

**Cr - Mo ELEMENTLERİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ 42CrMo4 VE  
30MnB4 ÇELİKLERDE ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE  
ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YASEMİN ERDOĞAN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
OCAK - 2022**

**Cr - Mo ELEMENTLERİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ 42CrMo4 VE  
30MnB4 ÇELİKLERDE ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE  
ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YASEMİN ERDOĞAN**

ORCID: 0000-0002-8309-0544

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Onur GÜVEN**

ORCID: 0000-0002-8101-4871

**MERSİN  
OCAK - 2022**

## ÖZET

### Cr - Mo ELEMENTLERİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ 42CrMo4 VE 30MnB4 ÇELİKLERDE ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Günümüzde ıslah çeliklerinin civata üretimlerinde yaygın kullanılmasıyla beraber teknolojinin gelişmesi ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için ısıtım işlem yöntemleri çok önem kazanmaktadır. Malzemenin kimyasal bileşimi, metalografik iç yapısındaki değişimler uygulanan ısıtım işlem yöntemleri ile ilişkilidir. Yüksek mukavemetli bir bağlantı elemanını irdelerken, tanımı anlamak önemlidir. Yüksek Mukavemet, kullanılacak malzemenin kalitesine bağlıdır. Kullanım durumunda yüksek dayanımlı çeliklerin gelişmesi için yürütülen çalışmaların üretim süreçleri, ısıtım işlem ve kimyasal bileşimi dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma kapsamında yüksek mukavemetli olan 10.9 kalite bir civata yapımında kullanılan 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 malzemeleri ısıtım işlem uygulamalarına tabi tutularak mekanik davranışları irdelendi. Bu iki malzeme ilk olarak ıslah işlemi görmeden çekme, darbe ve çentik testleri gerçekleştirildi. Daha sonra hazırlanan 10 adet numune farklı temperleme işlemleri uygulanarak en uygun sıcaklık değerleri belirlendi. Temperleme sonrasında hazırlanan numuneler çekme, darbe ve sertlik deneyleri ile mekanik özellikleri bulundu. Ayrıca her bir numunenin ısıtım işlem sonrası mikroyapıları incelendi.

Sonuç olarak temperleme sıcaklıklarının değiştirilmesi ile 30MnB4 malzemesinin 10.9 kalite bir civatanın istendiği mekanik özelliklerine sahip olabileceği tespit edilmiştir. Bulunan deneysel mekanik değerleri ile tablolar halinde sonuçlar bölümünde yer verilmiştir. Bu malzemeler farklı ısıtım şartları altında benzer mukavemet değerleri görüldüğü saptanmıştır. 30MnB4 malzemesi, 42CrMo4 MOD malzemesine göre hem daha az maliyetli olup hemde 10.9 kalite mukavemet değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu malzemelerin kullanılacağı sanayi ve benzeri alanlarda mekanik değerlerine ulaşamaması sebebiyle literature veriler kazandırılmıştır. Literatüre alternatif olarak 30MnB4 malzeme çeşitliliği kazandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 30MnB4 Çeliği, 42CrMo4 MOD Çeliği, Isıtım İşlem, Sertleştirme, Temperleme

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Onur GÜVEN, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED 42CrMo4 AND 30MnB4 STEELS WITH Cr - Mo ELEMENTS

Nowadays, with the widespread use of breeding steels in bolt production, heat treatment methods have become very important for improving their mechanical properties with the development of technology. The chemical composition of the material, changes in its metallographic internal structure are associated with the applied methods of heat treatment. When inspecting a high-strength fastener, it is important to understand the definition. High Strength depends on the quality of the material to be used. In case of use, the production processes, heat treatment and chemical composition of the work carried out for the development of high-strength steels should be taken into account.

In the scope of this study, 42CrMo4 MOD and 30MnB4 materials used in the construction of a high-strength 10.9 quality bolt were subjected to heat treatment applications and their mechanical behavior was examined. These two materials were first subjected to tensile, impact and notch tests without undergoing a reclamation process. Then, the most suitable temperature values were determined by applying different tempering processes to 10 prepared samples. The mechanical properties of the samples prepared after tempering were found by tensile, impact and hardness tests. In addition, the microstructures of each sample after heat treatment were examined. As a result, it was determined that 30MnB4 material can have the desired mechanical properties of a 10.9 quality bolt by changing the tempering temperatures. The experimental mechanical values found and the results in the form of tables are given in the results section. It was found that similar strength values were observed under different heat treatment conditions of these materials. It has been determined that 30MnB4 material costs less than 42CrMo4 MOD material and reaches 10.9 quality strength values. Due to the fact that the mechanical values of these materials cannot be reached in the industry and similar areas where they will be used, data have been provided to the literature. As an alternative to the literature, a variety of 30MnB4 materials has been introduced.

**Keywords:** 30MnB4 Steel, 42CrMo4 MOD Steel, Heat Treatment, Quenching, Tempering

**Advisor:** Assist. Assoc. Dr. Onur GÜVEN, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimde çalışmalarımı tamamlama konusunda değerli katkılarını ve desteği ile bana yön veren, deneyim ve tecrübesini bana aktaran danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Onur GÜVEN başta olmak üzere;

Tez çalışmalarımda bana yol gösteren, bilgi ve desteğiyle bana ilham olan ve sağladığı katkılar ile hiçbir zaman yardımını esirgemeyen saygıdeğer meslektaşım Yunus DİLBİR'e;

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, bilgi ve desteği ile bana ışık tutan, deneyim ve tecrübesini bana aktaran çok kıymetli abim Sayın Dr. Öğr. Üyesi Beytullah ERDOĞAN'a;

Tez süreçlerimde malzeme hazırlığı, ekipman kullanımı ve laboratuvar süreç desteklerinden dolayı Berdan Civata şirketine;

Yalnız bu süreçte değil hayatımın her anında sevgi, anlayış, sabır ve desteğini esirgemeyen ve hep yanımda olan aileme sabrı ve fedakârlığı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xiii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK VE LİTERATÜR TEZ ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
2.1. Çelikler Hakkında Genel Bir Bilgi	3
2.2. Karbonlu Çelikler	3
2.3. Alaşımli Çelikler	3
2.4. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi	4
2.4.1. Karbon (C)	4
2.4.2. Mangan (Mn)	4
2.4.3. Silisyum (Si)	5
2.4.4. Krom (Cr)	5
2.4.5. Molibden (Mo)	6
2.4.6. Fosfor (P)	6
2.4.7. Kükürt (S)	7
2.4.8. Bakır (Cu)	7
2.4.9. Demir (Fe)	8
2.4.10. Bor (B)	8
2.5. Isıl İşlem ve Süreçleri	9
2.6. Malzemelere Uygulanan Isıl İşlem Ve Yöntemlerin İrdelenmesi	15
2.6.1. Yumuşatma Tavlaması	16
2.6.2. Normalleştirme Tavlaması	16
2.6.3. Gerilim Giderme Tavlaması	17
2.6.4. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması	17
2.7. Malzemeler İle İlgili Literatür Tez Araştırması	17
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>22</b>
3.1. 42CrMo4 Ve 30MnB4 Çeliklerinin Standart Değerlerinin İncelenmesi	22
3.1.1. Malzeme	24
3.1.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	25
3.2. Deneylerin Yapılışı	27
3.2.1. Numunelerin Isıl İşlemi ve Süreçleri	28
3.3. Karakterizasyon Çalışmaları	30
3.3.1. Çekme Deneyi	30
3.3.2. Darbe Deneyi	32
3.3.3. Metalografik İnceleme	35
3.3.3.1. Mikroyapı Numune Hazırlama (Kesme İşlemi)	36
3.3.3.2. Bakalite Alma	36
3.3.3.3. Zımparalama İşlemi	37
3.3.3.4. Parlatma İşlemi	38
3.3.3.5. Dağlama İşlemi	38
3.3.4. Mikrosertlik Ölçümü	39

---

3.3.5. Mikroyapı İncelemesi	41
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>42</b>
4.1. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi	45
<b>5. SONUÇLAR</b>	<b>49</b>
<b>6. ÖNERİLER</b>	<b>52</b>
<hr/>	
KAYNAKLAR	53
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	66

---



## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2. 1. Karbonlu çeliklerin sınıflandırılması	3
Tablo 3. 1. Çalışma proses süreçleri	22
Tablo 3. 2. Deneyde kullanılan malzemelerin standartta karşılığı.	22
Tablo 3. 3. İslah ve temperlenmiş şartlar altında 42CrMo4 çeliğinin mekanik değerleri	23
Tablo 3. 4. 30MnB4 çeliğinin mekanik değerleri	23
Tablo 3. 5. 42CrMo4 ve 30MnB4 çeliklerinin standart kimyasal kompozisyonu	24
Tablo 3. 6. 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çeliklerinin ıslahsız hammaddeden kimyasal analizi	25
Tablo 3. 7. Soğutma için bekleme ve sıcaklık değerleri	34
Tablo 3. 8. Kullanılan zımpara kağıdı özellikleri	37
Tablo 3. 9. Isıl işlem uygulanmadan mikrosertlik iz ölçüm değerleri	40
Tablo 5. 1. Isıl işlemsiz elde edilen mekanik değerler.	49
Tablo 5. 2. 30MnB4 malzemesinin ısı işlem sonrası deneysel mekanik değerleri.	49
Tablo 5. 3. 42CrMo4 MOD malzemesinin ısı işlem sonrası deneysel mekanik değerleri.	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1. Karbon	4
Şekil 2. 2. Mangan	5
Şekil 2. 3. Silisyum	5
Şekil 2. 4. Krom	6
Şekil 2. 5. Molibden	6
Şekil 2. 6. Fosfor	6
Şekil 2. 7. Kükürt	7
Şekil 2. 8. Bakır	8
Şekil 2. 9. Demir	8
Şekil 2. 10. Bor	9
Şekil 2. 11. TTT diyagramı	10
Şekil 2. 12. Fe - C denge diyagramı	11
Şekil 2. 13. 800°C sıcaklıkta Ck45, zaman sıcaklık östenitleme diyagramı	12
Şekil 2. 14. Kimyasal bileşimdeki değişimlerin TTT diyagramlarına etkisi	12
Şekil 2. 15. Fe-C denge diyagramı ve sürekli TTT diyagram ilişkisi	13
Şekil 2. 16. 34Cr4 çeliği için TTT diyagram incelemesi	14
Şekil 2. 17. 34Cr4 için TTT diyagram incelemesi	15
Şekil 2. 18. Farklı değişim hızlarında çeliklerin sertlik değişimleri	17
Şekil 2. 19. İş parçası	18
Şekil 2. 20. Deneysel yorulma eğrileri	19
Şekil 2. 21. Temperleme sıcaklıklarına göre çekme dayanımları karşılaştırılması	19
Şekil 2. 22. Sertlik ölçüm grafikleri	20
Şekil 2. 23. Tel çubuk numuneleri	20
Şekil 2. 24. 30MnB çeliğinin aşınma direnci ve sertlik değerleri arasındaki ilişki	21
Şekil 2. 25. Meneviş sonrası akma mukavemetlerinin karşılaştırılması	21
Şekil 3. 1. Deneyde kullanılan kimyasal analiz cihazı.	25
Şekil 3. 2. Deneyde kullanılan numuneler	26
Şekil 3. 3. Deneyde kullanılan markalama makinesi	26
Şekil 3. 4. Çekme deney numunesi teknik resmi	27
Şekil 3. 5. Çentik deney numunesi teknik resmi	27
Şekil 3. 6. Mikroyapı deney numunesi teknik resmi.	27
Şekil 3. 7. 30MnB4 deney akış şeması	28
Şekil 3. 8. 42CrMo4 MOD deney akış şeması	28
Şekil 3. 9. Isıl işlem süreci	29
Şekil 3. 10. Isıl işlem fırının ısınma grafiği	29
Şekil 3. 11. Isıl işlem sonrası işlenmiş çekme numuneleri.	31
Şekil 3. 12. Isıl işlem uygulanmadan işlenmiş çekme numuneleri.	31
Şekil 3. 13. Çekme test cihazı.	31
Şekil 3. 14. Çentik açma makinası	33
Şekil 3. 15. Freze tezgâhında işlenen V çentik numunesi	33
Şekil 3. 16. Darbe deneyinin teknik olarak çizimi	34
Şekil 3. 17. Charpy çentik darbe cihazı.	35
Şekil 3. 18. Deney parçası desteklerinin ve örslerin yerleşimi	35
Şekil 3. 19. Bakalitleme cihazı	36
Şekil 3. 20. Bakalitlemiş test numune gösterimi	37
Şekil 3. 21. Zımparalama Ve Parlatma Test Cihazı	38
Şekil 3. 22. Dağlama sonucu test numune gösterimi	39
Şekil 4. 1. 42CrMo4 MOD çeliğin ısıtılma uygulanmadan önceki mikroyapısı.	42
Şekil 4. 2. 30MnB4 çeliğin ısıtılma uygulanmadan önceki mikroyapısı.	42
Şekil 4. 3. Ön ısıtılma işlemine tabi tutulmuş 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı.	43

