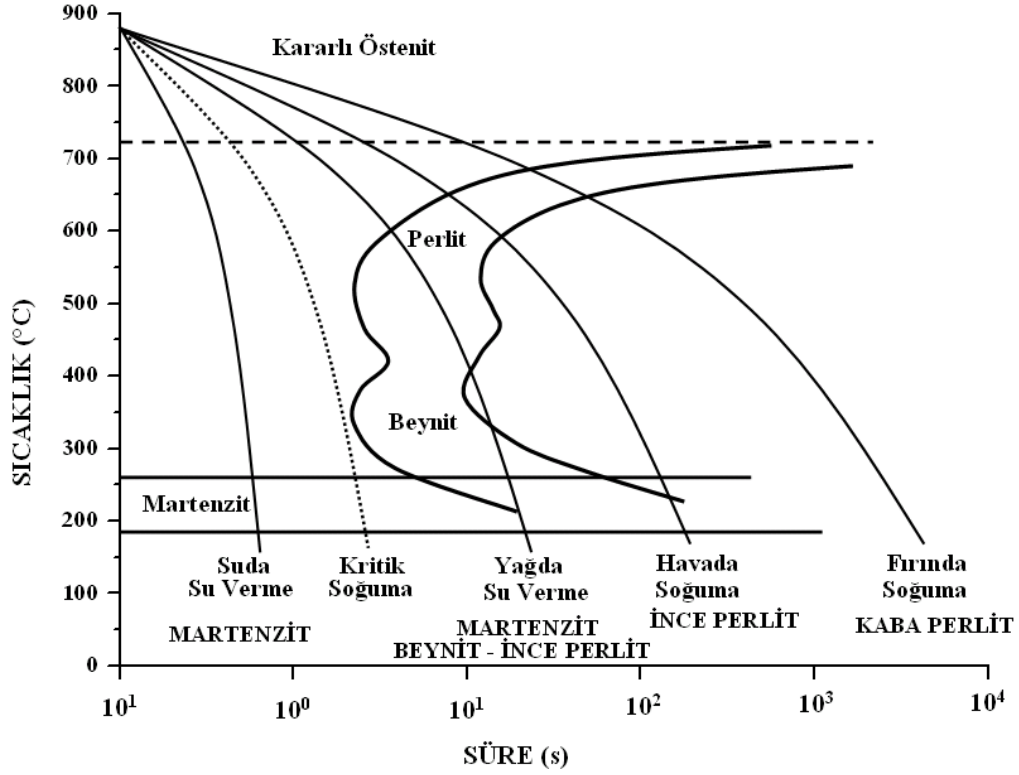
Yağda sertleştirilen parçalar tamamen yağa daldırılmalı, yağ sıcaklığına kadar bekletilmelidir. Yağ, banyo içinde devrettirmeli ve yağa su karışmamasına dikkat edilmelidir.

### **Havada Sertleştirme**

Havada sertleşecek olan çeliklerin östenit yapının oluşması için yapılacak tavlama, tuz banyolarında ya da koruyucu (gaz) atmosferli fırınlarda yapılır. Östenitleme sıcaklığı düşük olan hava çelikleri, kurşun banyosunda ya da oksitleyici atmosferli fırınlarda tavllanır [20].

Soğutma işlemleri ise çeşitli şekillerde yapılır. Durgun hava, fanlı hava ve basınçlı hava ortamında yapılır. Soğutma ortamlarının korozyon yapıcı etkisi havada bulunana oksijen nedeniyle ön plana çıkar. Bu açıdan havanın soğutma ortamı olarak kullanılması düşünüldüğünde, korozyon direncini düşürdüğü göz önüne alınmalıdır [19].

## ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) Diyagramı



Şekil 2.9 ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) Diyagramı.

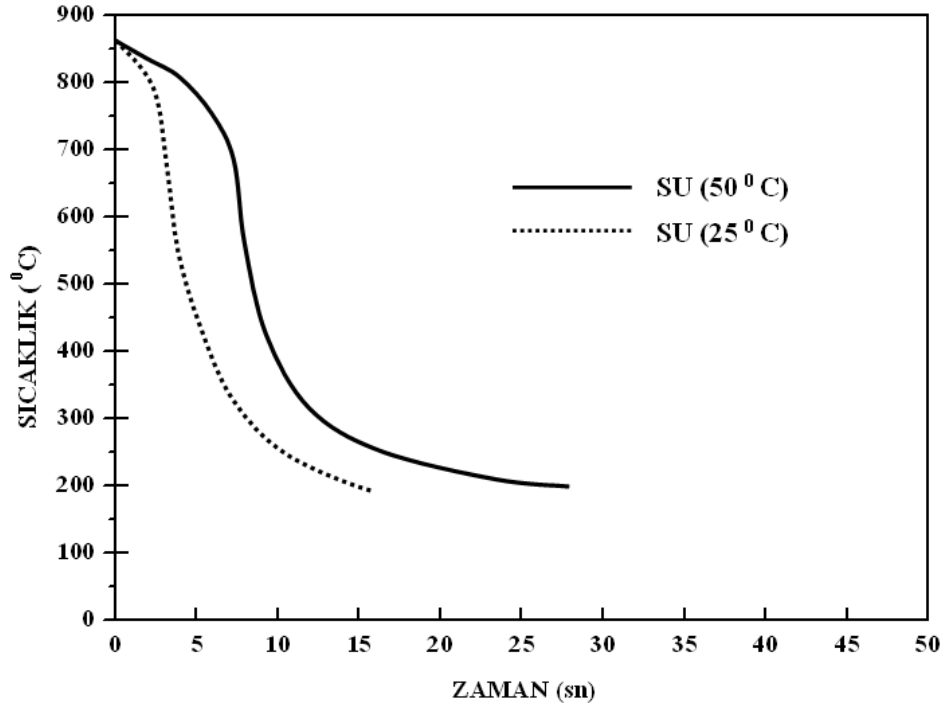
Demir – karbon denge diyagramı, yalnız denge koşulları için geçerli olduğundan hızlı soğutulan çeliklerin incelenmesinde doğrudan kullanılamaz. Değişen soğuma hızına göre meydana mikroyapı değişiklikleri ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) diyagramları ile anlaşılır. Malzemenin alaşım miktarı ve soğuma hızına göre çıkarılacak olan ZSD diyagramı malzemede oluşacak fazları ve yüzdeleri hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi 0,4 C'lu düşük alaşımli bir çeliğe ait ZSD diyagramında östenit bölgede tavlanan malzeme suda, yağda, havada ve fırında soğutulmuştur. Suda soğutulduğunda kritik soğuma hızından daha kısa sürede soğuduğu için yapı martenzitik olmuştur. Yağda soğutulduğunda malzeme kritik soğuma hızından daha kısa sürede soğumadığından mikroyapı martenzit, beynit ve perlit fazlarını içerir. Havada soğutulduğunda küçük taneli perlitik bir yapı elde edilir. Fırında soğutulduğunda ise soğuma çok yavaş olduğu için kaba taneli bir perlitik iç yapı elde edilir [17].

Orjinal tren tekerleğinin iç yapısı perlitik olduğu için üretilen tren tekerleklerinin raya değen kısımları su püskürterek sertleştirilirken yapının martenzitik yada beynitik olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü bu iki fazın tokluğu perlit fazına oranla az olduğundan darbelere maruz kalarak çalışan tren tekerleği istenilen tokluk dayanımını gösteremeyecek ve bir noktadan başlayan çatlak tekerleğin parçalanmasına yol açacaktır. Bu nedenle mümkün mertebe iç yapının perlitik olarak kalması sağlanmalıdır [6].

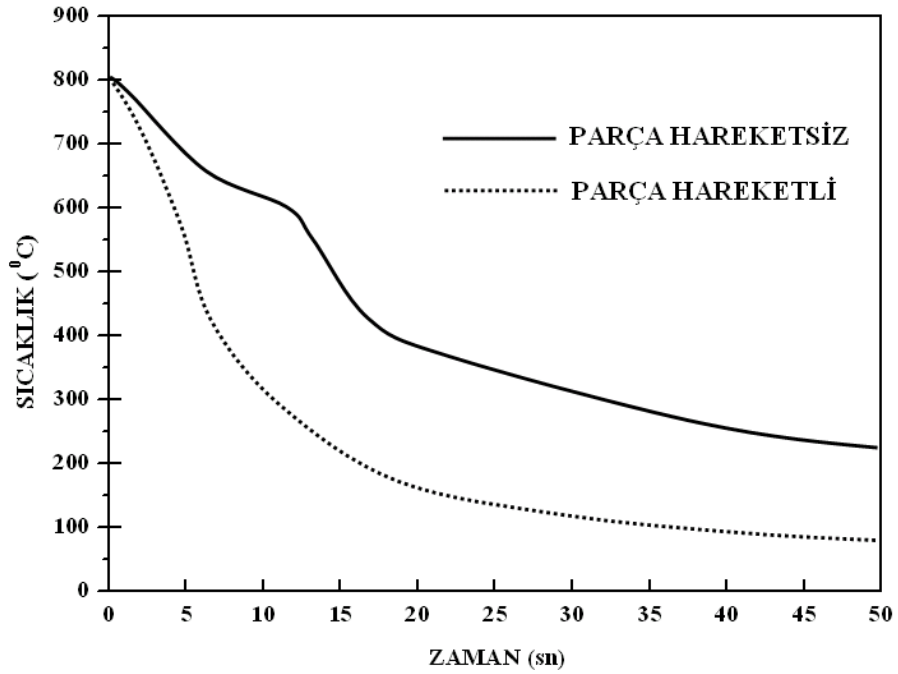
### **2.5.1.2. Sertleştirme Ortamı Sıcaklığı**

Su için uygun sıcaklık (20-40 °C), yağ için (40-70 °C) arasındadır. Sıcaklık sürekli kontrol edilmelidir. Yağ sıcaklığını artırmak için, su verme işlemi öncesi, bazı sıcak çelik parçalar banyoda soğutulurlar. Sertleştirme sıcaklığında, yüksek sıcaklıktaki çelik parçanın ortam sıcaklığını yükseltmemesi için ortam hacminin yeterli miktarda olması gerekir. Ayrıca, soğuma hızını artırmak ve ortam sıcaklığını sabit tutmak için, ortamda çalkantı (sirkülasyon) sağlanabileceği gibi parçanın ortam içinde hareketi de söz konusu olabilir. Böylece, parça yüzeyinde oluşacak olan buhar tabakası etkili bir şekilde giderilerek soğuma hızı artırılmış olur. Şekil 2.10'da su banyosunda sertleştirilen çeliğin 25 ve 50 °C için elde edilen soğuma eğrileri, ve Şekil 2.11'de yağ banyosunda 50 °C'de parça hareketinin soğuma hızına etkisi gösterilmiştir [20].





Şekil 2.10. Soğutma ortamında farklı sıcaklıkların (25 ve 50 °C) soğuma hızına etkisi. Soğutma ortamı su ve parçalar hareketsizdir [17].



Şekil 2.11. Soğutma ortamı içinde parça hareketinin soğuma hızına etkisi (Soğuma ortamı 50 °C'de yağdır) [17].

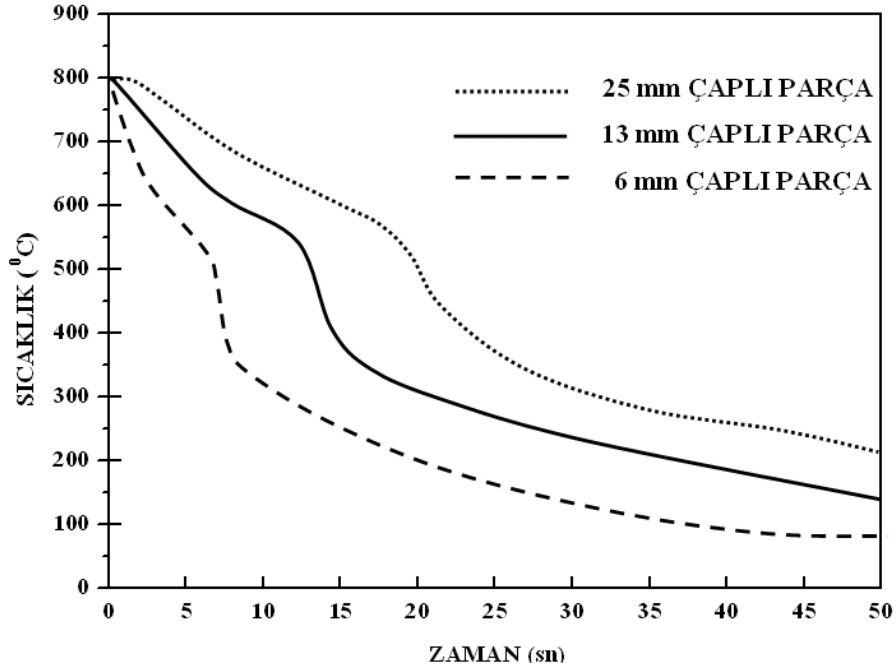
### 2.5.1.3. Parça Yüze Şartları

Çelik parça östenitlemek için ısıtılırken, fırın atmosferinde bulunan su buharı ve oksijen tufal oluşumuna neden olur. Tufal, parça yüzeyindeki oksit tabakasıdır. İnce tufal tabakasının soğuma hızına etkisi azdır. Ancak kalın bir tufal tabakasının (0,1 mm'den kalın), parçanın soğuma hızına azaltıcı yönde önemli etkisi vardır [23].

### 2.5.1.4. Parça Boyutları

Çelik parçanın sadece yüzeyi sertleştirme ortamıyla temas ettiğinden, parça yüzey alanının kütlesine oranı soğuma hızını belirleyen önemli bir faktördür. Bu oran parçanın geometrik şekline yakından bağlıdır ve oranın büyümesi soğuma hızını artırır. Aynı sertleştirme şartlarında, büyük parça küçük parçadan daha yavaş soğuyacaktır [21].

Şekil 2.12'de üç değişik çaptaki silindirik paslanmaz çelik parçaların merkezleri için elde edilen soğuma eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.12. Parça ebadının soğuma hızına etkisi. Soğutma ortamı 50 °C'de yağdır.

### **2.5.1.5. Alaşım Elementlerinin Cins ve Miktarı**

Alaşımsız karbon çeliklerinin sertleşme derinlikleri az olduğundan bu tip çelikler hızlı bir soğutma ortamında soğutulurlar. Bu nedenle suda su verme işlemi uygulanmak zorundadır. Ancak kuuk ve ince kesitli olanlara yağda su verilebilir. Bu nedenle alaşım elementleri çeliklerin sertleşebilirliklerini artırır. Alaşım elementi toplamı ve özellikle krom, vanadyum, molibden, volfram gibi elementler arttıka sertleşme derinliği artar [9].