Şekil 4. 4. Ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı	43
Şekil 4. 5. Sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı.	44
Şekil 4. 6. Sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı.	44
Şekil 4. 7. Meneviş işlemi uygulanmış 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı (400X).	45
Şekil 4. 8. Meneviş işlemi uygulanmış 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı (400X).	45
Şekil 4. 9. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve Çekme mukavemetleri ilişkisi.	46
Şekil 4. 10. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve akma mukavemetleri ilişkisi.	46
Şekil 4. 11. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve kopma uzamalarının ilişkisi	47
Şekil 4. 12. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve kesit daralmalarının ilişkisi	47
Şekil 4. 13. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve ortalama mikro sertlik değerlerinin ilişkisi	48
Şekil 4. 14. İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve ortalama çentik darbe değerlerinin ilişkisi	48
Şekil 5. 1. 42CrMo4 ile 30MnB4 çeliğinin fiyat kıyaslaması	51

---



## SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltma/Simge	Tanım
Ø	Kesit
TTT	Zaman, Sıcaklık ve Dönüşüm Diyagramı
A	Dönüşüm sıcaklığı
A <sub>c</sub>	Isıtma sıcaklığı
A <sub>r</sub>	Soğutma sıcaklığı
A <sub>1</sub>	Ötektoid Sıcaklığı
A <sub>3</sub>	Östenit Sıcaklığı
M <sub>s</sub>	Martenzit başlangıç sıcaklığı
M <sub>f</sub>	Martenzit bitiş sıcaklığı
A <sub>CM</sub>	Fe <sub>3</sub> C başlangıç sıcaklığı
TTA	Zaman, Sıcaklık ve Östenitleme Diyagramı
HMK	Hacim Merkezli Kübik
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
°C	Santigrat Derece
dk	Dakika
s	Saniye
MPa	Megapaskal
HV	Vickers
J	Joule
kN	Kilonewton
U	Uzama
R <sub>m</sub>	Kopma Mukavemeti
R <sub>y</sub>	Akma Mukavemeti
Z	Kesit Daralması
L	Son Ölçü Boyu
A <sub>0</sub>	Başlangıç Kesit Alanı
L <sub>0</sub>	Başlangıç Ölçü Boyu
KE	Kırılma Enerjisi
G	Ağırlık
h	Yükseklik
β,α	Salınım Açısı
l	Sarkaç Boyu
E	Elastisite Modülü
σ	Gerilme
ε	Gerinim
t	Malzeme kalınlığı
Kg	Kilogram
d <sub>0,d</sub>	Çap

## 1. GİRİŞ

Bugün gelişen teknolojiyi en iyi şekilde kullanıp ve çelik sektöründe hızla gelişme sağlayan sektörler arasında artan bir rekabet ortamı ve ürün çeşitliliğinin artması üreticileri maliyet azaltma yönünde çalışmalara yöneltmiştir. Düşük alaşımli çelikler grubunda olan 30MnB4 ve 42CrMo4 MOD çelikleri Savunma sanayisinde, Otomotiv sanayisinde ve hayatımızın birçok alanında bağlantı elemanları sektöründe kullanılmaktadır. 30MnB4 ve 42CrMo4 MOD çelikleri, bağlantı elemanları grubundan özellikle 8.8, 10.9, 12.9 gibi yüksek dayanımlı civata üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. 8.8, 10.9, 12.9 gibi yüksek dayanımlı civatalar için gereken yüksek dayanım değerlerini sağlamak için literatürde yeni malzeme ve üretim yöntemleri çalışmaları devam etmektedir. Mühendislik uygulamaları ve günlük uygulamalarda yaygın olarak kullanılması sebebiyle mühendislik açısından ayrıca araştırılması gereken bir konu olmuştur.

42CrMo4 MOD çeliği bağlantı elemanları sektöründe yaygın bir kullanım alanı vardır. 42CrMo4 MOD çeliğinin mekanik olarak 30MnB4 çeliğinden daha iyi özelliklere sahiptir. Bu özelliğinden dolayı yüksek dayanım ve tokluk gerektiren yerlerde tercih sebebi olmaktadır. 42CrMo4 MOD çeliğinin diğerlerinden üstün özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleridir. Isıl işlem sertleştirme sonrasında martenzit yapı oluşturabilmesi, statik olarak süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada elde edilmesini sağlamaktadır [1]. Çeliklerde sünekliği koruyarak mukavemeti arttırmak için değişik türde alaşım elementleri katılabilir. Alaşım elementleri mukavemet, sertlik ve tokluğu arttırmaktan başka sertleşme kabiliyeti, korozyon ve yüksek sıcaklığa dayanım gibi özellikleri de sağlayabilirler. Bu amaçla çeliğe değişik oranda Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W, V ve Ti gibi elementler ilave edilebilirler. Bu çelikler de alaşımli çelikler grubuna girerler [2]. Bu olumsuz etkiyi önlemek için, uygun su verme sıcaklığının seçilmesi çok önemlidir [2-3]. Uygulanan östenitleme işlemi ve sonrası ısıl işlem şartlarına bağlı olarak, farklı metalürjik özelliklerle birlikte malzemelerin aşınma davranışını da değiştirmektedir. Bu nedenle kullanılacak malzemelerin temperleme sonrası mekanik özellikleri saptanmaktadır [3-4].

Borlu çelikler, su verme işlemine uygun olması sebebiyle civata üreticileri tarafından tercih sebebi olan malzemelerden birisidir. Borlu çelikler, Cr ve Mo elementi yerine Mn ve B elementini içeren düşük alaşımli bir çeliktir. Borlu çelikler, mekanik değerlerinin farklı ısıl işlem koşulları altında literatürde çok fazla bilgiye ulaşılammıştır [5]. Isıl işlem yöntemleri ile borlu çeliklerin akma ve çekme mukavemetlerinin önemli ölçüde iyileştirildiği görülmektedir. Ayrıca borlu çeliklerde ısıl işlem yöntemleri ile malzemelerin aşınma davranışı ve deformasyon özelliklerinin de iyileştirildiği de bilinmektedir [5]. Borlu çelikler yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip alaşımli çeliklerdir. Kolay işlenebilir olmaları ve uygulanan ısıl işlemleri sonrasında da çok iyi mekanik özellikler sergilemeleri bu tip çeliklerin en önemli özelliklerindedir [6].

Bu sebeple Berdan Cıvata A. Ş. nin malzeme, ekipman ve laboratuvar imkanlarını kullanarak yürüttüğümüz çalışmamızda bu malzeme sınıfından birisi olan 30MnB4 malzemesi kullanılmıştır. Bu malzeme Düz filmaşin halinde Kroman Çelik fabrikasından tedarik edilmiştir. 42CrMo4 MOD malzemesi sıcak haddelenmiş halinde Asilçelik firmasından tedarik edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında 30MnB4 malzemesinin mekanik özellikleri farklı ısıl işlem koşullarında Berdan Cıvata Test Laboratuvarlarında araştırılıp literatüre kazandırılmıştır.



## 2. KAYNAK VE LİTERATÜR TEZ ARAŞTIRMALARI

Literatürde son zamanlarda pek çok araştırmacı malzemelerle ilgili malzeme cinslerini, kullanılan ekipmanı, yapılan test yöntemleri, farklı ıslah koşulları gibi parametreleri değiştirerek bazı çözümler üretmişlerdir. Cıvata imalatlarında büyük kuvvetler söz konusu değilse cıvata malzemelerinde DIN (alman standartlarına) göre yapı çelikleri kullanılmaktadır. Çelik kalitesi yükseldikçe işlenmesi güçleşir. Bu sebeple özel uygulamalarda C harfi ile adlandırılan alaşımsız çelikler ve alaşımlı çelikler de kullanılır.

### 2.1. Çelikler Hakkında Genel Bir Bilgi

Çelik, bir Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Çeliğe başka farklı oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde kaliteli çelik elde edilir. Çelik iki temel özellikte endüstriyel ortama hazırlanır. Bunlar: Karbonlu çelikler ve Alaşımlı çeliklerdir [7].

### 2.2. Karbonlu Çelikler

Karbonlu çelikler, bulundukları karbon miktarına göre 3 sınıfa ayrılırlar. Tablo 2.1’de bu çelik grubuna yer verilmiştir.

**Tablo 2. 1.** Karbonlu çeliklerin sınıflandırılması [7].

Çelik Türü	% Min.	% Max.
Düşük Karbonlu	0,08	0,25
Orta Karbonlu	0,30	0,50
Yüksek Karbonlu	0,55	0,95

### 2.3. Alaşımlı Çelikler

Alaşımlı çelik, çeşitli elementlerle alaşımlanmış bir çelik türünü ifade eder. Literatürde, çelik %2,06'ya kadar karbonla demir alaşımlı olduğundan, her çelik alaşımlı çelik olarak adlandırılabilir. Alaşımlı çelik, terimi genellikle karbon dışındaki elementlerle alaşımlanmış çelikleri ifade eder. Eğer kimyasal bileşim içerisinde herhangi bir alaşım elementinden en az miktarda bile içermesi istenmiyorsa bu çelikler karbon çelikleri grubuna girer [8].