### **2.5.2. Menevişleme (Temperleme)**

Menevişleme, su verme sonucu oluşan martenziti yumuşatarak, tokluğun artmasını sağlar. Pratikte, su verilen elik menevişlenmeden kullanılmaz. elik, sert ve gevrek martenzitten yapıdan dolayı, çarpılma, sertlik çatlağı ve vaktinden önce gevrek kırılma meydana getirebilecek iç yapı gerilmelerine sahip olur. Bu gevrekleşmeyi azaltmak için, sertleştirilen iş parçaları menevişleme sıcaklığına kadar ısıtılarak sıcaklık altında belirli bir süre tutulur ve sonra yavaş soğutulur. Çelikler alaşım miktarlarına göre 350- 650 C arasında menevişlenir [18].

Sertleştirilmiş elikler menevişlendiğinde, çekme dayanımı ve akma sınırı dşuk meneviş sıcaklıklarında pek az artma gösterebilir, ancak artan meneviş sıcaklıklarında, sertlikte olduğu gibi devamlı düşme gösterirler. Buna karşın malzemenin Şekil değişebilirlik karakteristikleri olan kopma uzaması, kesit daralması ve çentik darbe dayanımı, meneviş sıcaklığı arttıka artar. Menevişleme sayesinde çeliklerin gevrekliği azaltılır, mutlak bir lde plastisiteye sahip olurlar [17].

Temperleme sıcaklığı arttıka sertlik genel olarak azalır, ancak kuvvetli karbür yapıcı elementler (Cr, Mo, W, V) ihtiva eden alaşımlı çeliklerde ikinci sertleşme adı verilen bir sertlik artışı meydana gelir [18].

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. MODELLEME

##### 3.1.1. Döküm Simülasyon Çalışmaları

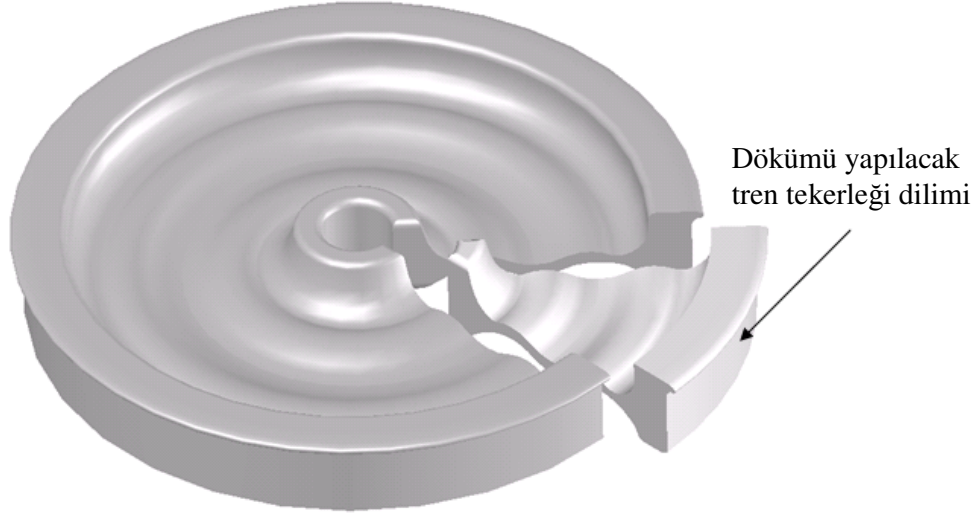
Tren tekerleği CAD ortamında oluşturulan üç boyutlu bir döküm simülasyon programı olan *SolidCast simülasyon* sistemi kullanılarak modellenmiştir.

Çizelge 3,1'de kullanılan malzeme ve ısıl özellikleri verilmiştir. Modellemenin hızlı ve kolay olması açısından simülasyon oluşturulurken verilen alaşıma en yakın döküm alaşımı olan 1040 çeliği kullanılmıştır (İstenirse kullanılan her alaşıma özel ısıl değerler oluşturulabilir).

Çizelge 3.1. Simülasyonda kullanılan malzeme listesi ve malzemelerin ısıl özellikleri.

Malzeme	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Özgül Isı (J/Kg.K)	Öz Kütle Kg/m <sup>3</sup>	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Katılma Sıcaklığı (solidüs) °C	Katılma Aralığı Solidüs-Likidüs °C
Döküm (ST1040)	50,70	485,34	7839	1620	1432,22	63,89
Grafit Kalıp	9,99	715,00	1922	200	---	Kalıp doldurma süresi 12 sn.
Bakır Kalıp	385,71	384,92	8954	200	----	Kalıp doldurma süresi 12 sn.

Deneysel çalışmalara dökülecek tren tekerleği 1/16'lık diliminin modeli yapılarak başlanmıştır.



Şekil 3.1. Modelleneyecek tren tekerleği dilimi (Tam tren tekerleğinin 1/16'sı).

### 3.2. KALIPLAMA

Döküm için orjinal tren tekerleğinin 1/16'si seçilmiştir. Model ölçüleri orjinal tren tekerleği ölçülerek hesaplanmıştır. Yapımı kolay olduğu için önce alçı model yapılmıştır. Alçı model kalıplama esnasında kırılabilceğinden alçı model kalıplanarak kum kalıba modelin alüminyum dökümü yapılmıştır.

Kalıplamada için silis kum kullanılmıştır. Kum nemini almak için fırında kurutulmuştur. Bileştirici olarak Kardemir A.Ş.'den temin edilen reçine ve asit kullanılmıştır. 20 kg kuma 500 ml reçine ve 100 ml asit orantısı kullanılarak döküm harcı hazırlanmış ve kalıplama yapılmıştır. Kalıp yüzeyleri döküm parça yüzeyinin pürüzsüz olması ve kum tanelerinin parça yüzeyine yapışmaması için çelik dökümlerde kullanılan kalıp boyası ile boyanmıştır. Yapılan kalıp, döküm işleminden önce bir gün süre ile kurumaya bırakılmıştır.

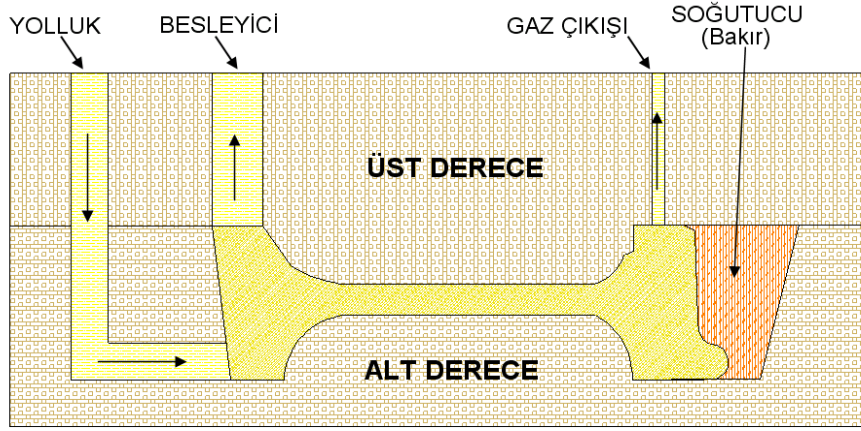
Yapılan kalıp üst ve alt derece şeklinde Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilirken, Şekil 3.4’de yolluk tasarımı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Üst derece.



Şekil 3.3. Alt derece.



Şekil 3.4. Döküm kalıbının şematik olarak gösterilmesi.

### 3.3. KİMYASAL KOMPOZİSYONUN BELİRLENMESİ

Döküm işlemi için öncelikle patent alınmış alaşım incelenmiştir. Patent kapsamında olan bileşimler C: 0,4–0,7, Si: 0,4–1,2, Mn: 0,6–1,2, Al: 0,003-0,006 aralıklarında yoğunlaşmıştır.

Döküm işlemi için Ankara TCDD Genel Müdürlüğünden temin edilen Çizelge 3.2’de kimyasal analizi verilen tren tekerleği hurda malzemesi olarak kullanılmıştır. Önceden tespit edilen miktarlarda ayarlanan alaşım elemanları şarja uygun zamanlarda ilave edilmiştir.

Çizelge 3.2. TCDD’den temin edilen tren tekerleğinin kimyasal analizi.

Alaşım Elemanı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
%	0,52	0,40	0,80	0,02	0,015	0,30	0,30	0,08	0,30	0,06

### 3.4. DÖKÜM

Ergitme işlemi Şekil 3.5’te gösterilen Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm Atölyesinde mevcut bulunan 25 kg kapasiteli indüksiyon ocağında yapılmıştır. Döküm için TCDD’den temin edilen Çizelge 3.2’de kimyasal analizi

verilen tren tekerleği parçaları kullanılmıştır. Döküm işlemi için tasarlanan kimyasal analiz doğrultusunda ergime esnasında ergiyik metale belli miktarda FeSi, FeMn ve FeV ilaveleri yapılmıştır. Dökümden hemen önce gaz giderici olarak belli miktarda alüminyum parçaları bir lans içinde ergiyik metale daldırılıp karıştırılmıştır. Ayrıca kalıbın içine dökümden önce ve döküm esnasında argon gazı verilerek mümkün olduğunca oksijenin zararlı etkilerinden korunulmuştur. Döküm sıcaklığı 1600 °C olarak seçilmiştir.



şekil 3.5. Döküm işleminde kullanılan indüksiyon ocağı.



### 3.5. ÖN ISIL İŞLEMLER

#### 3.5.1. Difüzyon (Homojenleştirme) Tavlaması

Dökümü yapılan tren tekerleği dilimine döküm işlemi ile meydana gelen bileşim farklılıklarını dengelemek amacıyla difüzyon tavlaması yapılmıştır. Difüzyon tavlaması için uygun sıcaklık olarak 1100 °C saptanmıştır. Difüzyon tavlaması için parça kalınlığının her 1 cm'si için 10 saat bekletilmiştir [18].

Dökülen tekerlek diliminin en kalın kesiti 6,5 cm olduğundan;

$$6.5 \times 10 = 65 \text{ saat}$$

Difüzyon tavlama süresi 65 saat olarak bulunmuştur. Tekerlek dilimi 1100 °C'de 65 saat tavlandıktan sonra fırında soğumaya bırakılmıştır.

#### 3.5.2. Normalizasyon Tavlaması

Difüzyon tavlamasından sonra malzemeye normalizasyon tavlaması uygulanmıştır. Normalizasyon sıcaklığı için 890 °C seçilmiştir. Normalizasyon tavlaması için parça kalınlığının her 25 mm'si için 1 saat bekletilmiştir [18].

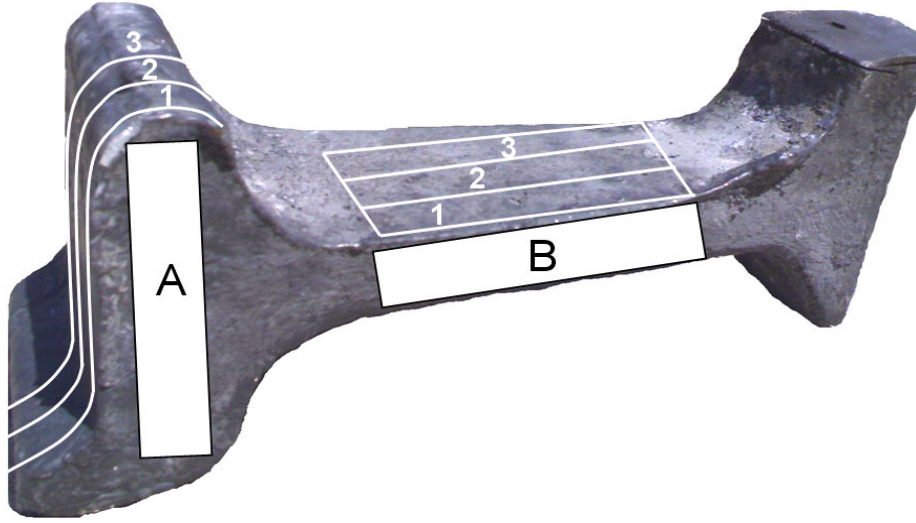
Dökülen tekerlek diliminin en kalın kesiti 65 mm olduğundan;

$$65 \div 25 = 2,6 \text{ saat}$$

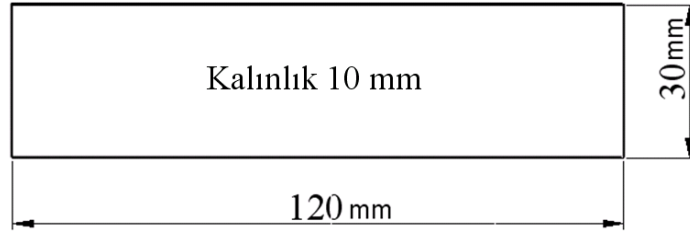
$$2,6 \text{ saat} = 2 \text{ saat } 36 \text{ dakika}$$

Normalizasyon tavlama süresi 2 saat 36 dakika olarak bulunmuştur. Tekerlek dilimi 2 saat 36 dakika 890 °C'de tavlandıktan sonra havada soğumaya bırakılmıştır.

### 3.6. SERTLEŞTİRME VE MENEVİŞLEME



Şekil 3.6. Dökümü ve ön ısı işlemleri yapılmış tekerlek diliminin testere ile keserek dilimlere ayrılması.



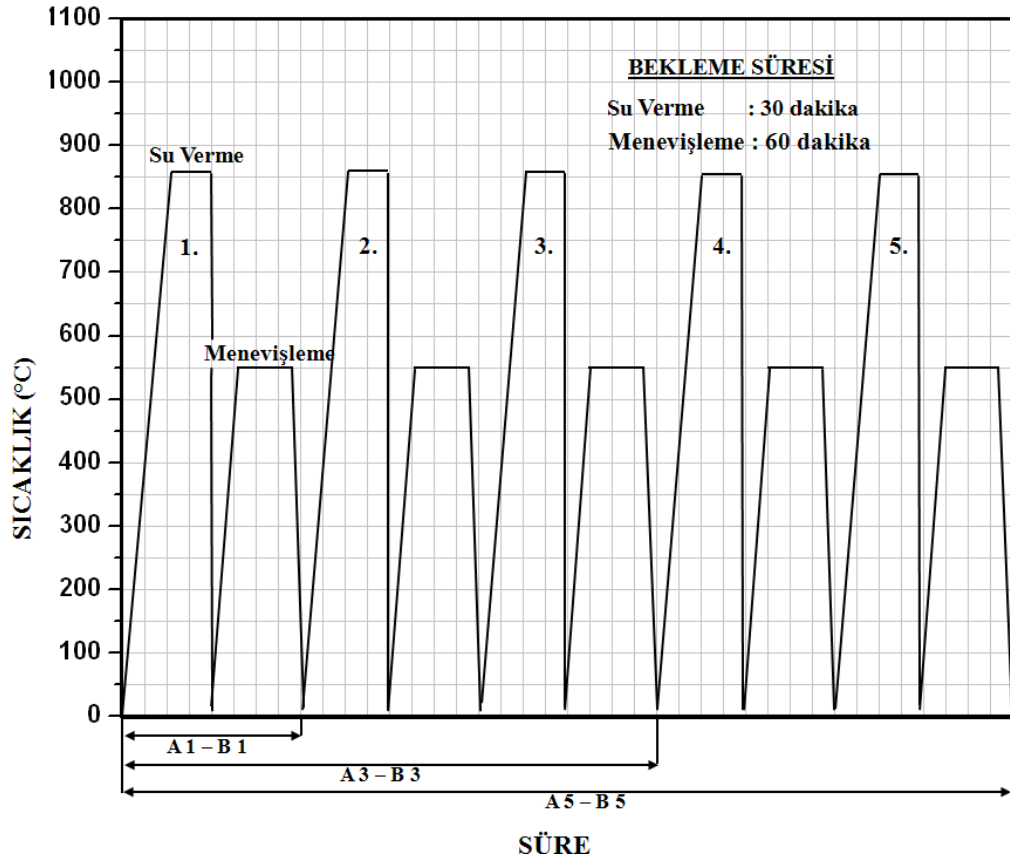
Şekil 3.7. Şekil 3.6'da gösterilen A ve B kesitlerinden alınan ısı işleme tabi tutulacak numunelerin ölçüleri.

Sertleştirme işlemi için döküm malzemedeki Şekil 3.6'da gösterildiği gibi A ve B kesitlerinden Şekil 3.7'de gösterilen ölçülerde 8'er tane numune kesilmiştir. Kesilen bu numuneler her A ve B kesiti kendi içlerinde olmak üzere 2'şerli gruplara ayrılmıştır. Bu dört gruba yapılacak işlemler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Şekil 3.27’de gösterilen ve döküm parçadan alınan numunelere uygulanan işlemler.

NUMUNE SAYISI	A GRUBU	B GRUBU	UYGULANAN İŞLEM
2	A0	B0	Hiçbir ısı işlem uygulanmamış
2	A1	B1	1 defa su verilip menevişlenmiş
2	A3	B3	3 defa su verilip menevişlenmiş
2	A5	B5	5 defa su verilip menevişlenmiş

Sertleştirme işlemi için numuneler 865 °C’de 30 dakika bekletilip yağda su verilmiştir. Su verme işleminde sonra 550 °C’de 1 saat menevişlenmiştir. 5’inci su verme işlemine kadar bu sıra takip edilmiştir.

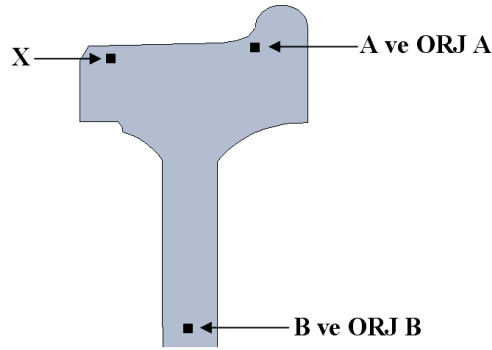


Şekil 3.8. Yapılan ısı işlemlerin şekil olarak gösterilmesi.

### 3.7. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Mikroyapı çalışmaları için orjinal ve dökülen tren tekerleği numunelerinin Şekil 3.9'da gösterilen A ve B noktalarından numuneler alınmıştır. Bu numunelere de Çizelge 3.3'te bahsedilen işlemler uygulanmıştır.

Çıkarılan numuneler 1 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. Numuneler önce sırasıyla 120–1200 numara aralığındaki zımparalardan geçirilmiştir. Keçede parlattuktan sonra % 2'lik Nital ile yüzeyleri dağlanmıştır. Laboratuar tip Nikon marka mikroskopta 500 büyütme ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiş ve dökülmüş ve orjinal tren tekerleği numunelerinin mikroyapı haritaları çıkarılmıştır.



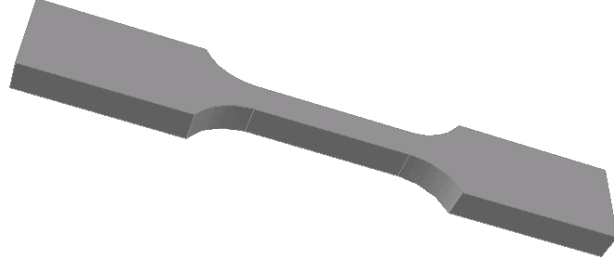
Şekil 3.9. Metalografik inceleme için numunelerinin tekerlek kesitinden alındığı yerlerin şematik gösterimi.

### 3.8. MEKANİK DENEYLER

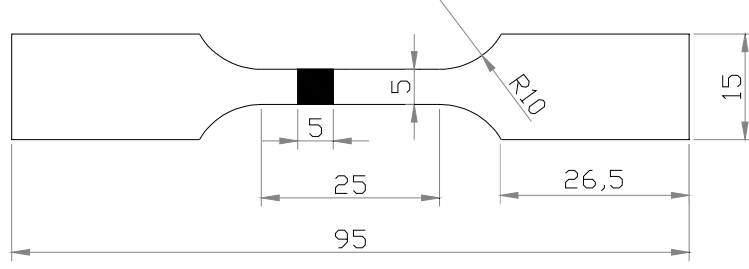
#### 3.8.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi numuneleri Şekil 3.6'da gösterilen ve dökümü yapılan tren tekerleği diliminin A ve B bölgelerinden çıkarılmıştır.

Gerekli ısıl işlemleri yapılan numuneler Şekil 3.10'da gösterilen çekme deneyi ölçülere getirebilmek için iki işlemden geçirilmiştir. İlk olarak numune kalınlıkları dik freze tezgahında 10 mm'den 5 mm'ye düşürülmüştür. Daha sonra tel erezyon cihazında çekme deneyi için istenilen şekil verilmiştir.



a. Çekme deney numunesi



b. Çekme deney numunesi ölçüleri

Şekil 3.10. Çekme deney numunesi (Ölçüler mm olarak verilmiştir).

Çekme deneyi Karabük Üniversitesi bünyesinde bulunan max. 5 ton kapasiteli SHIMADZU marka çekme cihazında yapılmıştır.

### 3.8.2. Sertlik Deneyi

Orjinal tren tekerleğinin ve dökümü yapılan tren tekerleği diliminin Şekil 3.9'da gösterilen noktalarından metalografik inceleme için numuneler alınmıştır. Sertlik ölçümleri laboratuvar tip SHIMADZU marka sertlik ölçme cihazında Vickers sertlik birimi cinsinden ölçülmüştür.

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

#### 4.1. SİMÜLASYON MODELLEMELERİ

Kullanılan simülasyon sistemi dünya çapında kullanılan *SolidCast* yazılımdır. Bu sistemin kullanılması ile hem doldurma (akış) hem de soğuma katılaştırma analizleri yapılabilmekte ve dökümlerde önceden makro porozite (çekme), mikro porozite (gözeneklilik), tane dağılımı, sıcak nokta analizi, sıcak yırtılma riski analizi gibi döküm kalitesine yönelik faktörler analiz ve tahmin edilebilmektedir. Verilen bir döküm parçanın tüm yönleri ile henüz dökülmeden önce analiz edilerek tasarımın optimizasyonu mümkün olmakta ve dökümhane ortamında muhtemel deneme yanılma pratikleri minimize edilmektedir. Döküm-kalıp tasarımında revizyon gerektiğinde aşağıdaki faktörlerin simülasyon ortamında değiştirilmesi ile yeniden döküm simülasyonu yapılarak sonuçlar tekrar tekrar değerlendirilebilmektedir.

Kullanılan döküm simülasyonu ile değiştirilebilen faktörler;

- a. Döküm yöntemi:  
Kum, kokil, hassas, merkezkaç, alçak basınçlı vb.,
- b. Kalıp malzemesi:  
Kum, kokil, grafit, bakır, seramik kalıp vb.,
- c. Kalıp parametreleri:  
Kalıp kesit kalınlığı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, kalıp içine veya dışına uygulanan su, hava soğutma, ısıtma, kokil kalıplarda döküm tekrar sayısı ve kalıbın iki döküm arasında açık kalma süresi vb.,
- d. Yolluk tasarımı:  
Doldurma hızı, meme giriş yerleri, türbülans, soğuk birleşme vb. analizleri.

e. Besleyici tasarımı:

Besleyici adetleri, yerleri, boyut ve şekilleri, ekzotermik veya izolasyon gömlekleri vb.,

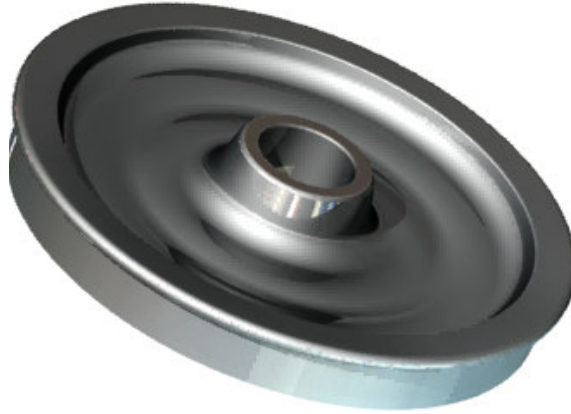
f. Döküm-kalıp ara yüzey ilişkisi:

Isı transfer katsayıları, döküm-kalıp ara yüzeyine uygulanan kaplama ve boyaların ısı etkileri.

Tren tekerleği CAD ortamında oluşturulan üç boyutlu döküm simülasyon programı ile tekerlek katı model görünüşü Şekil 4.1’de verilmiş ve modellenmiştir. Tekerlek brüt 406 Kg ağırlığındadır. Modelleme; alçak basınç veya normal (gravity) döküm yöntemleri temelinde yapılmıştır.

Kalıp malzemesi olarak; grafit veya bakır (Cu) kalıp seçilmiş, sıvı metal girişi olarak; çevreden ve merkezden olmak üzere iki kısma ayrılmıştır.

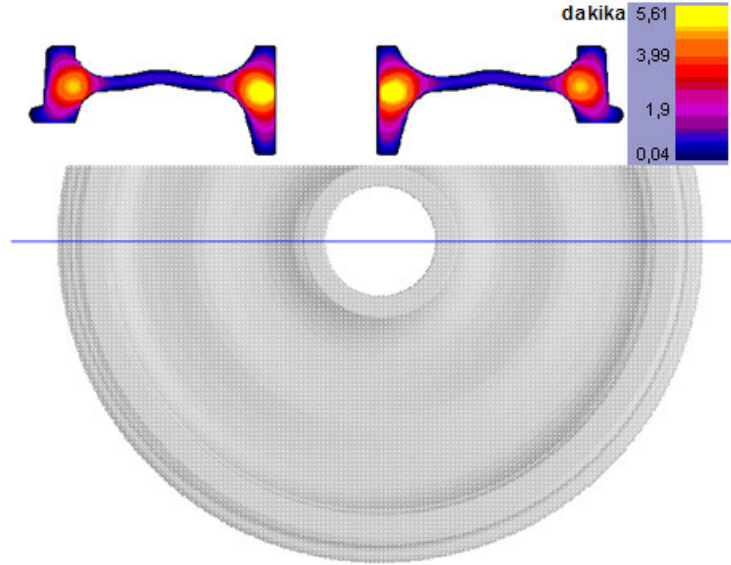
Kalıp malzemelerinin dökümden önce 200 °C ön ısıtmaya tabi tutuldukları var sayılmıştır.



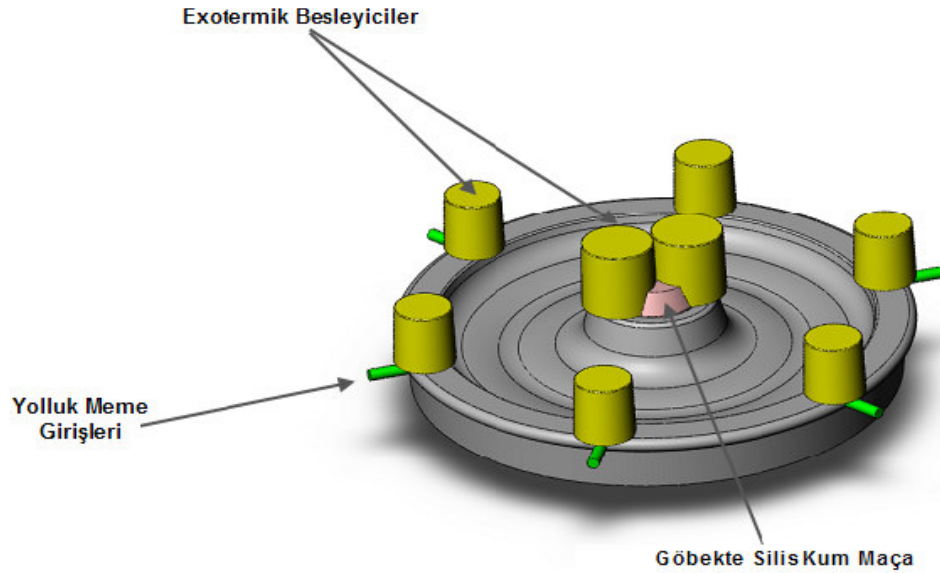
Şekil 4.1. Bilgisayar ortamında döküm simülasyonu yapılan tren tekerleğinin CAD ortamında oluşturulan katı model görünüşü.