## 2.4. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi

Literatürde çok çeşitli alaşım elementleri vardır. Bu çalışma kapsamında çalışılan malzemelerin kimyasal bileşimlerinde bulunan elementlerin bilgilerine yer verilmiştir.

### 2.4.1. Karbon (C)

Şekil 2.1' de görüldüğü üzere Karbon, çelikte mekanik mukavemeti önemli ölçüde artıran güçlü bir östenit oluşturunca elementtir. Ferritik kalitelerde karbon, hem tokluğu hem de korozyon direncini büyük ölçüde azaltır. Martenzitik kalitelerde karbon, sertliği ve mukavemeti artırır, ancak tokluğu azaltır [9]. Çeliğin sertleşebilmesi için malzeme içerisinde yeterli oranda bulunması gerekir. Karbon oranı arttıkça çeliğin sertliği ve dayanımı da yükselir. Ancak tokluk, dövülme, kaynak edilebilme ve talaşlı işlenebilirliği düşer. Karbon malzeme de sertliği arttırdığı için yüksek sertlik istenen çeliklerde yüksek oranda bulunmalıdır [10].



Şekil 2. 1. Karbon [12].

### 2.4.2. Mangan (Mn)

Çelikte %0,80 oranlarında deoksidasyonu olarak, %1 ve üzeri mukavemet artışı sağlar. Östenit sıcaklığını düşürürler. Bu nedenle Mn'lı çeliklerin ısıtılmasında deformasyon az miktarda olur. Ayrıca çelikte darbe direnci ve sertlik derinliğini arttırmaları. Alaşım çelikte mangan elementi kükürt ve fosfor ile beraber kullanılır. Şekil 2.2' de görülen Mangan elementi, çelikte kırılabilirliği azaltır, dövülebilirliği, çekme mukavemeti, sünekliği ve aşınmaya karşı direnci artırır [8-9].



**Şekil 2. 2.** Mangan [12].

### **2.4.3. Silisyum (Si)**

Silisyum, hem yüksek sıcaklıklarda hem de düşük sıcaklıklarda güçlü oksitleyici çözeltilerde oksidasyona karşı direnci artırır. Şekil 2.3' te silisyumun görseli bulunmaktadır. Silisyum, ferritik bir mikro yapıyı destekler ve mukavemeti artırır Yani malzemede mukavemet artışı, sertlik artışı, yaylanma özelliği ve manyetik özelliğini ve döküm esnasında akışkanlığını artırır. Ayrıca deoksidasyonu meydana getirirler [9-10].



**Şekil 2. 3.** Silisyum [12].

### **2.4.4. Krom (Cr)**

Krom, yüksek sertliği ve korozyon direnci nedeniyle çelik için en popüler alaşım metallerinden biridir Şekil 2. 4' te kendi başına krom, yüksek sıcaklık direncine ve 1907°C erime noktasına sahip gri, sert ve kırılgan bir metal özelliğe sahiptir. Çelikte karbür yapıcı bir elementtir. Cr, çelikte yüksek aşınma direnci sağlar. %13'ün üzerindeki oranlarda çok ciddi korozyon etkisi sağlar. Ancak yüksek Cr oranları kaynak edilebilirlik kabiliyetini düşürür. Cr ayrıca çeliğin derinliklerine kadar sertleşmesini de sağlayan önemli bir alaşım elementidir. Krom ayrıca yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı direnci artırır ve ferritik bir mikro yapıyı destekler [8-9-10].



**Şekil 2. 4.** Krom [12].

#### **2.4.5. Molibden (Mo)**

Çelikte ferrit yapıcı özelliği vardır. Ostenit sıcaklığını, Temperleme direncini artırır. Çeliğin yüksek sıcaklıklarda mukavemetini ve aşınma direncini artırır. Karbür yapıcı bir elementtir. Molibden, korozyona karşı direnci önemli ölçüde artırır [9-10]. Şekil 2. 5' te Molibden elementin görseli bulunmaktadır.



**Şekil 2. 5.** Molibden [10].

#### **2.4.6. Fosfor (P)**

Fosfor, çelikte istenmeyen elementtir. Şekil 2.6' da görseli bulunmaktadır. Yüksek kaliteli (10.9, 8.8 gibi) çeliklerde fosfor yüzdesi en çok % 0,025 olarak bulunur [9].



**Şekil 2. 6.** Fosfor [12].

#### 2.4.7. Kükürt (S)

Çeliği kırılgan yapar ve haddelenmesini güçleştirir. Şekil 2.7' de görülen kükürt çelikte işlenebilme özelliğini arttırılması söz konusu olmadığı hallerde, fosfor gibi istenmeyen yabancı maddeler olarak kabul edilir. Normal olarak müsaade edilen miktar en çok %0,020-0,040 arasında sınırlandırılır. İşlenebilirliklerini arttırmak için bazı paslanmaz çeliklere kükürt eklenir. Kükürt, korozyon direncini, sünekliği, kaynaklanabilirliği ve şekillendirilebilirliği azaltır. Daha iyi şekillendirilebilirlik ve sertleşmesini azaltmak için daha az kükürt miktarları eklenebilir. Az miktarda artan kükürt içeriği de çeliğin kaynaklanabilirliğini iyileştirir [9-10].



Şekil 2. 7. Kükürt [12].

#### 2.4.8. Bakır (Cu)

Çelik için bakır, korozyon direncini arttırmak için malzemeye %0,1 ila 0,4 oranında ilave edilir Şekil 2.8' de bakır görseli verilmektedir. Bakır, yüksek termal ve elektrik iletkenliği ile bilinir. Ayrıca, daha iyi işlenebilirlik için tasarlanmış kalitelerde işleme sertleşmesini azaltmak için de eklenebilir. Ek olarak, şekillendirilebilirliği geliştirmek için de eklenebilir. Genel olarak çelikte mekanik özellikleri iyileştirir. Ancak özel olarak pek katılmaz. Dövmeyi zorlaştırdığı için istenmez [8-9-10].



**Şekil 2. 8.** Bakır [11].

#### **2.4.9. Demir (Fe)**

Demir, dünya yüzeyinde en yaygın dördüncü mineral ve yerkabuğunda en çok bulunan metaldir (Şekil 2.9). Saf Demir, çok yumuşak ve sünektir. Üretimini pahalılığı yanında mekanik dayanımında düşüklüğünden dolayı konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmaz. Fe, tüm metallerde en çok kullanılan elementtir. Üretilen metallerin ağırlıkça %95'ini oluşturur [11-13].



**Şekil 2. 9.** Demir [11].

#### **2.4.10. Bor (B)**

Bir alaşım elementi olarak, küçük miktarlardaki bor (%0,0008–0,005) bile sertleşebilirliği büyük ölçüde artırabilir. Ancak bor malzemesi, alaşımlı çeliklerin sadece %0,005'ini oluşturduğu için bulunması kolay değildir [28]. Şekil 2.10' da görüldüğü üzere bor elementi, çeliğin sertleşebilirliğini önemli ölçüde iyileştirebilir ve ıslah işleminden sonra çeliğin aşınma direncini iyileştirme özelliğine sahiptir.



**Şekil 2. 10.** Bor [14].

## 2.5. Isıl İşlem ve Süreçleri

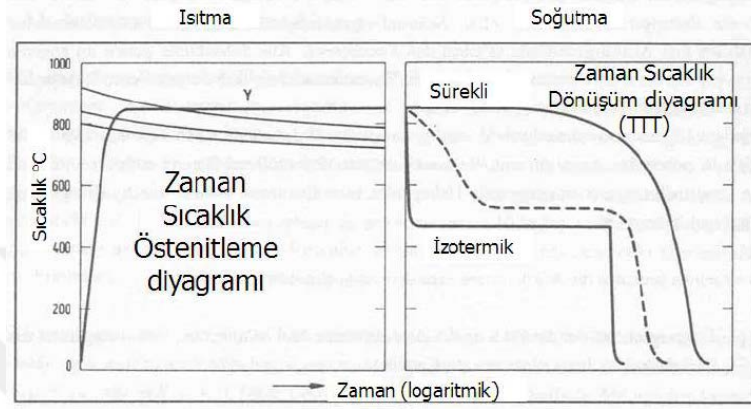
Çeliğin ısıl işlemi sürecinde meydana gelen dönüşümleri bilmek için çeliğin mikro yapısı kadar, çelikte meydana gelen faz dönüşümleri ve dengeleri hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu içerikte çelik faz dönüşümleri ve dengeleri hakkında literatürde toplanan bilgilere yer verilmiştir.

Malzemenin içyapısı özelliklerini elde etmek için malzemenin solidüs sıcaklığının altına uygun sıra ve süre ile ısıtılıp ve soğutulmasına ısıl işlem denir. İşlem sırasında ortam etkisiyle, örneğin karbonlama ve nitrürlemede olduğu gibi, çeliğin kimyasal bileşimide değişebilir. Çelik oda sıcaklığından ergime ve kaynama sıcaklığına çıkana kadar kristal yapısı değişikliklere uğramaktadır. Soğuma evresinde ise oluşumlar başka türlü meydana gelmektedir [13-15].

Şekil 2.12'te görüldüğü üzere Çelik 20°C ile 1392°C arasında ferrit ve östenit diye iki fazdan oluşmaktadır. 20°C ile 911°C arasında yapıda bir değişiklik olmaz. Fe-C denge diyagramı bize denge koşullarını vermektedir. Denge koşulları bize sonsuz yavaş ısıtma veya soğutmayı göstermektedir. Denge dışı durumlarda ise dönüşüm sıcaklıkları değişmektedir. Ne kadar hızlı soğutulursa dönüşüm sıcaklıkları o kadar yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. Ne kadar yavaş soğutulursa, dönüşüm sıcaklıkları o kadar denge sıcaklıklarına doğru yaklaşmaktadır [15]. Şekil 2.12'de malzeme oda sıcaklığından A<sub>1</sub> sıcaklığına ısıtılmaktadır. Burada ısıtmanın amaçlarından biri faz dönüşümüdür. Yani malzemeyi östenit bölgesine çıkarmak veya östenit dönüşümünü sağlamak veya sadece dönüşümsüz gerilim giderme tavlama yapmaktır. Çoğunlukla östenitleme işlemi yapılmaktadır. Daha sonra malzemenin soğutma işlemi vardır. Soğutma için; soğutma hızlarına göre ortam kullanılır.

Isıtma ve soğutma işlemleri sıcaklık-zaman çevriminde yapılmaktadır (Şekil 2.11). Fe-C denge diyagramında zaman yoktur. Yapılan tüm ısıl işlem uygulamaları denge dışı durumları içermektedir. Denge koşulları sonsuz yavaş ısıtma veya soğutmayı göstermektedir bu da ısıl işlem uygulamasında belirtilmemektedir. [15].