#### 4.1.1. Normal (Gravite Altında) ve Çevreden Sıvı Metal Girişi ile Yapılan Döküm Simülasyonları

##### 4.1.1.1. Grafit Kalıp Kullanımı Durumunda

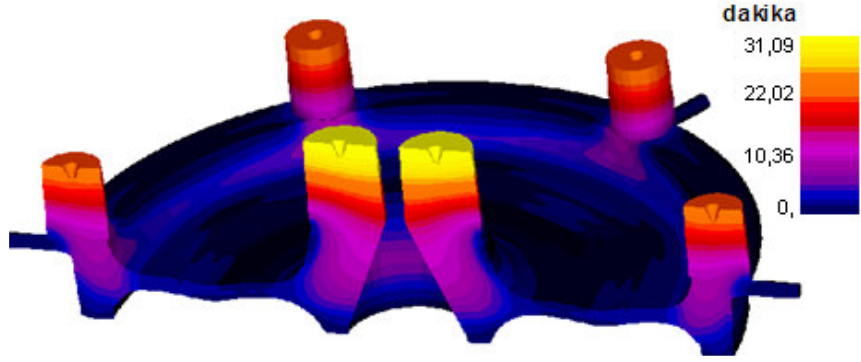


Şekil 4.2. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıp içerisinde yolluk ve besleyicisi olmayan dökümün mavi çizgi ile belirtilen kesit düzleminden alınmış katılaşma zamanı profili.



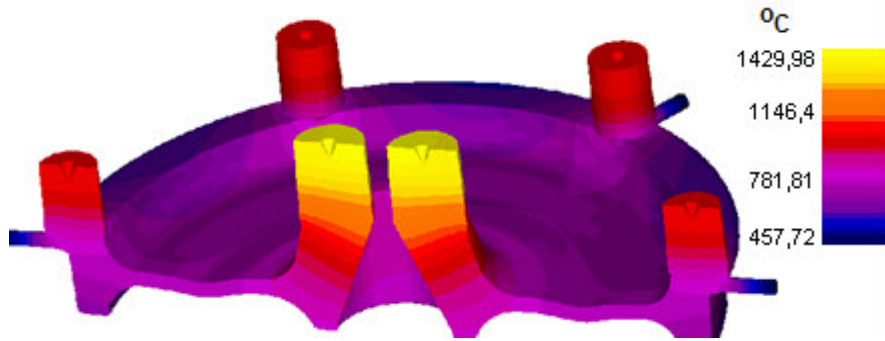
Şekil 4.3. Şekil 4.2’de verilen soğuma ve katılaşma rejimine göre grafit kalıp için yapılan döküm (kalıplama) tasarımı.



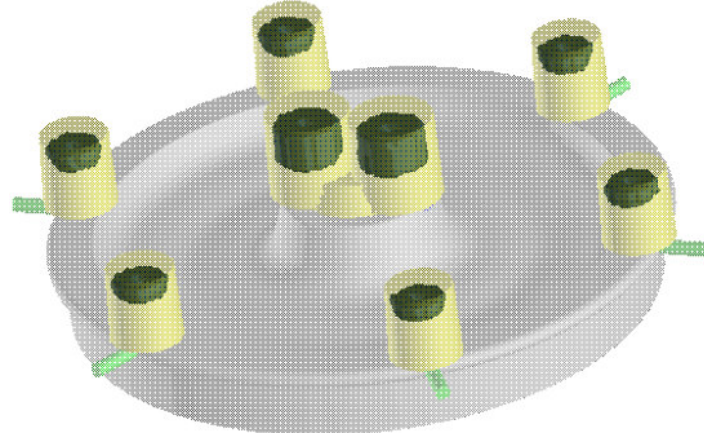


Şekil 4.4. Şekil 4.3'te verilen grafit kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden geçen kesit düzleminde katılaşma zamanı dağılımı.

Katılaşmanın aşamalı bir şekilde ilerlediği ve besleyicilere doğru yönlendiği görülmektedir.

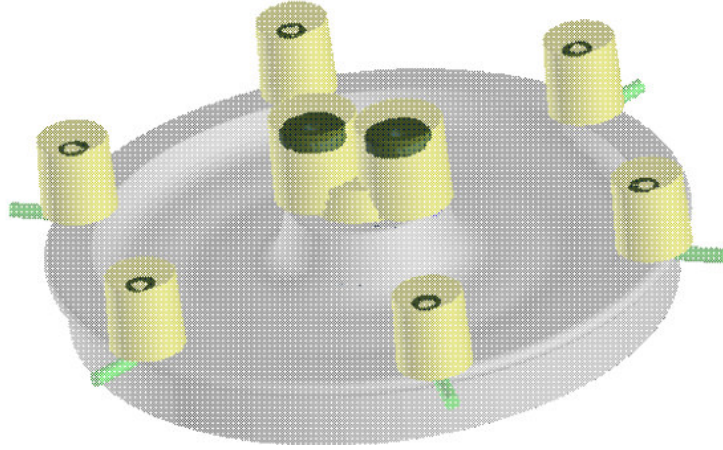


Şekil 4.5. Şekil 4.3'te gösterilen grafit kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden kesilmiş izometrik görünüşünde katılaşmanın tamamlandığı zamandaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.6. Grafit kalıba yapılan dökümde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler.

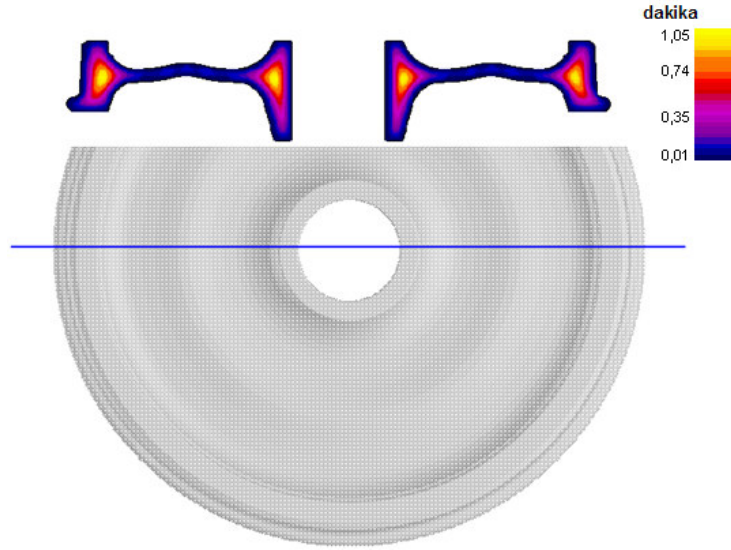
Çekinti riskinin sadece besleyiciler üzerinde olduğu görülmektedir.



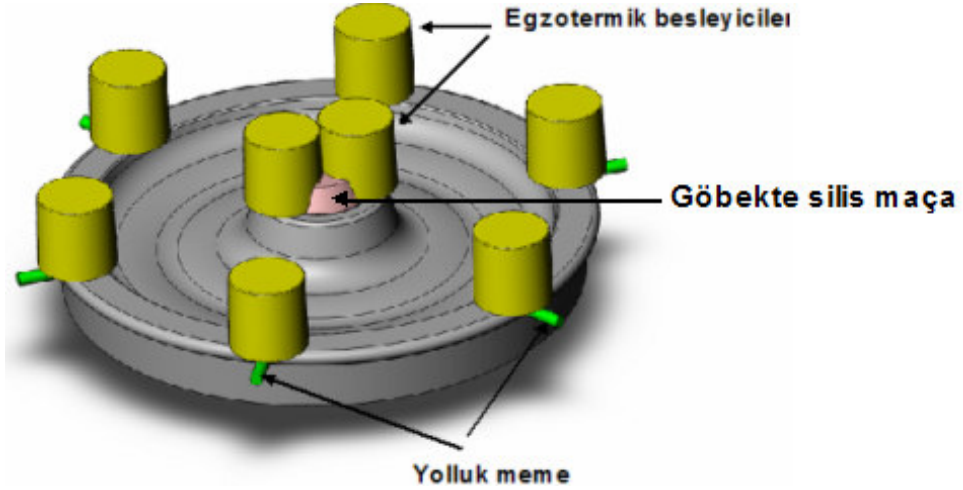
Şekil 4.7. Grafit kalıba yapılan dökümde mikro porozite (gözeneklilik) riski taşıyan bölgeler.

Mikro porozite riskinin sadece besleyiciler üzerinde olduğu görülmektedir.

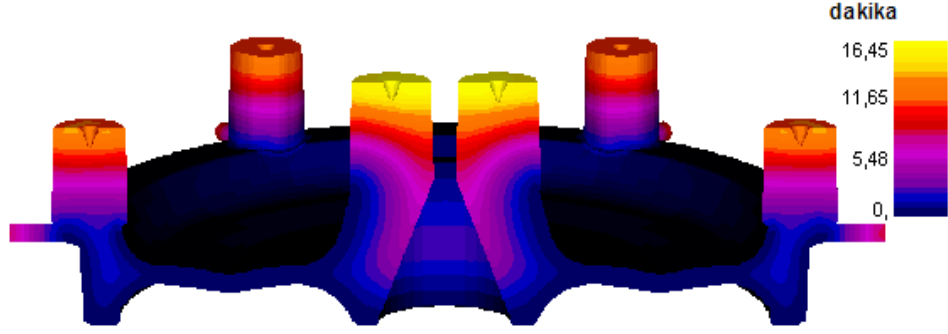
#### 4.1.1.2. Bakır (Cu) Kalıp Kullanımı Durumunda



Şekil 4.8. 200 °C ön ısıtılmış bakır kalıp içerisinde yolluk ve besleyicisi olmayan dökümün mavi çizgi ile belirtilen kesit düzleminde alınmış katılaşma zamanı profili.

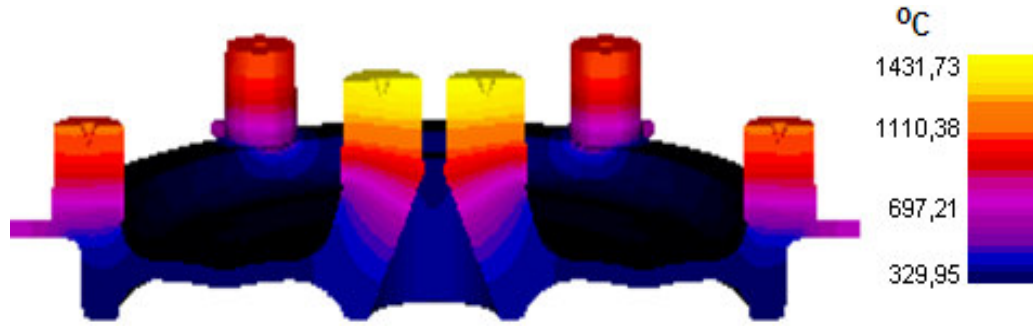


Şekil 4.9. Şekil 4.8’de verilen soğuma ve katılaşma rejimine göre bakır kalıp için yapılan döküm (kalıplama) tasarımı.

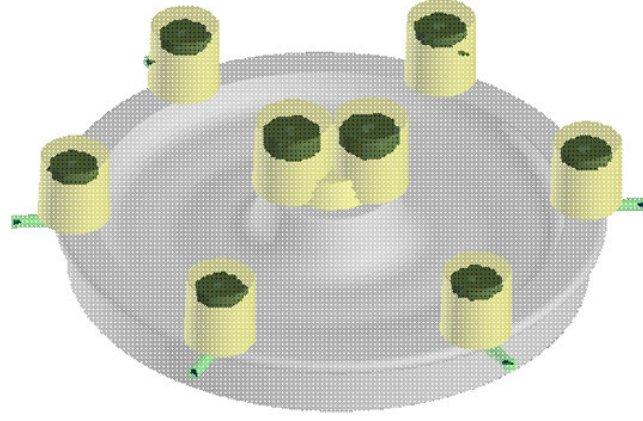


Şekil 4.10. Şekil 4.9’da verilen bakır kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden geçen kesit düzleminde katılaşma zamanı dağılımı.

Katılaşmanın aşamalı bir şekilde ilerlediği ve besleyicilere doğru yönlendiği görülmektedir.

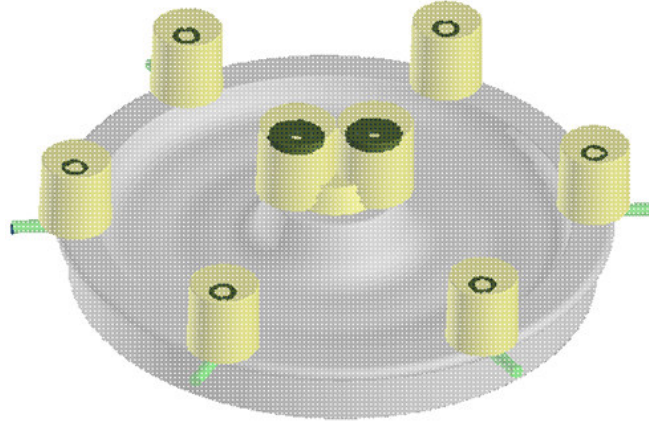


Şekil 4.11. Şekil 4.9’da gösterilen bakır kalıp-döküm tasarımına göre simülasyonu yapılan dökümün ekseninden kesilmiş izometrik görünüşünde katılaşmanın tamamlandığı zamandaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.12. Bakır kalıba yapılan dökümde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler.

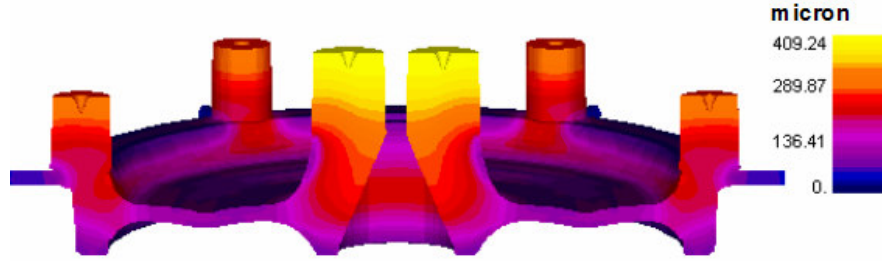
Çekinti riskinin sadece besleyiciler üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.13. Bakır kalıba yapılan dökümde mikro porozite (gözeneklilik) riski taşıyan bölgeler.

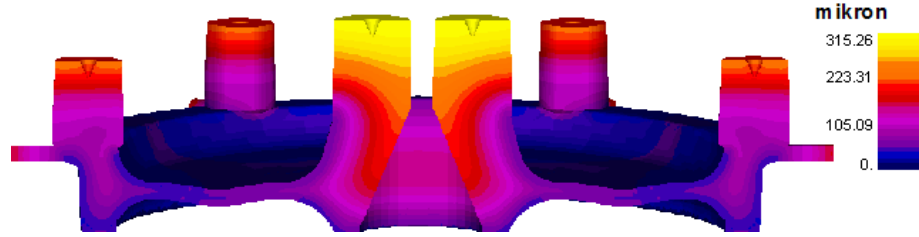
Mikro porozite riskinin sadece besleyiciler üzerinde olduğu görülmektedir.