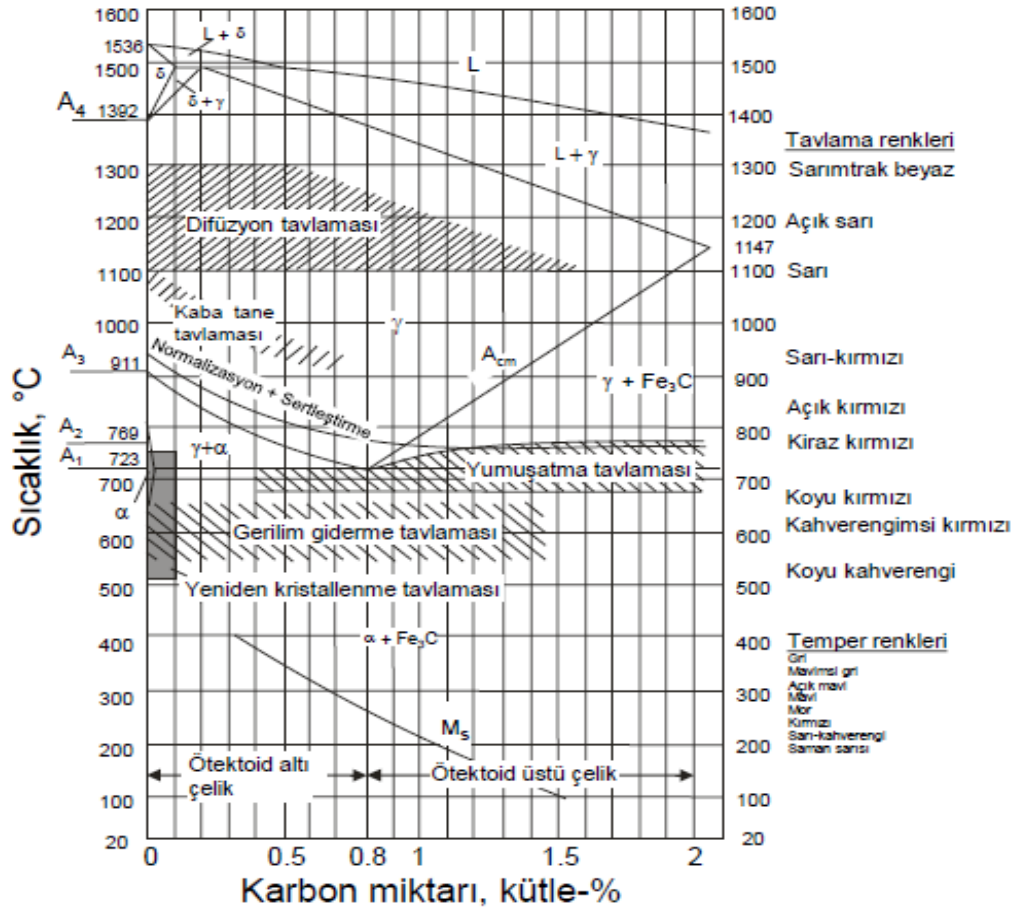
Şekil 2.12’de östenit dönüşümü sağlamak için östenit dönüşüm kinetiğini bilinmesi gerekmektedir. Östenit bölgesinde olan malzeme östenitin tane boyutu çok önemlidir. Soğutma sonrasındaki oluşan ferrit/perlit tane boyutu belirlenir. Şekil 2.11’ de Zaman-sıcaklık-östenitleme diyagramları ile östenit tane boyutu belirlenmektedir. Tane boyutu küçüldükçe malzemenin kırılmaya karşı direnci artmaktadır. Isıtma ve soğutma dönüşümleri için zaman-sıcaklık-dönüşüm (TTT) diyagramlarını kullanılmaktadır [15].



**Şekil 2. 11.** TTT diyagramı [15].

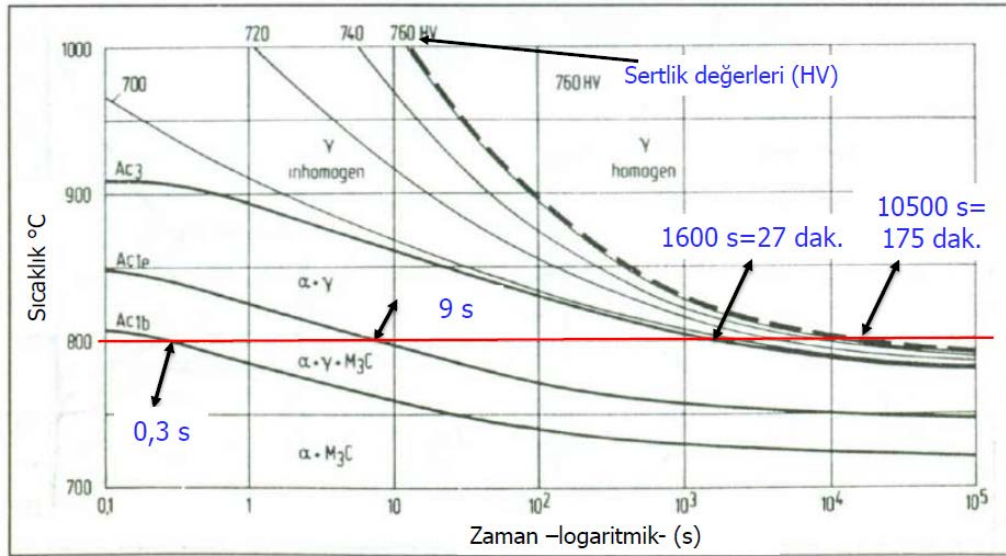
Şekil 2.11’ de birinci diyagram zaman-sıcaklık-östenitleme diyagramıdır. Bu diyagramda iki tane önemli sıcaklık değeri var. Bunlardan biri  $A_1$  karbürlerin çözündüğü sıcaklık değeri de çözünmenin bittiği  $A_3$  sıcaklığıdır. Ötektoid sıcaklığın üzerinde karbür yoktur. (Ötektoid altı çelikler için) burada malzeme belirlenen bir sıcaklığa kadar sertleştirilip, belli bir süre beklemektedir. Söz konusu ısıl işlemler genel olarak iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlar: Tavlama ve Sertleştirmedir. Tavlama ile içyapının kararlı denge durumuna yaklaşması sağlanır (soğutma yavaş yapılır). Sertleştirme de ise östenit çeliğin bileşimine bağlı bir minimum hıza inmeyecek şekilde soğutulur martenzit yapı elde edilir [13-15]. Şekil 2.11’ de ikinci diyagram ise zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramıdır. Burada iki farklı soğutma tipi görülmektedir. Bunlarda biri sürekli, diğeri izotermik soğutmadır [15-16].

Malzeme üzerinde martenzit yapının oluşmaması ve perlit yapının oluşması istendiği izotermik soğutma tercih edilmiştir. Burada malzeme belli bir sıcaklığa soğutulduğu yani sıcaklığın düştüğü görülmektedir ve bu sıcaklık değerinde belli bir süre beklemektedir. Bu tür soğutmaya izotermik (eşsıcaklık) soğutması denir. Diğer bir soğutma yöntemi ise sürekli soğutmadır. İkisi arasındaki elde ettiğimiz fazlar birbirinden TTT diyagramına bağlı olarak çok farklıdır. Sürekli soğutmada herhangi bir sıcaklıkta bekleme yoktur. Sadece ortamın soğutma hızına bağlı olarak yavaş ya da hızlı soğutmak mümkündür, izotermal soğutma da ise malzeme belli bir sıcaklıkta beklemektedir. [15-16].



Şekil 2. 12. Fe - C denge diyagramı [15-16].

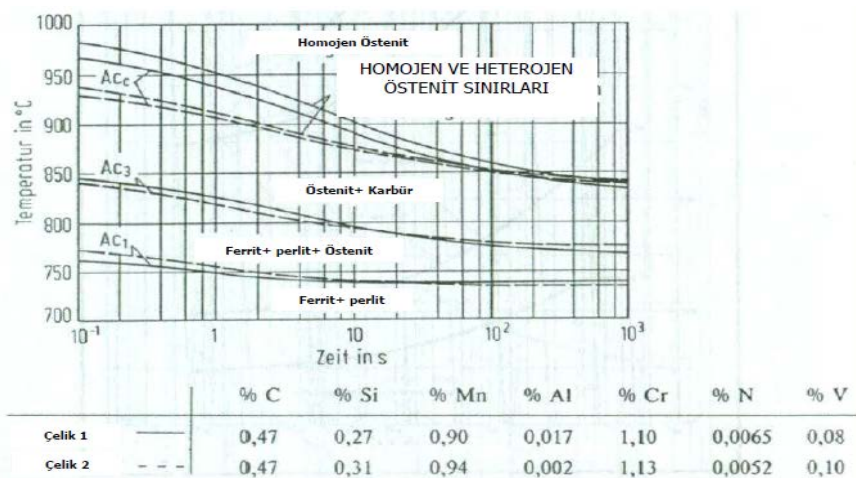
Şekil 2.12’de görülen dönüşüm sıcaklıklarını A sıcaklıkları olarak adlandırılmaktadır. A sıcaklıklarının iki farklı türü vardır. A<sub>c</sub> ısıtma sırasında, A<sub>r</sub> ise soğutma sırasında gösterilmektedir. A<sub>1</sub> sıcaklığı ötektoid sıcaklığıdır. A<sub>c1b</sub>, ferrit+ostenit+karbür bölgesine giriş üçlü faz dengesini gösterir. A<sub>c1e</sub>, ferrit+ostenit+karbür bölgesinden çıkış üçlü faz dengesi demektir. A<sub>3</sub> sıcaklığı ferritin östenite dönüşümü sonudur. A<sub>3</sub> sıcaklığı üzerinde sadece östenit vardır. A<sub>3</sub> sıcaklığının altında ferrit+östenit vardır. A<sub>cm</sub> sıcaklığı, ikincil sementittir. Dolayısıyla ötektoid üstü çelikler için A<sub>cm</sub> sıcaklığı vardır. Fe<sub>3</sub>C karbürlerinin östenitte çözünme sonudur. Bu sıcaklığın üzerinde östenit vardır, karbür yoktur. M<sub>s</sub> sıcaklığı, martenzit dönüşüm başlangıcıdır. M<sub>f</sub> ise martenzit dönüşüm sonudur [15-16].



Ck45, zaman sıcaklık östenitleme diyagramı izoterm, sertlik değerleri

**Şekil 2. 13.** 800°C sıcaklıkta Ck45, zaman sıcaklık östenitleme diyagramı [15-16].

Şekil 2.13' te TTA (zaman-sıcaklık-östenitleme) diyagramı verilmektedir. Bu diyagramda 800°C sıcaklıkta sertleştirme işlemine tabi tutulmuş bir Ck45 örneği görülmektedir. 800°C'de malzeme 0,3 saniye bekletildiğinde  $Ac_{1b}$  sıcaklık değerine ulaşmış, 9 saniye bekletildiğinde  $Ac_{1e}$  sıcaklığına gelmiş ve karbürler çözülmüştür. 27 dakika bekletildiğinde  $Ac_3$  sıcaklığına ulaşmış, 175 dakika bekletildiğinde kesikli çizgi ile gösterilen homojen östenit sınırına ulaştığı görülmektedir. Bu çalışma da 800°C 'de östenitleme yapmak istendiğinde ve hedef yapı homojen östenit ise 175 dakika bekletilmesi gerektiği görülmüştür. Yapılan bu çalışma da sertlik değerinin homojen östenitte 760 HV olarak ölçüldüğünü tespit etmişlerdir. Burada malzemenin sıcaklık ile ilişkisinden, malzeme hacmi de önemlidir. ASTM tane boyutu ve tane çapı 5 - 7  $\mu\text{m}$  olarak ölçüldüğü saptanmıştır. [15-16].

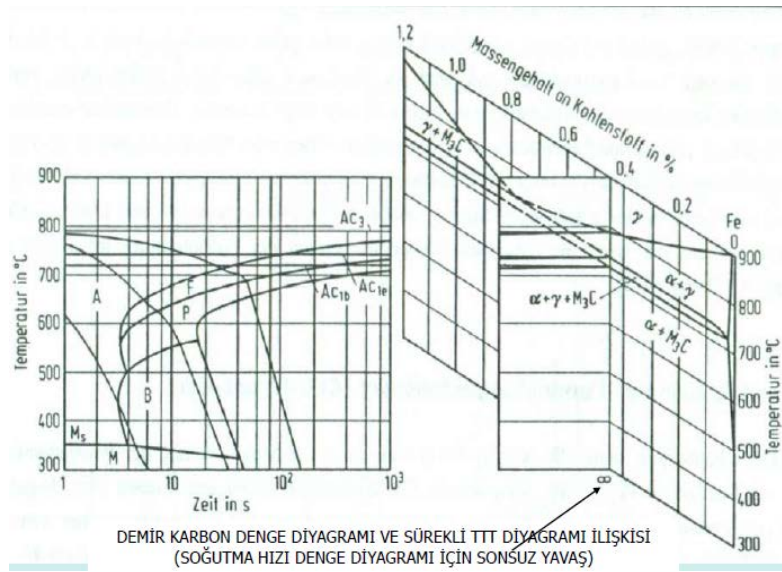


**Şekil 2. 14.** Kimyasal bileşimdeki değişimlerin TTT diyagramlarına etkisi [15-16].

Şekil 2.14' de iki farklı çelik görülmektedir. Kimyasal bileşimlerinde karbon dışında alaşım elementleri farklılığı vardır. Diyagramda 2 numaralı çeliğin  $Ac_1$  sıcaklığı daha yüksektir. Burada Si, Mn, Cr oranlarının yüksek olması ile daha güç bir çözünme olduğu tespit edilmiştir. Bu kadar az bir karbon oranına rağmen  $Ac_1$  sıcaklıklarında yükselme görülmüştür. Karbür boyut ve dağılımları çözünme için önemlidir. Karbür boyutları iri ve heterojen ise östenit fazın yayılım dağılımı zorlaştığı tespit edilmiştir. Tane boyutu arttıkça östenitte çözünme süreleri arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca homojen östenit elde edilmesi de zorlaştığı saptanmıştır [15-16].

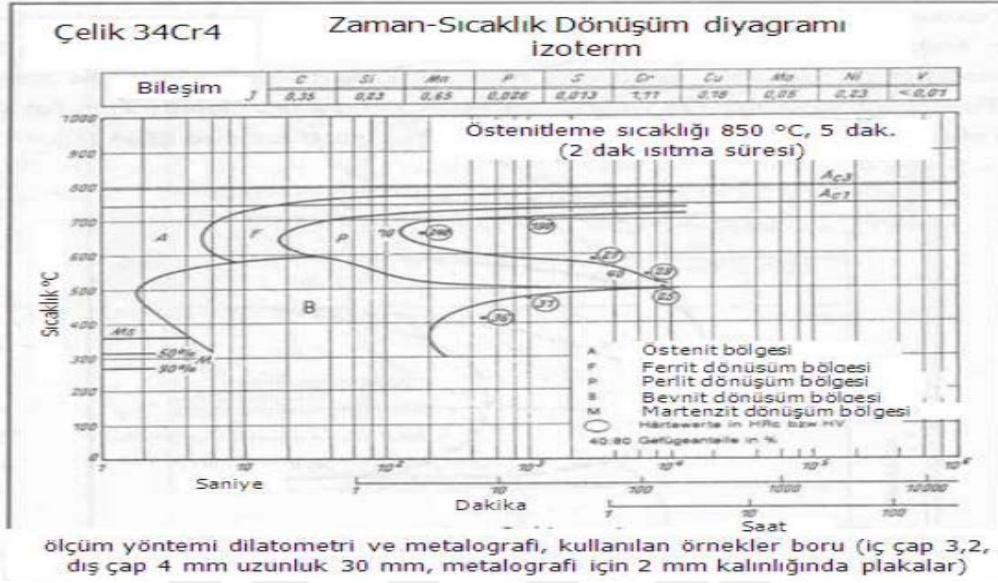
Tane boyutu iri olan bir yapının getirdiği dezavantaj şudur; örneğin iri bir ferrit, östenitte dönüştüğü zaman karbonsuz östenit olarak dönüşür. Yani HMK, YMK'ye dönüşür. Sadece kristal yapı değişir. Diğer yandan karbürlerin bulunduğu bölgedeki bir ferrit dönüştüğü zaman karbürler de dağıldığı için o bölgede yüksek karbonlu bir östenite dönüşmektedir. Bir bölgede yüksek karbonlu diğer bölgede düşük karbonlu östenit oluşur. Karbonsuz östeniti, belli bir karbon oranında dengelemek için karbonun yayılması gerekir. Bu da östenitleme sürelerini uzatır ya da östenitleme sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır [15-16].

TTT diyagramları dengeden sapmış durumdaki soğutma koşullarındaki dönüşüm sıcaklıklarını göstermektedir. Şekil 2.15' teki Fe-C denge diyagramında 0,45 C oranından dik bir çizgi çizilmiş olduğu görülmektedir. Burada soğutma hızı sonsuz yavaş denge sıcaklıklarıdır. Şekil 2.15' te sol tarafında TTT diyagramı gözükmemektedir. Üzerinde dönüşüm esnasında dönüşüm sıcaklıkları görülmektedir.  $Ac_3$  sıcaklığının altına indiğinde ferrit oluşumu başladığı görülmektedir.  $A_1$  sıcaklıklarının altına indiğinde karbürler ortaya çıkmaya başladığı görülmektedir [15-16].



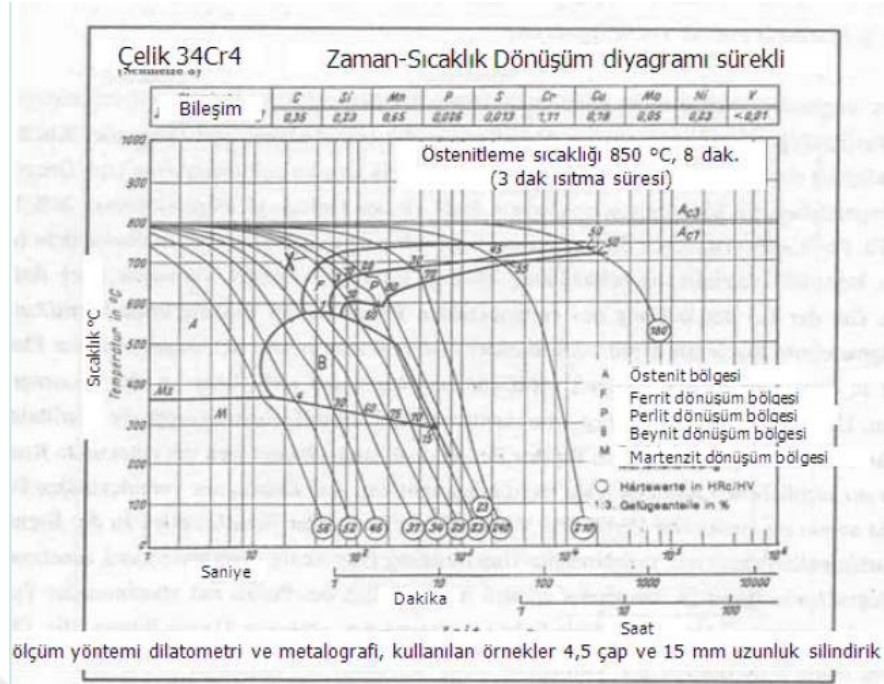
Şekil 2. 15. Fe-C denge diyagramı ve sürekli TTT diyagramı ilişkisi [15-16].

Karbürlerin bulunduğu ferrit yapısına perlit denmektedir. Denge dışı bir durumda beynit yapısı ve daha sonra martenzit yapı oluşmaktadır. TTT diyagramlarını birçok parametre etkilemektedir. TTT eğrilerini en çok kimyasal bileşim etkilemektedir [15-16].



**Şekil 2. 16.** 34Cr4 çeliği için TTT diyagramı incelemesi [15-16].

Şekil 2.16' da bir ıslah çeliğine ait TTT diyagramı verilmiştir. Diyagram 850°C östenitleme sıcaklığı için geçerlidir. İzotermal östenitleme yapılmıştır. Isıtma hızının etkisini azaltmak için oldukça hızlı bir şekilde ısındığı varsayılmıştır. Bu çalışma da 670 °C 'de sıcaklığa ısıtıldığında 5 saniye sonra ön ötektoid ferrit dönüşümü başlamıştır. 18 s sonra perlit dönüşümü başlamıştır ve 130 s sonra dönüşüm bitmiştir. Sonuç olarak yapı 670°C 'de izotermal dönüşümü gerçekleştirerek %70 perlit ve %30 ferrit yapı oluşturmuştur. Elde edilen sertlik değeri 240 Vickers olarak ölçülmüştür. Dönüşüm başladıktan 130 s sonra perlit bölgesinden çıkılmaktadır, bu durum bütün östenitin dönüştüğünü söylemektedir. Dolayısıyla bu zamandan sonra başka bir dönüşüm yoktur. Bundan sonra numuneyi alıp suda soğutmaları sonucu herhangi bir değişikliğe sebep olmadığını görmüşlerdir [15-16].



**Şekil 2. 17.** 34Cr4 için TTT diyagramı incelemesi [15-16].

Şekil 2.17'deki diyagram ile ilgili olarak; diyagram üzerindeki soğuma eğrilerinden yararlanarak sürekli dönüşüm yapısında olduğu görülmektedir. Yapıda dönüşen miktar sürekli dönüşüm sırasında ve ilgili sıcaklık bölgesinden numunenin ne kadar süre kaldığına bağlıdır. Süre ne kadar uzunsa o fazdan oluşan miktar o kadar yüksektir. Elde edilen sürekli dönüşüm sıcaklık zaman sonuçları sigmoidal eğrilerden görülebilir. Dönüşüm sonları ferrit dönüşüm sonunu perlit belirtilmektedir. Perlit dönüşüm sonunu ise beynit belirlemektedir [15-16].