### 4.1.1.3. Dökümlerin Tane Boyutu Dağılımı Analizleri



Şekil 4.14. Grafit kalıpta katılaştıran dökümün merkez kesit düzleminde ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı.

Çelik dökümlerde  $SDAS = 100 \cdot t^{0.41}$  eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada  $t$  lokal katılaşma zamanını temsil etmektedir.



Şekil 4.15. Bakır kalıpta katılaştıran dökümün merkez kesit düzleminde ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı.

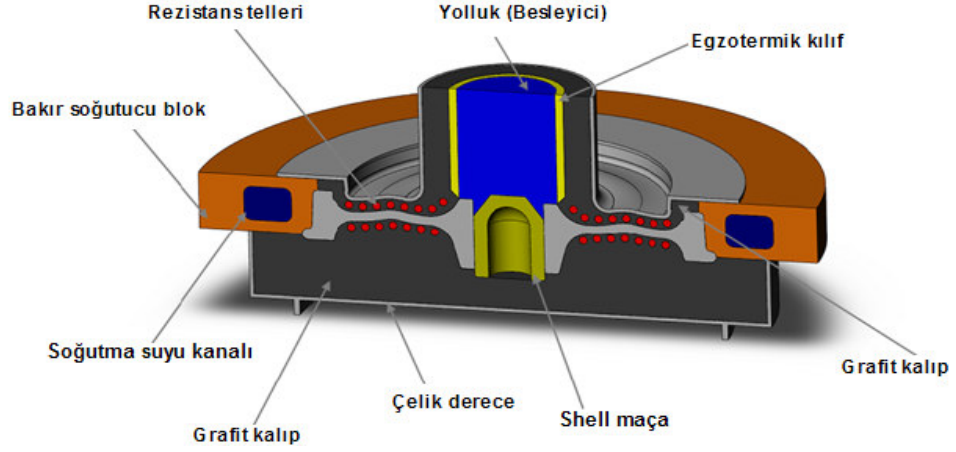
Gerek grafit kalıpta gerekse Cu kalıp kullanmada çekinti riskleri besleyicilerde toplanmaktadır. Ancak, ikincil dentrit kol mesafeleri besleyici bölgelerinde artmaktadır ki bu durum, tekerlek çemberi çevresinde homojen olmayan yapıya neden olacak ve mekanik özellikleri doğrudan etkileyecektir. Dolayısıyla çevreden meme girişi ile döküm öncelikli yöntem olmaktan çıkartılmıştır.

### 4.1.2. Merkezden Sıvı Metal Girişi Durumundaki Döküm Simülasyonları

Bir önceki bölümden SDAS uzunluklarının homojen olmaması nedeniyle sıvı girişinin merkezden yapılarak çemberden besleyici kullanılmaması seçeneği bu bölümde modellenmiştir. Çekmeyi engellemek için kalıp olarak grafit ve çemberde

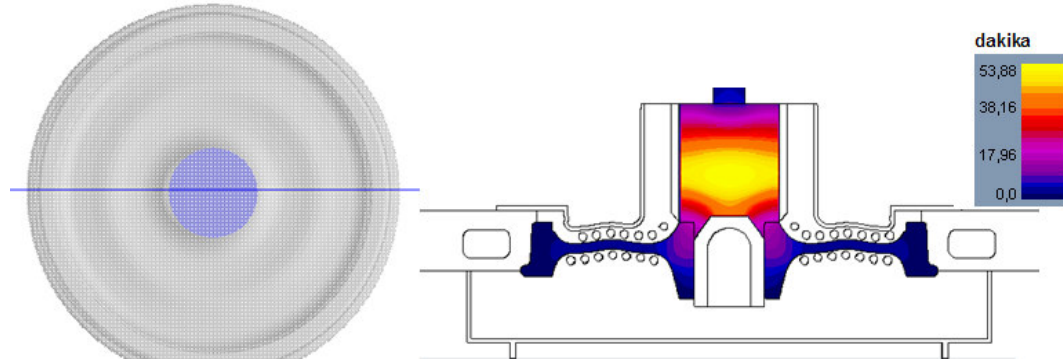


Cu soğutucu seçilmiştir. Döküm yöntemi olarak gravite ve alçak basınç olmak üzere iki yöntem tercih edilmiştir.

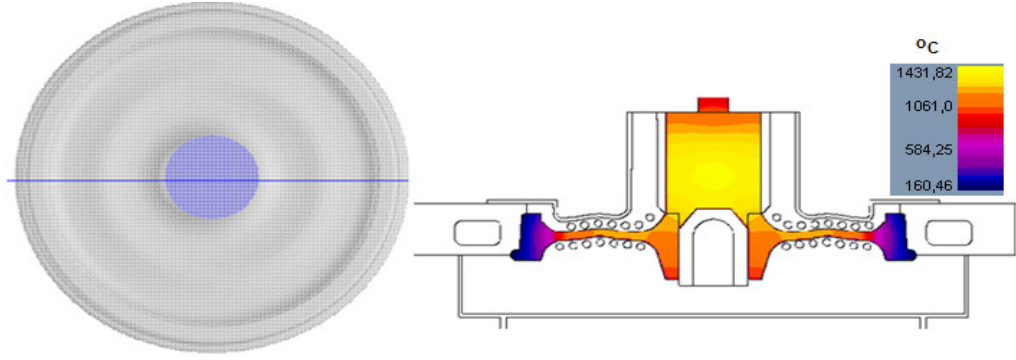


Şekil 4.16. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıba normal (gravite altında) yapılan döküm katı modelinin kesiti.

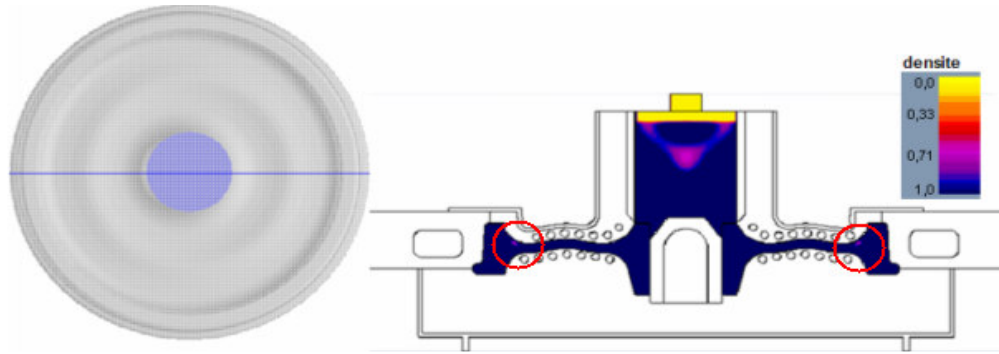
Bu modelde tekerlek flanşındaki kalın kesitlerde besleyici kullanılmadığından hızlı soğutma sağlamak amacı ile su soğutmalı bakır soğutucu (chill) kullanılmıştır.



Şekil 4.17. Şekil 4.16'da verilen döküm modeline göre yapılan simülasyondan alınan ve ekseninden geçen kesit düzleminde katılama zamanı dağılımı.

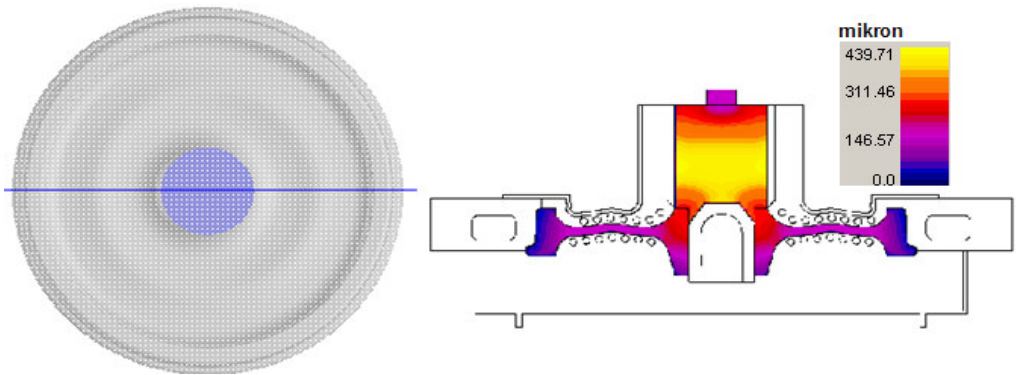


Şekil 4.18. Şekil 4.16'da verilen döküm modeline göre yapılan simülasyondan alınan ve eksenden geçen kesit düzleminde katılaşmanın tamamlandığı andaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.19. Şekil 4.16'da gösterilen döküm modeli için simülasyon sonu analizinde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler.

1 tam dolu 0 ise tam boş bölgeleri temsil etmektedir. Kırmızı ile gösterilen alanlarda azda olsa çekinti riski bulunmaktadır.

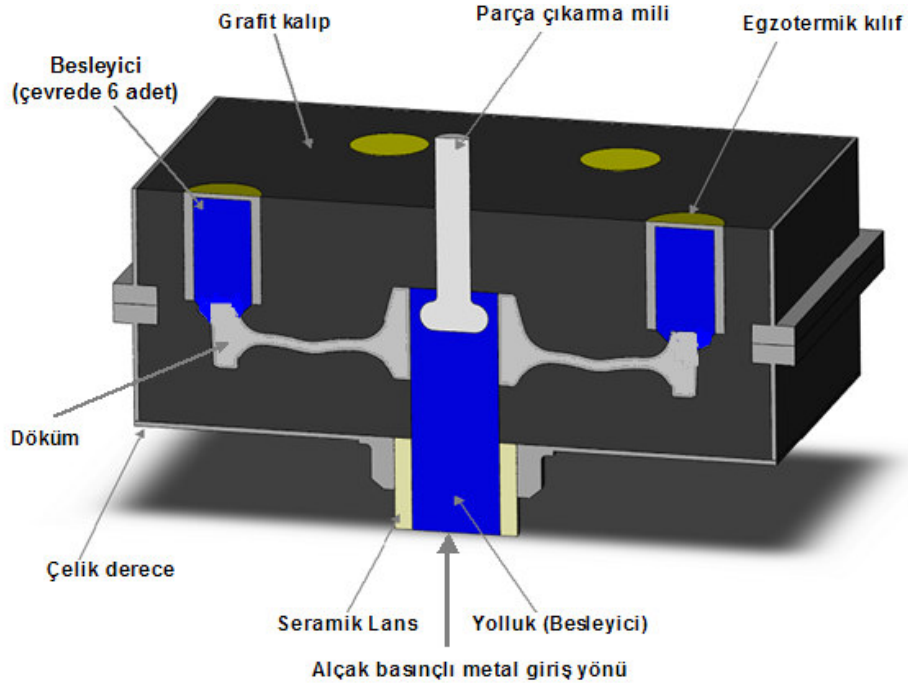


Şekil 4.20. Şekil 4.16'da verilen döküm modeli için yapılan simülasyon ile hesaplanan ve mavi çizgi ile gösterilen kesitte oluşan ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı.

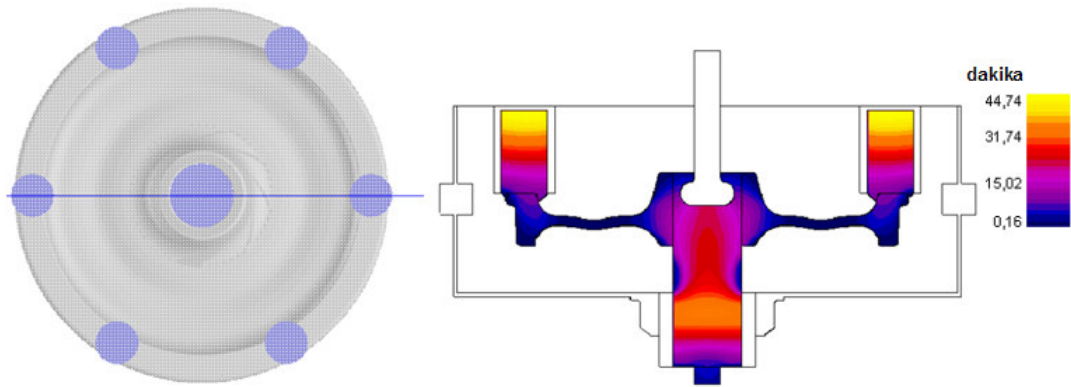


Çelik dökümlerde  $SDAS=100.tsl^{0,41}$  (mikron) yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Burada tsl dakika cinsinden lokal katılaşma zamanını ifade eder.

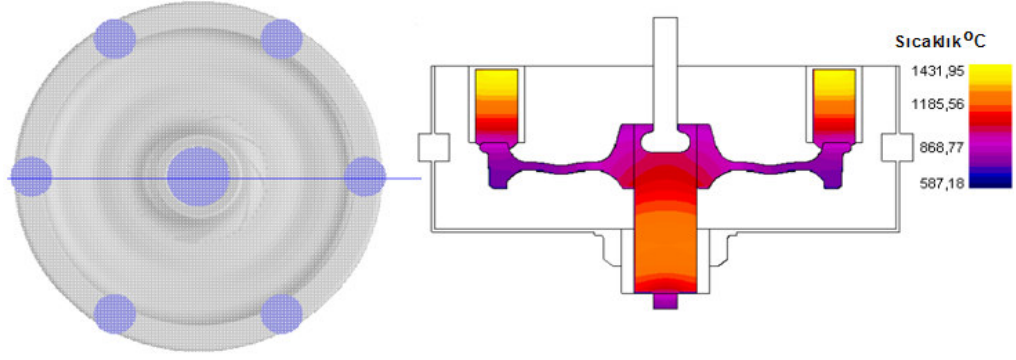
#### 4.1.3. Alçak Basıncı Döküm Yöntemi ve Merkezden Sıvı Girişi ile Yapılan Döküm Simülasyonları



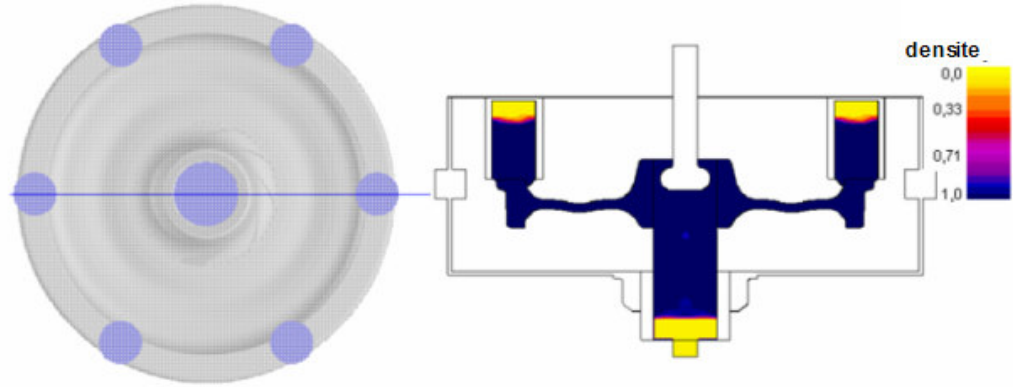
Şekil 4.21. 200 °C ön ısıtılmış grafit kalıba alçak basınç yöntemi ile yöntemi ile yapılan döküm katı modelinin kesiti. Sıvı metal kalıba alttan doldurulmaktadır.