Martenzit dönüşümünün sonunda, kalıntı östenit miktarı önemlidir. Kalıntı östenit hiç istenilmeyen bir fazdır. Malzemenin özellikle tokluk özelliklerini düşüren bir etkisi vardır.  $M_f$  sıcaklığına ulaşamadığında kalıntı östenit kalmaktadır. Kalıntı östenit ancak ötektoid üstü çeliklerde mümkündür. Çünkü bu çeliklerde  $M_f$  sıcaklığına ulaşamama gibi bir risk vardır. Kalıntı östenit eğer %5 'in üzerine çıkarsa bunları uygulanacak temperleme işlemi ile gidermek mümkün değildir. %5 'in altındaki kalıntı östenit ise uygulanabilecek bir temperleme işlemi ile ortadan kaldırılır [15-16].

## 2.6. Malzemelere Uygulanan Isıl İşlem Ve Yöntemlerin İrdelenmesi

Çelik malzemelerin çok önemli bir özelliği ısıl işlem yapılabilmesidir. Isıl işlem, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılmaktadır. İyileştirme sonucu kazanılan özellikler; Sertlik kazandırmak, yumuşatmak, tane irileştirmek ve tane küçültmektir. Isıl işlemde

sıvı faz son derece tehlikelidir. Oluşmamasına dikkat edilmelidir. Genel olarak ısıtma işlem malzemenin içyapı ve mekanik özellikleri sağlamak için yapılan bir ısıtma ve soğutma işlemidir. Isıl işlem yapılış özellikleri ve elde edilen özellikler bakımından tavlama ve sertleştirme olarak iki grupta incelenir. Tavlama işlemi işlem sıcaklıkları ve soğutma şekilleri bakımından farklı şekillerde ifade edilirler. Başlıca tavlama çeşitleri şu şekildedir [17].

Malzemenin talaşlı imalat ve plastik şekillendirme kabiliyetini arttırmak ve içyapı özelliklerini iyileştirmek gibi amaçlarla yapılan ve malzemenin uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılıp daha sonra soğutulması şeklinde gerçekleşen işlemlerdir [17-18].

### **2.6.1. Yumuşatma Tavlaması**

Isıl işlemsiz malzemeler içerdikleri karbon oranına bağlı olarak, oda sıcaklığında farklı sertlikler gösterebilirler. Bazı malzemeler sertlikleri itibariyle kolay işlenemezler. Özellikle talaşlı imalat gibi plastik şekillendirme işlemi malzemelerin sertlikleri yumuşak ya da orta sertlikte olması istenir. Bu sebepten dolayı yüksek sertlikteki malzemelere sertliklerin düşürülmesi amacıyla malzemelere yumuşatma tavlaması yapılmasına gerek duyulur [17-18].

Çelik Ham malzemelerin, oda sıcaklığındaki yapıları, tanecikler halinde ve içindeki karbon oranları ile doğru orantılı olarak ince uzun plakalar şeklinde, sıralı dizilmiş şekilde karbür çökeltileridir. Bu yapı perlit olarak literatür 'de geçmektedir. Perlit yapı içindeki karbür plakaların sıklığı, malzeme içindeki karbon miktarıyla artar. Ve bu durum sertliğin de artmasına sebep olur [17-18]. Yumuşatma tavlaması yaparak ince uzun yapıdaki karbür plakalar, daha kısa ve küresel bir yapıya dönüştürülür. Bu durumda çelik malzeme ilk haline göre daha kolay işlenebilir hale gelmektedir. Bu yöntem küreselleştirme tavlaması olarak bilinir [17-18].

### **2.6.2. Normalleştirme Tavlaması**

Tavlama işlemlerinin tamamı malzemeye iyi özellikler kazandırmakla beraber tane irileşmesine de sebep olur. Yapılacak işleme göre, tane irileşmesinin istenmediği durumlar için malzeme sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılarak, durgun havada soğumaya bırakılır. Normalleştirme tavlaması, diğer tavlama türlerinden farkı parçaların yavaş soğutulması yerine durgun havada hızlı soğutulmasıdır. Bu durumda tane yapısı daha ince olur, bu yönetime normalleştirme tavlaması denir [17-18].

### 2.6.3. Gerilim Giderme Tavlaması

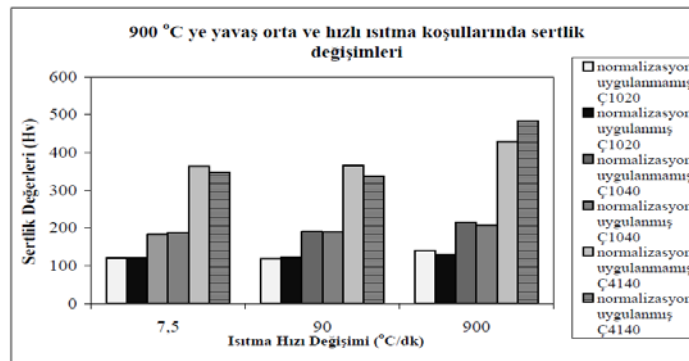
Kaynaklama, plastik şekillendirme, aşırı ısıtma veya aniden soğutma gibi işlemler sonucunda malzemeler içinde çeşitli yönlerde iç gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmelerin giderilmesi amacıyla en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde, faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta malzemeler maksimum iki saat bekletilerek gerilmelerin giderilmesi sağlanmış olur [17-18].

### 2.6.4. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması

Plastik şekil verme yöntemleriyle şekillendirilen parçaların tane yapılarında, özellikle cidar bölgelerinde kalıcı yapı bozulmaları görülür. Bu durum sertlik ve mukavemetin artmasına, süneklik ve elektrik iletkenliğin azalmasına sebep olmaktadır. Faz dönüşüm sıcaklığın altında bir sıcaklıkta yaklaşık bir saat kadar bekleme ve yavaş soğutma ile tane yapısı düzgün ve düzenli bir forma dönüşerek, deformasyon öncesi özelliklerinin geri kazanılması sağlanır. Bu işlem rekristalizasyon olarak da bilinir [17-18].

## 2.7. Malzemeler İle İlgili Literatür Tez Araştırması

Uzkut M. Ve Özdemir İ. (2001), Yaptıkları bu çalışmada farklı çeliklere uyguladıkları farklı ısıtma hızlarında mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi üzerine bir araştırma çalışması yapmışlardır. Bu çalışma da Ç1020, Ç1040 ve Ç4140 malzemelerini kullanarak oda sıcaklığında, sıcak fırında ve tuz banyosunda ostenit bölgeye kadar ısıtıp havada soğutmuşlardır. Bu malzemelerin ısıtma sonrası sertlik ve mukavemet değerlerini ölçerek mukayesesi yapılmıştır. Şekil 2.18' de farklı ısıtma hızlarında çeliklerin sertlik değişimleri verilmiştir. Sonuç olarak ısıtma hızları arttıkça malzemelerin sertlik değerlerinin arttığı tespit edilmiştir [19].



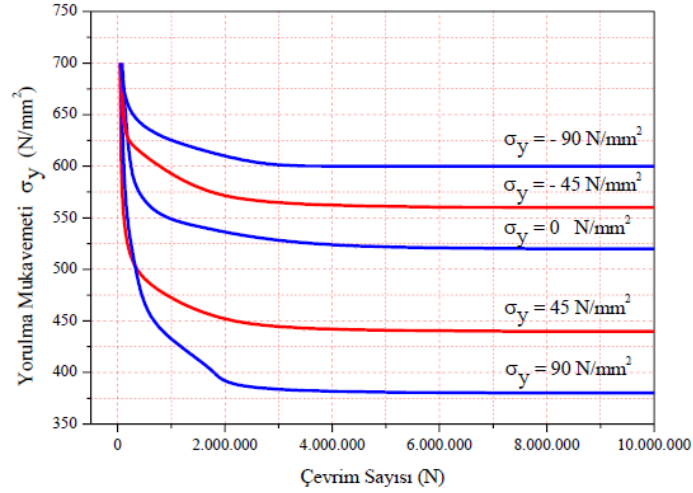
Şekil 2. 18. Farklı ısıtma hızlarında çeliklerin sertlik değişimleri [19].

Açay S., Kolaç M., Atak O. A. (2020), Yaptıkları bu çalışmada AISI 4140 malzemesine delik delme işlemi uygulamıştır. Şekil 2.19' da delik delinmiş iş parçası verilmektedir. Uygulanan delme işlemi ile kesme kenar radyüsü ve kesme parametreleri belirlenmiştir. Delme işlemi sensörlü takım tutucu ile gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi yapan takımın delme sırasında maruz kaldığı kuvvetler analiz edilerek kesme hızı, ilerleme değeri ve kesme kenar hazırlama işlemlerinin kesme kuvvetine olan etkisi irdelenmiştir. Deney sonucunda takım aşınması ve yüzey pürüzlülük değerleri incelenmiştir. En uzun takım ömrü sağlayan delme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak ilerleme değerinin kesme kuvveti üzerinde en etkili parametre olduğu gözlenmiştir [20].



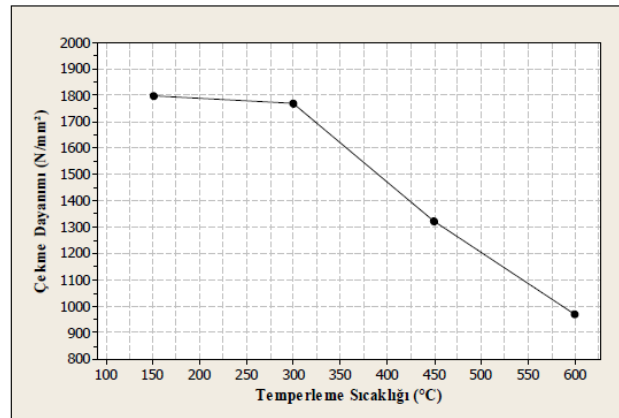
**Şekil 2. 19.** İş parçası [20].

Kaya M. T. (2016), Yaptığı bu çalışmada SAE 4140 çeliğinin gerilme etkisi altında yorulma özelliklerini incelemiştir. Dört farklı talaşlı üretim ile numuneler hazırlanmış ve üretim yönteminin yorulma deneyinin üzerine etkileri araştırılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri yorulma kalibrasyonlu test cihazında testleri yapılmıştır. Kalibrasyonlu yorulma test cihazında bileşik gerilme altında eğme, çekme ve basma testleri ile malzemenin yorulma özellikleri incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda elde edilen verilerle Şekil 2.20'deki gibi malzemeye ait yorulma eğrileri oluşturulmuştur. Sonuçta, çekme gerilmesinin yorulma dayanımı azaldığı, basma gerilmesinin ise yorulma dayanımını arttırdığı görülmüştür [21].



**Şekil 2. 20.** Deneysel yorulma eğrileri [21].

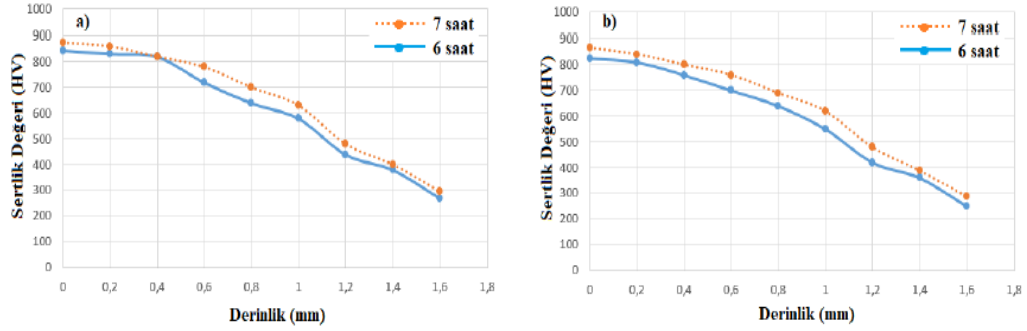
Kesti E. (2009), Yaptığı bu çalışmada Ç4140 çeliğini farklı ısıl koşullarında değişen temperleme sıcaklıkları sonucunda malzemedeki mekanik değişimler deneysel olarak irdelenmiştir. Isıl işlem sonrası çekme, darbe ve mikroyapı deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri 4 grupta hazırlamışlar. Bunlardan biri ısıl işlem görmeyecek deney numuneleri, sadece normalizasyon ısıl işlemine tabi tutulacak deney numuneleri, diğeri ise sertleştirme ve sertleştirme sonrası temperleme ısıl işlemine tabi tutularak Ç4140 çeliğinin farklı ısıl işlem koşullarında çekme dayanım özelliklerini incelemiştir. Şekil 2.21'de temperleme sıcaklıklarına bağlı olarak çekme dayanımları karşılaştırılması görülmektedir. Sonuç olarak temper sıcaklığı arttıkça çekme dayanımlarının düştüğü saptanmıştır [22].



**Şekil 2. 21.** Temperleme sıcaklıklarına göre çekme dayanımları karşılaştırılması [22].

Karagöz İ. (2007), Sementasyon çeliklerinde difüzyon ve sertlik derinliğini arttıracak ısıl işlem koşullarının belirlenmesi adlı bir tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada; SAE 8620 (21NiCrMo2) sementasyon çeliğine %10 siyanür içeren (Potasyum Siyanür KCN) tuz banyosunda

sementasyon işlemi uygulanmıştır. Sementasyon çeliklerin sınıflandırılması yapılmıştır. Sementasyon çeliklerine uygulanan ısı işlemler, sertlik derinliğine etki eden faktörler, difüzyon ve difüzyon olayına etki eden faktörler ve alaşım elementlerinin sertlik ve difüzyona olan etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak Şekil 2. 22' de sertlik derinliği arttıkça, sertlik değerlerinde azalma görülmüştür [23].



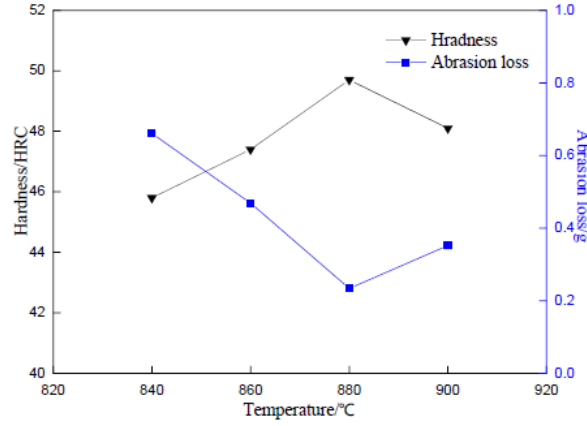
Şekil 2. 22. Sertlik ölçüm grafikleri [23].

Meydan O. (2017), Bu çalışmada otomotiv yan sanayisinde önem arz eden özel alaşımlı çelik tel çubukların üretimi esnasında tufalin oluşumu ve kalınlığındaki değişimler araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında Şekil 2. 23' deki tel çubuk numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerin tufal yapıları, kalınlıkları ve özellikleri incelenmiştir. En ince tufal tabakası elde edilerek en az seviyede asit kullanımı veya asitleme işlemine gerek kalmadan çevreye duyarlı üretimin yapılması amaçlanmıştır. 20MnB4 özel alaşımlı çelik tel çubukların farklı serme kafa sıcaklıkları ve soğuma hızları ile üretimi yapılmıştır. Üretilen numuneler tufal tabakasının incelenmesi için testlere tabi tutulmuştur. Bu çalışmada tufal kalınlığı 10,59  $\mu\text{m}$ 'den 4,79  $\mu\text{m}$ 'ye düşürülerek, tufal kalınlığında % 54,76 azalma gözlemlenmiştir. [24].



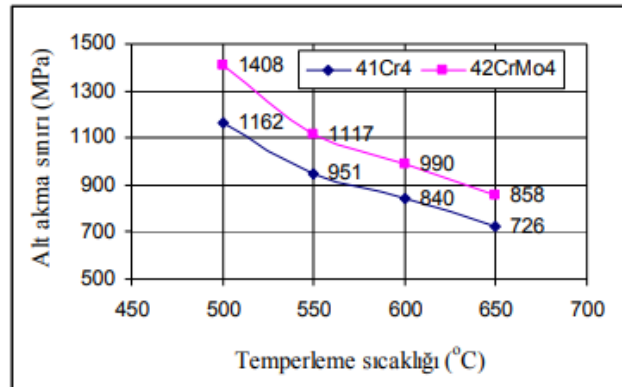
Şekil 2. 23. Tel çubuk numuneleri [24].

Pengxiao Zhu (2017), Bu çalışmasında 30MnB çeliğinin ısıl işlem üzerinde mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemiştir. 30MnB çeliğinin farklı ısıtma 840°C, 860°C, 880°C, 900°C sıcaklıklarında ısıl işleme tabi tutulmuştur. Mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak; Şekil 2. 24' de 30MnB çeliğinin aşınma direnci ve sertlik değerleri arasında ilişki saptanmıştır [25].



Şekil 2. 24. 30MnB çeliğinin aşınma direnci ve sertlik değerleri arasındaki ilişki [25].

Bayrak M., Öztürk F., Demirezen M. (2006), Yaptıkları bu çalışmada otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Ç5140 ve Ç4140 çeliklerini incelemiştir. Ç4140 malzemesinin maliyet yönünden Ç4140 malzemesine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ç4140 içerdiği Mo elementi sebebiyle Ç5140 malzemesine göre daha mukavemetlidir. Bu çalışmayla malzemelere farklı sıcaklıklarda sertleştirme ve temperleme işlemlerini uygulayarak Şekil 2. 25' teki mekanik akma özellikleri elde edilmiştir. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının değiştirilmesi ile Ç5140 malzemesinin Ç4140 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceği tespit edilip. Ç4140 malzemesinin yerine Ç5140 malzemesinin kullanılması halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağı tespit edilmiştir [26].



Şekil 2. 25. Meneviş sonrası akma mukavemetlerinin karşılaştırılması[26].

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan çalışmada malzeme olarak 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çelikleri ısıl işlem görmemiş ve ısıl işlemlili olarak mekanik testlere tabii tutularak mühendislik değerlerinin belirlenmesinde deneysel yöntemler kullanılmıştır. Her iki malzeme için Berdan Cıvata A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarlarında Kimyasal analiz, Çekme testi, Darbe testi, Mikroyapı ve Mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. Deney proses aşamaları Tablo 3. 1' deki uygulamalardan geçmiştir.

**Tablo 3. 1.** Çalışma proses süreçleri

SÜREÇ ADIMLARI
1.Kesme İşlemi
2.Numunelerin Markalanması
3.Kimyasal Analiz İşlemi
4.İslah İşlemi ve Süreçleri
5.Bakalit, Zımpara, Dağlama ve Parlatma İşlemleri
6.Mikro sertlik ve mikroyapı incelenmesi
7.Çekme, Çentik numunelerin hazırlanma işlemi

**Tablo 3. 2.** Deneyde kullanılan malzemelerin standartta karşılığı.

Uluslararası Kodlama ve Standart Karşılıkları		
DIN	AISI / SAE	EN
1.7225	4140	42CrMo4
1.5526	-	30MnB4

Tablo 3.2' de görüldüğü üzere deneyde kullanılan çelik malzemelerin uluslararası sistemde kod karşılığı ve isimlerine yer verilmiştir.

#### 3.1. 42CrMo4 Ve 30MnB4 Çeliklerinin Standart Değerlerinin İncelenmesi

Deneyde kullanılan 42CrMo4 ve 30MnB4 çelik malzemelerin standart karşılaştırmaları Tablo 3.3, Tablo 3.4 ve Tablo 3.5 içerisinde verilmiştir.

Tablo 3.3' te 42CrMo4 malzemesine bağlı olarak sertleştirilmiş ve temperlenmiş şartlar altında mekanik özelliklerini ifade etmektedir. Bu tablo içerisinde t ifadesi plaka malzemesinin kalınlığını, d ise kullanılan malzemenin çapını ifade etmektedir.

Bu standart kapsamında 42CrMo4 malzemesi için verilen çap ve kalınlık değerleri arasındaki mekanik değerlerine yer verilmiştir.

**Tablo 3. 3.** Islah ve temperlenmiş şartlar altında 42CrMo4 çeliğinin mekanik değerleri [27].

42CrMo4 / 1.7225	Akma Dayanımı (min.) (Mpa)	Kopma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z) (min.)	Çentik (min.) (J)
$d \leq 16 \text{ mm}$ $t \leq 8 \text{ mm}$	900	1100-1300	10	40	-
$16 \text{ mm} < d \leq 40 \text{ mm}$ $8 \text{ mm} < t \leq 20 \text{ mm}$	750	1000-1200	11	45	35
$40 \text{ mm} < d \leq 100 \text{ mm}$ $20 \text{ mm} < t \leq 60 \text{ mm}$	650	900-1100	12	50	35
$100 \text{ mm} < d \leq 160 \text{ mm}$ $60 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$	550	800-950	13	50	35
$160 \text{ mm} < d \leq 250 \text{ mm}$ $100 \text{ mm} < t \leq 160 \text{ mm}$	500	750-900	14	55	35

Tablo 3.3' te 42CrMo4 malzeme için mekanik değerleri var iken, Tablo 3.4'te 30MnB4 malzemenin standartta sadece kopma ve kesit daralması değerleri hakkında bir bilgi bulunmamaktadır. Diğer değerleri hakkında bilgilere ulaşılmamaktadır. Bu çalışma kapsamında belirtilmeyen bu değerlerde bulunmuş olunacaktır. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde bu değerlere yer verilmiştir.