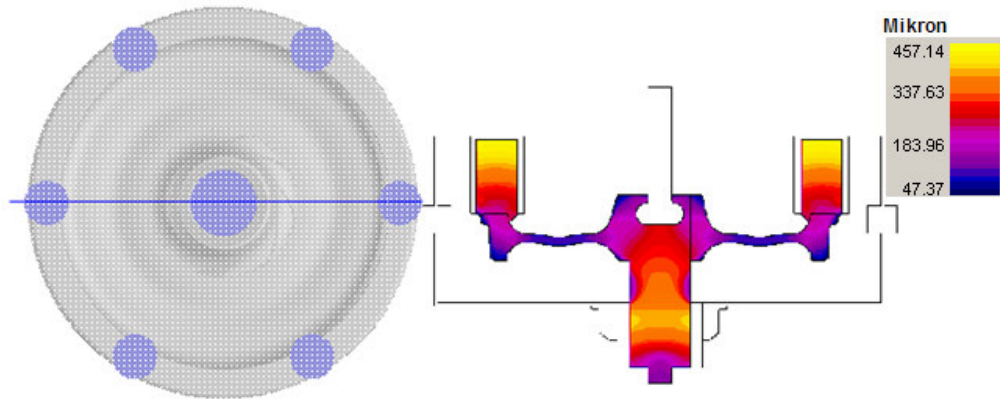
Şekil 4.22. Şekil 4.21'de verilen alçak basınçlı döküm modeline göre modellenen dökümün mavi çizgi ile gösterilen kesit düzleminde alınan katılaşma zamanı profili.



Şekil 4.23. Şekil 4.21’de verilen alçak basınçlı döküm modeline göre modellenen dökümün kesitinden alınan tamamen katılaştığı andaki sıcaklık dağılımı.



Şekil 4.24. Şekil 4.21’de gösterilen alçak basınçlı döküm modeli simülasyon sonu analizinde makro porozite (çekinti) riski taşıyan bölgeler. (1 tam dolu 0 ise tam boş bölgeleri temsil etmektedir).



Şekil 4.25. Şekil 4.21’de gösterilen alçak basınçlı döküm modeli simülasyon sonu analizinde mavi çizgi ile gösterilen kesitte oluşan ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) dağılımı.

Simülasyonlardan, tekerleğin grafit kalıba hem çevreden hem de merkezden sıvı girişi ile mikro kusurlar içermeyecek şekilde katılaştırılmasının mümkün olduğu görülmektedir. Cu kalıpta soğuma hızı grafit kalıba göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun sonucu olarak bakır kalıba dökülen dökümde daha ince bir tane yapısı dağılımı beklenebilir. Diğer taraftan, grafit ve Cu kalıbın ikisinde de çevreden sıvı metal girişi durumunda ikincil dentrit kol mesafesi (SDAS) artmaktadır. Bunun da sertlik ve homojen mikroyapı oluşumunda problem meydana getirme olasılığı vardır.

Simülasyonlardan görülebileceği gibi tekerleğin alçak basınçlı döküm modelinde grafit kalıpta normal makro ve mikro kusurlar içermeyecek şekilde katılaştırılması mümkündür. Bunun yanında alçak basınçta dökülmüş tekerleğin SDAS dağılımları birbirine oldukça yakındır ki döküm sonrası sertleştirme dağılımı problemlerinin daha az olabileceğinin göstergesidir.

#### **4.1.4. Bakır ve Grafit Kalıpla Karşılaştırma**

Grafit ergime noktası açısından Cu kalıptan daha avantajlıdır. Ancak, söz konusu boyutlarda grafit kalıp Türkiye’de bulunmamaktadır. Cu’nun bu dezavantajı kalıp içerisinden su geçirme işlemi veya çok sayıda grafit kalıp komponentleri kullanarak elimine edilebilir.

#### **4.1.5. Alttan Basınçlı Döküm ile Graviti Dökümün Karşılaştırılması**

Altta basınçlı döküm sisteminde döküm malzemesinde muhtemel olabilecek gazların, özgül ağırlığından ve türbülans dolaylı, sıvı metal içerisinde hapsolmesi engellenmektedir. Geleneksel graviti ile döküm yönteminde ise gazların döküm içerisinde kalması nedeniyle döküm sonrası yapının gaz boşluğu içermesine ve malzemenin mekanik özelliklerine olumsuz etkide bulunma ihtimali yüksektir.

Bu çalışmada her ne kadar simülasyon işlemleri Grafit veya Cu kalıp kullanılarak yapılmış olsa da laboratuvar şartlarında döküm işlemi için silis kumu kullanılmıştır. Bunun sebebi Grafit kalıp hazırlanma maliyetinin oldukça yüksek olmasıdır. Diğer taraftan silis kumu ile elde edilen sonuçlar her bakımdan Grafit kalıptan daha

dezavantajlı olacağından (büyük tane boyutu, daha büyük ikincil dentrit kol mesafesi SDAS vb.) öncelikle dövme yapıya yakın silis kumu ile döküm ve ardından Grafit kalıba dökümün daha ekonomik olacağı düşünülmüştür.

#### **4.2. KİMYASAL KOMPOZİSYON BELİRLEME**

İlk aşamada, patentli olan 0.4 C, 0.7 Si ve 1.2 Mn alaşımı dökümü denenmiştir. Patent dışı alaşım tasarımında, C miktarı minimum (0.35) tutularak V ile mikro alaşımlama yapılması daha mantıklı bir yol görülmüştür. C'nun düşük tutulmasının öncelikli nedeni patent kapsamı dışında olması diğeri ise, C'un sebep olduğu sıcak çatlamanın önüne geçilecek olmasıdır. Diğer taraftan, C'un vermiş olduğu sertliğe eşdeğerde sertlik kazandıracak alaşım elementleriyle (V gibi) alaşımlandırma yapılarak literatürde ve patentlerde belirtilenden farklı bir kimyasal bileşiminin tespit edilmesi başka bir yaklaşım olacaktır.

#### **4.3. DÖKÜM SONUÇLARI**

Şekil 4.26'da dökümü yapılan tren tekerleği dilimi gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Dökülmüş tren tekerleği dilimi (Tam tren tekerleğinin 1/16'lık kısmı).

Çizelge 4.1. Döküm yoluyla elde edilen tekerlek diliminin kimyasal analizi.

Alaşım Elemanı	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V
Hedef %	0,37	0,60	1,00	0,03	0,015	0,15	0,30	0,03	0,15	0,25
Döküm %	0,35	0,58	1,00	0,03	0,015	0,15	0,30	0,03	0,15	0,21

Döküm işlemi ve izabesi sonucunda Çizelge 4,1'deki bileşim elde edilmiştir. Hedef bileşim olarak % 0,37 C, % 0,6 Si, % 1,0 Mn seçilmiştir ki Çizelge 4.1 hedef bileşimine oldukça yakındır. C miktarının hedef bileşiminde bir miktar az çıkması C'nun döküm-ergitim sırasında yanmasında kaynaklanmaktadır.

#### 4.4. ISIL İŞLEM SONUÇLARI

Dökümü yapılan tren tekerleği dilimine döküm işleminden meydana gelen bileşim farklılıklarını dengelemek amacıyla difüzyon tavlama yapılmıştır.

Difüzyon tavlama yapılan tekerlek dilimi yüksek sıcaklıkta uzun süre tavlандığı için yapısı iri taneli olmuştur. Tane boyutunu inceltmek ve mekanik özellikleri iyileştirmek için malzeme soğuduktan sonra normalizasyon tavlama tabi tutulmuştur.

Normalizasyon tavlama yapılan tren tekerleği dilimine mekanik özelliklerini artırmak amacıyla su verme işlemi uygulanmıştır. Su verme işleminde madeni yağ kullanılmıştır. Yağda sertleştirmede daha az gerilmeler meydana gelmekte ve buna bağlı olarak da çarpılma, çekme ve çatlama daha az olmaktadır. Yağın bu özelliği, kritik soğuma hızı düşük olan düşük alaşımlı çeliklerin yağda sertleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle diğer su verme ortamları tercih edilmemiştir. Yağ kullanılmasının diğer bir nedeni de orijinal tren tekerleğinin yapısı perlitiktir. Bu çalışmada bu perlitik yapıya yakın bir iç yapı elde edilmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla su ortamında su verilmesi ile yapıda martenzit olma ihtimali daha fazladır. Martenzit çok sert ve kırılabilir bir yapıdır ve tren tekerleği için uygun değildir.

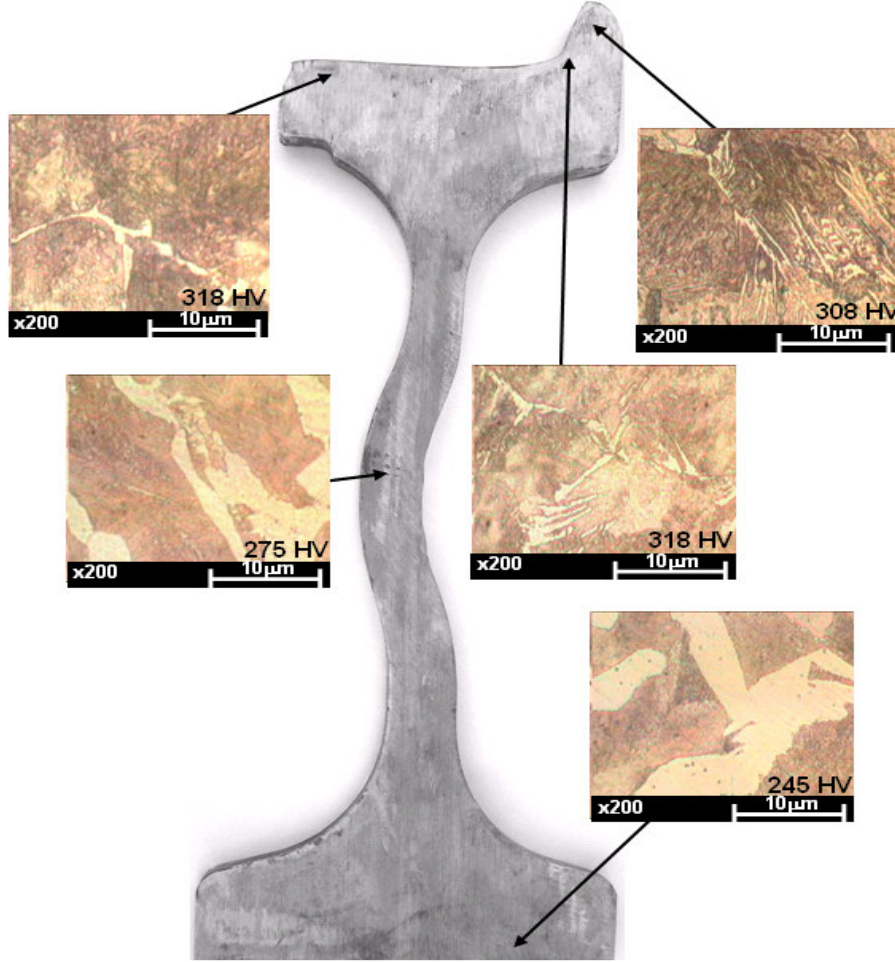
#### **4.5. MİKROYAPI İNCELEMELE SONUÇLARI**

Dökümü yapılan tren tekerleği dilimine uygulanan ısıll işlemlerden sonra mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için orjinal tren tekerleğinin Şekil 4.27’de gösterildiği yerlerinden numuneler çıkarılmış ve mikroyapılar incelenerek mikroyapı haritaları elde edilmiştir.

Döküm yapılan tekerlekte ise en fazla gerilmeye maruz kalan kısımlardan mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

#### 4.5.1. Orijinal Tren Tekerleğinin Mikroyapısı ve Sertlik Değerleri

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi tekerleğinin raya değer kısımları daha çok perlitik yapıda olup sertlik değerleri diğer kısımlara nazaran daha yüksektir. Ayrıca tane yapısı da tekerin göbek kısmına nazaran daha ince tanelidir. Bu da raya değer kısmın aşınma dayanımını ve mukavemet değerlerini arttırmak amacıyla yapılmaktadır.



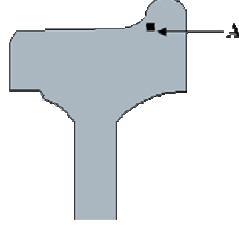
Şekil 4.27. Orijinal tren tekerleği üzerinden çıkarılmış dilimin mikroyapı resimleri ve sertlik değerleri.

Burada dikkat çeken en önemli unsur ferritik yapının dış çemberden merkeze doğru artmasıdır ve sertliğin yaklaşık 318 HV’den merkezde yaklaşık 245 HV’ye düşmesidir. Bu, dış kısımlarda aşınma mukavemetinin daha iyi olmasına karşılık merkeze doğru tokluk değerlerinin artması olarak kendini göstermektedir ki bu durum orantılı olarak yorulma mukavemetinin artışı olarak değerlendirilebilir.

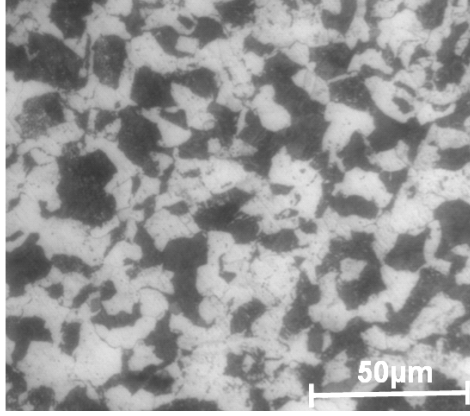


#### 4.5.2. Dökümü Yapılan Tren Tekerleği Diliminin Mikroyapısı

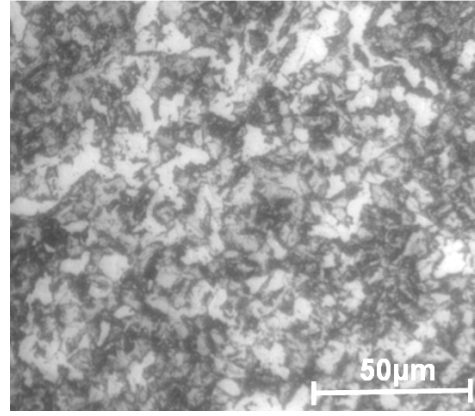
Şekil 4.28’de döküm tekerleğin mikroyapı incelemeleri yapılan kısmı gösterilmektedir. Şekil 4.29’da ise su verme işlemi sayısına bağlı olarak mikroyapıda meydana gelen değişiklikleri göstermektedir.



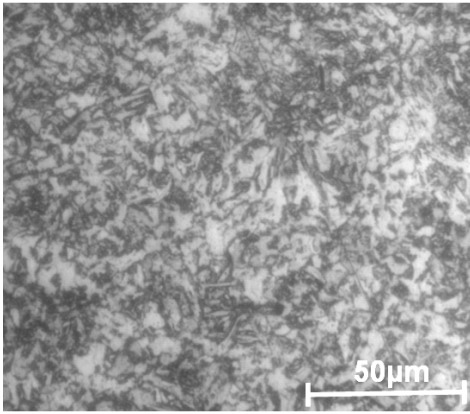
Şekil 4.28. Metalografik inceleme için numunelerinin tekerlek kesitinden alındığı yerler



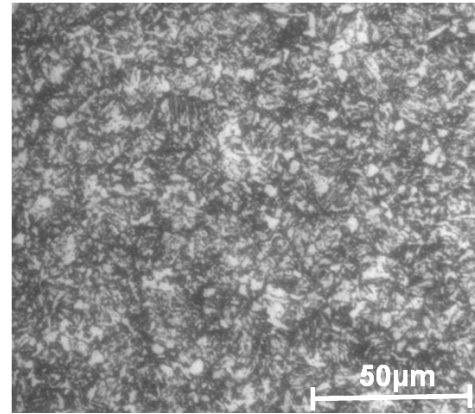
a. Döküm hali



b. 1 defa su verilmiş



c. 3 defa su verilmiş



d. 5 defa su verilmiş

Şekil 4.29. Dökülen tren tekerleği diliminin Şekil 4.28’de gösterilen A noktasından alınan numunelerin su verme işleminden sonraki mikroyapı fotoğrafları.



Orjinal tekerlek numuneleri ve dökülen tekerlek numunelerinin mikroyapıları arasındaki fark ise özellikle içerdikleri karbon oranlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Zira orijinal tekerlek dövmedir ve % 0,6–0,7 karbon ihtiva ederken, döküm tekerlek %0,35 karbon ihtiva etmektedir.

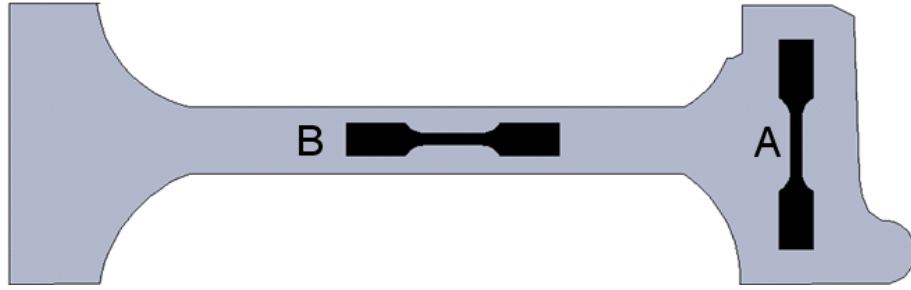
Döküm hali mikroyapısında tane boyutu yaklaşık 30 $\mu$ m civarında olduğu gözlenmektedir. Gerçekte çelik dökümler döküm kesitine bağlı olarak tane boyutu yaklaşık 100–150 $\mu$ m arasında değişmektedir. Bu çalışmadaki yaklaşık 30 $\mu$ m'luk tane boyutu döküm işlemi için oldukça düşük bir boyuttur. Bunun nedeni yapıda bulunan V'a dayandırılabilir. Çelik dökümlerde V tane inceltici olarak geniş kullanım bulunmaktadır. Çelik dökümlerde V potansiyel karbür stabilizörü olarak kullanılır [15]. Çelik dökümlerde alt soğumanın büyüklüğünü, döküm şartları, kesit ölçüsü ve ergiyiğin bileşiminin yanı sıra V miktarı da önemli etki yapmaktadır. V'un karbür stabilize etkisinin yanında %0,1 ile 0,5 aralığında kullanımı chill tanelerinin yapısını rafine etmesinin yanında kaba kolonsal tane yapısını da en aza indirger [25].

Şekil 4.29(b–d)'de ısıtma işlem sayısının artışı ile tane boyutunda dikkate değer oranlarda azalma gözlenmektedir. Çeliklerde tane inceltme metodları olarak östenit aralığında termomekanik işlemler, soğuk deformasyon ve ardından yeniden kristalleşme ve tekrarlı ısıtma işlem ile  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  geçişleri yapmak olarak sıralanabilir [18]. Literatürde tekrarlı ısıtma işlem ile tane inceltmesi çalışmaları diğer yöntemlere oranla oldukça azdır.

Tekrarlı ısıtma işlem sırasında tane inceltmesi faz transformasyonları sırasında tane sınırlarında oluşan gerilmelerden meydana geldiği varsayılmaktadır. Tane sınırlarında meydana gelen gerilmeler dislokasyon yoğunluğu ile bağlantılıdır [6]. Artan dislokasyon yoğunluğu ile yeniden kristalleşme sıcaklığı düşmekte ve tane sınırlarında yeni küçük taneler oluşmaktadır.

#### 4.6. ÇEKME DENEYİ VE SERTLİK SONUÇLARI

Çekme deneyi için dökülen tren tekerleği ve orjinal tren tekerleğinin Şekil 4.31’de gösterilen yerlerinden numuneler çıkarılmıştır. Numuneler tel erezyon ile kesilerek hazırlanmıştır. Tel erezyon kullanılmasının nedeni parçalar kesilirken ısı etkisine maruz kalmaması ve yüzeyin daha pürüzsüz çıkmasının sağlanarak çentik etkisinin olabildiğince azaltılmasıdır.



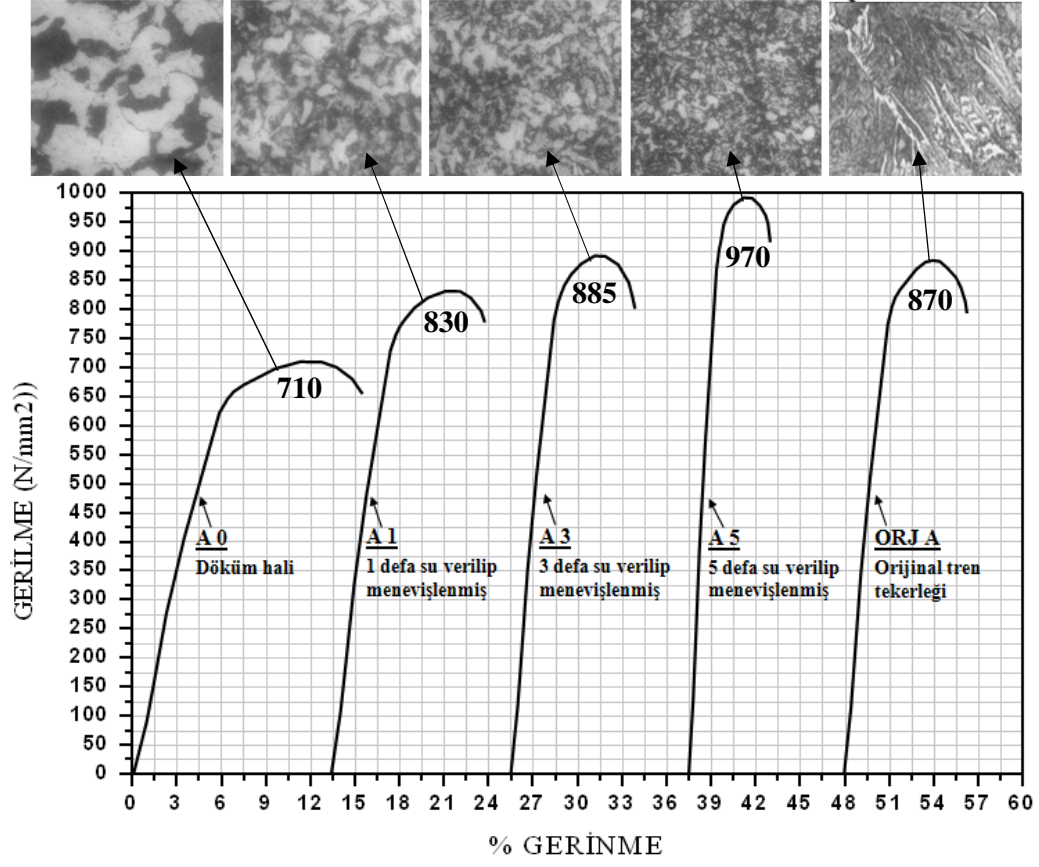
Şekil 4.31. Çekme deney numunelerinin tekerlek kesitinin neresinden alındığı.

Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 sırasıyla A ve B kesitlerinden alınan döküm hali, 1, 3 ve 5 kez su verilmiş numunelerin Gerilme-Uzama max. çekme ve akma dayanım grafiği gösterilmektedir. Grafiklerden her iki kesit için su verme ile orijinal numunelere nazaran % uzamalarda hafif düşüşler gözlenmesine rağmen gerilmelerinde göze çarpan oranlarda yükselme gözlenmektedir. Örneğin 5 defa su verme sonucunda gerilme A kesiti için yaklaşık %38, B kesiti için yaklaşık %45 artış sağlamıştır. A kesitine nazaran B kesitindeki gerilme artışının döküm numunede B kısmında tanelerin daha büyük olması ve döküm hali gerilmesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

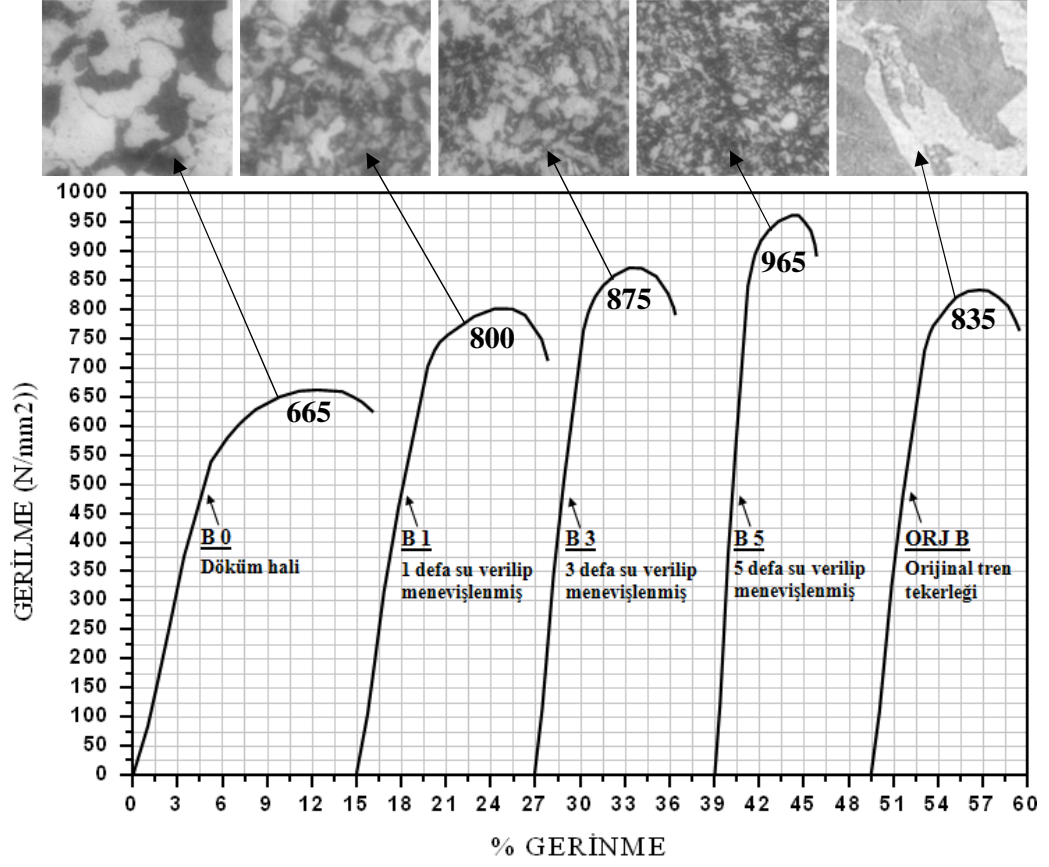
Diğer taraftan orijinal dövme tekerlek ile kıyaslandığında en yakın döküm numunelerin 3 defa su verme ile karşılanabildiği gözlenmektedir. A kesiti için orijinal tekerleğin çekme gerilmesi yaklaşık  $870 \text{ N/mm}^2$ , 3 defa su verme işlemine tabi tutulmuş numunenin ise yaklaşık  $885 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. Aynı durumda B kesiti için orijinal tekerlek yaklaşık  $835 \text{ N/mm}^2$  çekme mukavemeti gösterirken 3 defa su verilmiş döküm numune ise  $875 \text{ N/mm}^2$  mukavemet göstermiştir.

Su verme miktarının artışı ile max. çekme ve akma noktalarının artışı düşen tane boyutuna bağlıdır ve tane boyutu ile malzeme mukavemeti arasındaki ilişki anlatılmaktadır [20]. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırları artacağından dislokasyon hareketinin engelleme ihtimali de o oranda artmakta ve bu mukavemet artışı olarak sonuçlanmaktadır.

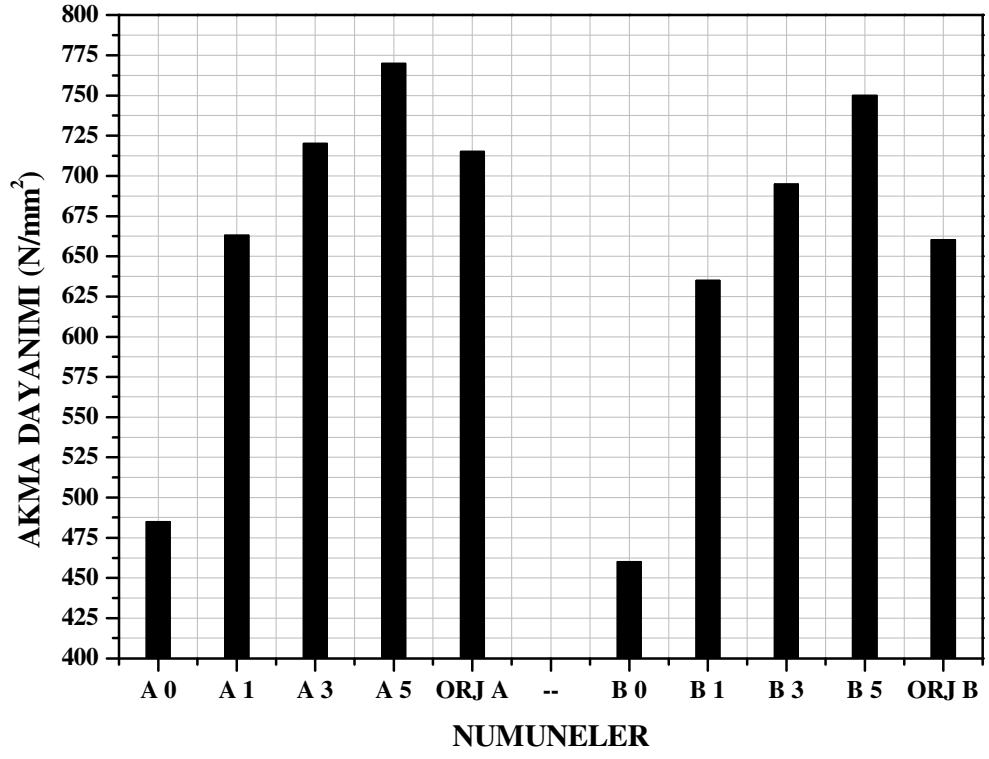
Şekil 4.27’de çember yüzeyindeki tane boyutu dikkate alındığında yaklaşık 10µm olduğu görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 4.28 incelendiğinde yine tane boyutu yaklaşık 8–10µm civarındadır ki bu sonuçlar orijinal tekerlek ile çekme ve akma dayanımlarında benzer değerler göstermiştir. Diğer taraftan mukavemet artışına neden olan bir etki de V ilavesinin tane sınırlarında Fe<sub>3</sub>C’nin çekirdeklenmesi ve karbür morfolojisini değiştirmesi ile de ilişkilendirilebilir [26]. Çünkü, tane sınırlarında öncelikle karbürler çekirdeklenmektedir. Bu karbürler genelde Fe<sub>3</sub>C’dir ve ötektoid üstü çeliklerde Fe<sub>3</sub>C altında perlit olarak kendini gösterir. V ilavesi ile önce Fe<sub>3</sub>C çekirdeklenmekte ve tane sınırları boyunca C’ca zengin bölgeler azalmakta ve bunun sonucu ferrit fazı meydana gelmektedir. Oluşan ince Fe<sub>3</sub>C partikülleri α fazı içerisinde ince dağılmış olarak bulunabilmektedir. Bu tür çekirdeklenme ve ince kesikli fazların oluşumu perlit bileşenlerinin birlikte tam münavebeli büyümesini (fully cooperative growth) de geçiktireceği dikkate alınmalıdır.



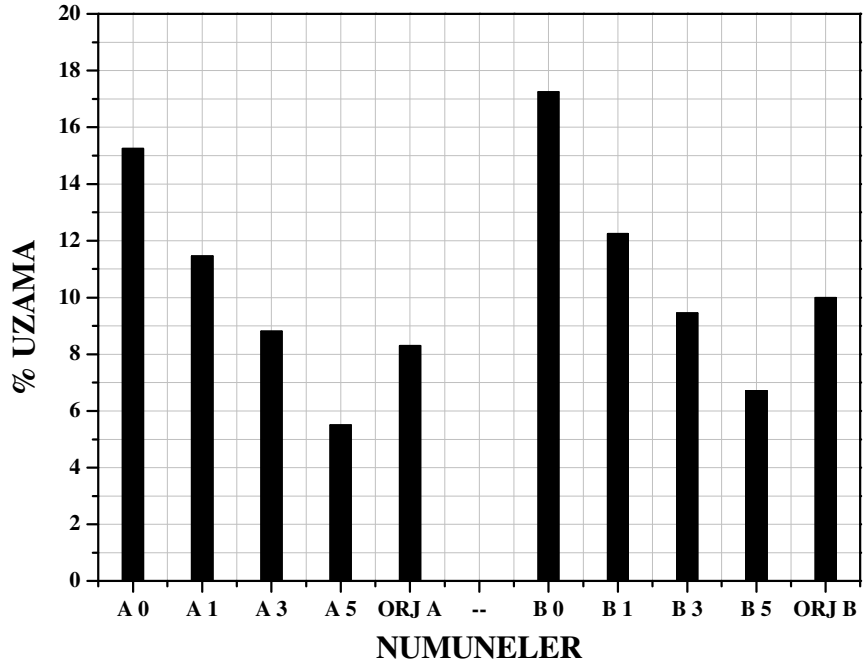
Şekil 4.32. Çekme deney numunelerinin Gerilme – Gerinme grafiği (A Kesiti için).



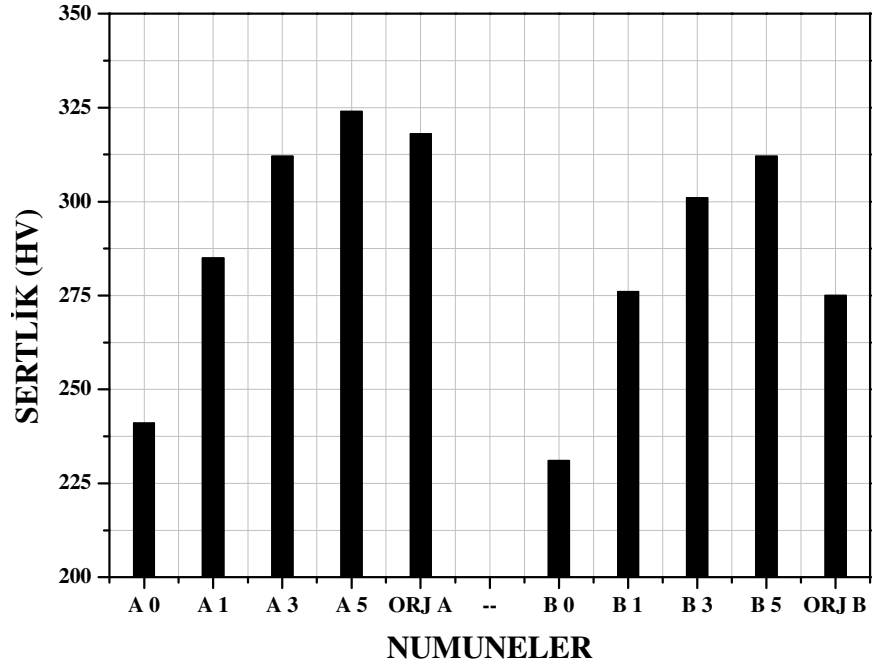
Şekil 4.33. Çekme deney numunelerinin Gerilme – Gerinme grafiği (B Kesiti için).



Şekil 4.34. Çekme deney numunelerinin akma dayanımları.



Şekil 4.35. Çekme deney numunelerinin % uzama değerleri.



Şekil 4.36. Orjinal ve dökülen tren tekerleği diliminin sertlik değerleri (HV).

Şekil 4.35 orijinal ve döküm numunelerin % uzama değerlerini göstermektedir. Su verme işlemi ile birlikte her iki kesitte (A ve B) % uzama miktarlarında oransal olarak azalmalar görülmektedir. Buda her su verme ve ardından yapılan menevişleme işlemi sonucu artan dislokasyon yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Orijinal tren tekerleği ile kıyaslandığında hem A hem de B kesitlerindeki numuneler 3 defa su verme ile benzer % uzama değerleri göstermektedir. Şekil 4.36 ise orijinal ve döküm numunelerin sertlik değerleri gösterilmektedir. A kesitindeki sertlik değeri 3 defa su verilmiş döküm numune ile orijinal tekerlek sertliği elde edilirken, B kesiti için 3 defa su verme ile sertlik bir miktar fazla çıkmaktadır. Ancak, B kesiti gövde kısmı olduğu için buradaki sertliğin tekerlek servis özelliğinde çok fazla etki yapacağı öngörülmektedir ki, ileri bir araştırma konusu gerektirir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Döküm yöntemiyle tren tekerleğinin üretilebilirliği çalışmaları sonuçları; döküm yöntemi ile elde edilen tren tekerleğine uygulanan tekrarlı su verme ısıtma işlemi ile çekme-akma dayanımı ve sertlik değerlerinde yükselme, % uzamada ise bir miktar düşüş göstermiştir. Mikroyapı sonuçları, su verme tekrarı arttıkça döküm sonrası elde edilen mikroyapıya nazaran daha ince taneli bir mikroyapı oluştuğunu göstermiştir. Deneysel sonuçlar, dökülmüş ve ardından uygulanan tekrarlı su verme ısıtma işlemi sonrasında orijinal tren tekerleğinin mukavemet değerlerine oldukça yakın değerlerde mekanik özellikler elde edilebileceğini göstermektedir.

İlerideki çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur;

- a. Mikroyapının su vermeye bağlı perlit, beynit ve martenzit hacim oranları tespit edilebilir.
- b. Bu çalışmada orjinal ve dökülen tren tekerleğinin çekme mukavemeti, akma dayanımı, % uzama ve sertlik değerleri ölçülerek karşılaştırılmıştır. İleriki çalışmalarda ise darbe ve yorulma dayanımları ölçülebilir.
- c. İlave alaşım elemanlarının miktarları değiştirilerek orjinal tren tekerleğinin özelliklerine daha yakın özelliklerde malzemeler üretilebilir.
- d. Değişik soğutma şartlarında elde edilen çökelti miktarının orjinal tren tekerleğinin mekanik özelliklerine etkisi araştırılabilir.



## KAYNAKLAR

1. Türkiye'nin tren tekerleği, demiryolu rayı ve diğer demiryolu elektronik malzemeleri konusunda dışa bağımlı olduğu belirtilmiştir (<http://www.arkitera.com/haberler/2002/01/21/ray.htm>, 2002).
2. T.C. Hazine Dış Ticaret Múřteřarlıđı "Demiryolu Araçları Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu" *ISBN 978.975.19.4110-7 basılı nüsha, Ankara, 90-112* (2007).
3. Devlet Planlama Teşkilatı "Demiryolu Ulaştırması Alt Komisyonu Raporu" *DPT ISBN 975.19.2728-5 basılı nüsha, Ankara, 11-27* (2001).
4. Peters, S., "The prediction of railway noise profiles", *Journal of Sound and Vibration*, 87-99 (1974).
5. Bewes, O. G., Thombson, D. J., Jones, C. J. and Wang, C., "An Experimental validation of a rapid calculation model", *Journal of Sound on Vibration*, 293: 933-943 (2006).
6. United States Patent (Patent no: 5,899,516 - Date of patent: May 4, 1999).
7. United States Patent (Patent no: 6,372,057 - Date of patent: Apr 16, 2002).
8. United States Patent (Patent no: 6,227,591 - Date of patent: May 8, 2001).
9. Tyagnii, V. V., Chuprinal, L. V., Polskii, G. A., Stovpchenko, Yu, A. P., Rozhkova, A. D. and Grishchenko, N., "Current Trends in the Production of Railroad Wheels and the Effect of out-of-Furnace Treatment of the Steel on Their Properties", *Metallurgist*, 50: 7-8 (2006).

10. Rail Wheel Manufacturing Plant Chhapra.
11. Train Wheel Tracking Solution for Scaw Metals.
12. Dövmeye yöntemi ile tren tekerleği üretim işlemleri belirtilmiştir (<http://www.thmc.com.cn/railway/gy/htm 2000>).
13. Brooks, C. R., “Metallography and Microstructures”, *ASM Handbook*, 09: 30-39 (1988).
14. United States Patent (Patent no: 5302217 - Date of patent: April 12, 1994), “Cyclic heat treatment for controlling grain size of castings”.
15. Boyer, H. E., “Casting and Properties of Steels”, *Metals Handbook*, 4: 472-480 (2000).
16. Brooks, C. R., “Heat Treatment of Steels”, *ASM Handbook*, 4: 3-19 (1991).
17. Topbaş, M. A., “Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı”, *Birsene Yayınevi*, İstanbul, (1998).
18. Thelning, K. E., “Çelik ve Isıl İşlemi”, Çeviri Editörü, *Doç.Dr. Adnan Tekin*, (1984).
19. William, F. S., “Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri”, Çeviri Editörü, *Dr. Mehmet Erdoğan*, Ankara, 267-273 (2000).
20. Prabhudev, K. H., “Handbook of Heat Treatment of Steels”, *Tata McGraw Hill Offices*, US, 107-114 (2000).
21. Asil Çelik, “İslah Çelikleri”, *Teknik Yayınlar 6*, Bursa, 50-61 (1987).
22. Yavuz, E., “Isıl İşlemler”, *Endüstri Meslek Lisesi Metalurji Bölümü*, İstanbul, 73-82 (1990).

23. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, *Derya Kitapevi*, Trabzon, 175-186: 215-227 (1999).
24. TÜDEMSAŞ Genel Müdürlüğü 1293B nolu Teknik Şartnamesi.
25. Davis, J. R., “Alloying: Understanding the Basics” *ASM International*, Ohio, 119-122 (2001).
26. Wang, P., Chen, J., Liu, S., Xu, Z.Y., “Effect of Cyclic Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of CLF-1 Steel”, *31. Developing Fusion Materials Ferritic/Martensitic and ODS Steel*, ICFRM, 255-260 (2007).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Harun ÇUĞ, 1981'de Karabük'te doğdu; ilk ve ortaöğrenimini Safranbolu'da tamamladı; 1999 yılında Karabük Anadolu Ticaret Meslek Lisesi Bilgi İşlem Bölümünden mezun oldu; 2001 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'ne girdi; 2005 yılında "iyi" derece ile mezun oldu; 2006 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans programına devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Emek Mahallesi Burcu Sitesi B-7  
Safranbolu / KARABÜK

Ev Tel : (370) 725 32 64

Cep Tel : (544) 842 62 08

E-posta : hcug@karabuk.edu.tr