**Tablo 3. 4.** 30MnB4 çeliğinin mekanik değerleri [28].

30MnB4 1.5526	Akma (Rp0,2) (min.) (Mpa)	Kopma (Rm) (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z) (min.)	Çentik (KV2) (min.) (J)
-	-	550-670	-	58-65	-

Tablo 3.5' de deneyde kullanılan malzemelerin standart kimyasal analizleri verilmektedir. Her iki çeliğin alaşım elementlerinin % oran karşılaştırılması yapıldığında 42CrMo4 çeliğinin C oranı 0,38-0,45 arasında görülürken, 30MnB4 çeliğinde C oranı 0,27-0,32 arasında görülmektedir. 42CrMo4 çeliğinde Si oranı 0,10 – 0,40 arasında görülürken, 30MnB4 çeliğinde Si oranı max. 0,30 değer ile sınırlandırılmıştır. 42CrMo4 çeliğinde Mn oranı 0,60 – 0,90 arasında görülürken, 30MnB4 çeliğinde Mn oranı 0,80 – 1,10 arasında verilmiştir. P oranları her iki malzeme türünde de max. 0,025 istenmektedir. S oranları 42CrMo4 çeliğinde max. 0,035

istenirken, 30MnB4 çeliğinde max. 0,025 istenmektedir. Cr oranı 30MnB4 malzemesinde max. 0,30 istenirken, 42CrMo4 çeliğinde 0,90 – 1,20 arasında istendiği görülmektedir. Mo oranı, 30MnB4 çeliğinde bulunmazken, 42CrMo4 çeliğinde Mo oranı 0,15 – 0,30 arasında istenmektedir. 42CrMo4 çeliğinin Cu oranı max. 0,40 istenirken, 30MnB4 çeliğinin max. 0,25 olarak istenmektedir. B, oranı 42CrMo4 malzemesinde bulunmazken, 30MnB4 malzemesinde 0,0008 – 0,005 arasında istendiği görülmektedir.

**Tablo 3. 5.** 42CrMo4 ve 30MnB4 çeliklerinin standart kimyasal kompozisyonu [27-28].

	42CrMo4 [15]	30MnB4 [16]
C %	0,38-0,45	0,27 – 0,32
Si %	0,10-0,40	0,30 (max.)
Mn %	0,60-0,90	0,80-1,10
P max. %	0,025	0,025
S max. %	0,035	0,025
Cr %	0,90-1,20	0,30 (max.)
Mo %	0,15-0,30	-
Cu max. %	0,40	0,25
B %	-	0,0008-0,005

### 3.1.1. Malzeme

Çalışmamızda 5 adet Ø20 mm çapında 250 mm uzunluğunda 42CrMo4 MOD çeliği ve 5 adet Ø20 mm çapında 250 mm uzunluğunda 30MnB4 çeliği kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan 30MnB4 çeliği, döküm numarası 10037827 ve Kangal Numarası 1003782702 olan, Ø20 filmaşın (kangal) olarak Kroman Çelik firmasından tedarik edilmiştir. Deneyde kullanılan 42CrMo4 MOD çeliği, döküm numarası D2010105 ve çelik numarası 000010 olan, Ø20 sıcak çekim malzeme olarak Asilçelik firmasından tedarik edilmiştir. Düz filmaşın (kangal) halinde Kroman Çelik fabrikasından tedarik edilen 30MnB4 malzemesi 10.9 kalite cıvata imal etmek için, Ø20 30MnB4 çeliği Berdan Cıvata fabrikasında bulunan kangal doğrultma makinesinde bu çalışma da kullanılmak üzere doğrultma işlemi yapılmıştır.

Tablo 3.6' da, çeliklerin tedarik edildiği firmalardan gönderilen malzemelerin başlıca element yüzdeleri Berdan Cıvata A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarlarında Şekil 3.1'de gösterilen SOLARİS cihazında alaşım elementleri belirlenmiştir.

**Tablo 3. 6.** 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çeliklerinin ıslahsız hammaddeden kimyasal analizi

Numune No	Malzeme Cinsi	C (%)	Si (%)	Mn(%)	P (%)	S (%)	Cr(%)	Mo(%)	B (%)	Fe (%)
1-550	42CrMo4 MOD	0,421	0,248	0,863	0,011	0,006	1,483	0,275	-	96,281
2-555	42CrMo4 MOD	0,425	0,24	0,89	0,007	0,004	1,51	0,28	-	96,321
3-560	42CrMo4 MOD	0,425	0,239	0,902	0,006	0,003	1,536	0,276	-	96,321
4-565	42CrMo4 MOD	0,42	0,22	0,87	0,006	0,003	1,49	0,27	-	96,281
5-570	42CrMo4 MOD	0,421	0,248	0,863	0,011	0,006	1,483	0,275	-	96,281
Ortalama Değer	42CrMo4 MOD	0,422	0,23	0,877	0,008	0,004	1,500	0,275	-	96,297
6-485	30MnB4	0,320	0,150	0,930	0,010	0,012	0,190	0,009	0,003	98,123
7-490	30MnB4	0,310	0,160	0,910	0,010	0,008	0,200	0,009	0,003	98,123
8-500	30MnB4	0,307	0,134	0,910	0,010	0,010	0,183	0,000	0,003	98,123
9-510	30MnB4	0,304	0,102	0,977	0,010	0,004	0,200	0,014	0,003	98,007
10-520	30MnB4	0,302	0,131	0,960	0,006	0,010	0,187	0,053	0,003	98,007
Ortalama Değer	30MnB4	0,308	0,135	0,937	0,009	0,008	0,192	0,017	0,003	98,076

**Şekil 3. 1.** Deneyde kullanılan kimyasal analiz cihazı.

### 3.1.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Çalışmamızda, 42CrMo4 MOD malzemesinden ısıtım işlem sonrası farklı sıcaklıklarda temperlenen 5'er adet numuneden çekme, çentik ve sertlik numuneleri hazırlanmıştır. 30MnB4 malzemesinden ısıtım işlem sonrası farklı sıcaklıklarda temperlenen 5'er adet numuneden çekme,

çentik ve sertlik numuneleri hazırlanmıştır. Isıl işlem uygulanmadan 1'er adet çekme, çentik ve sertlik numuneleri hazırlanmıştır. Hiçbir şekilde Isıl işlem uygulanmadan elde edilen mekanik test sonuçları sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.

Şekil 3.2' de görüldüğü üzere çalışılan numunelerin görsellerine yer verilmiştir. Deney numuneleri şerit testerede 250 mm boyunda kesilmiştir. Kesilen numuneler izlenebilirliği sağlanması için uç kısımları 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 şeklinde sırasıyla numaralandırılmıştır. Numaralandırılan numuneler Şekil 3.3' de görülen markalama presinde gerçekleştirilmiştir.

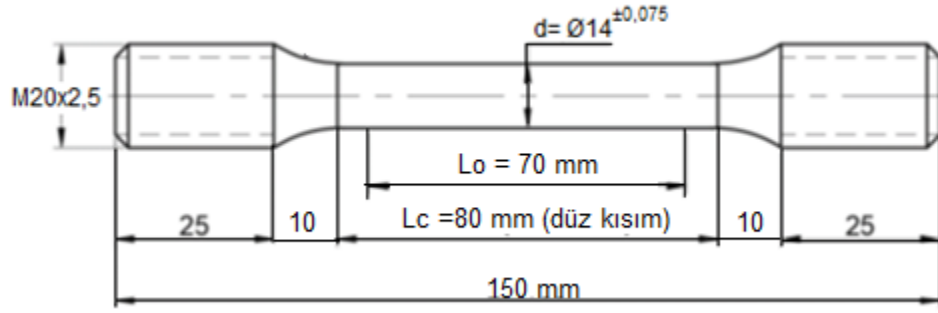


Şekil 3. 2. Deneyde kullanılan numuneler

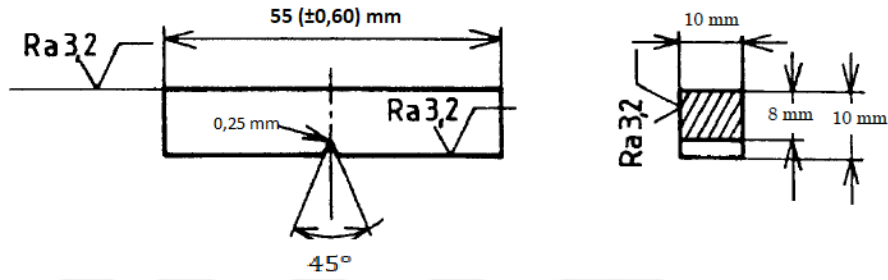


Şekil 3. 3. Deneyde kullanılan markalama makinesi

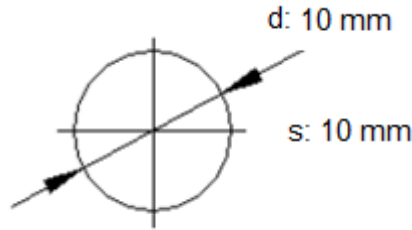
Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da hazırlanan çekme, darbe ve sertlik numunelerine ait teknik resimleri yer almaktadır.



Şekil 3. 4. Çekme deney numunesi teknik resmi [29].



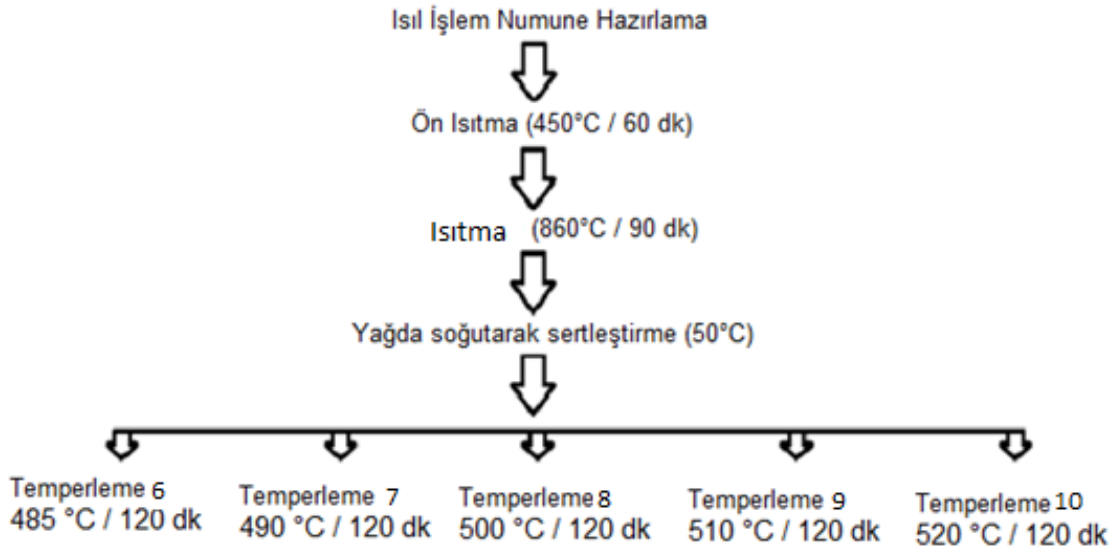
Şekil 3. 5. Çentik deney numunesi teknik resmi [30].



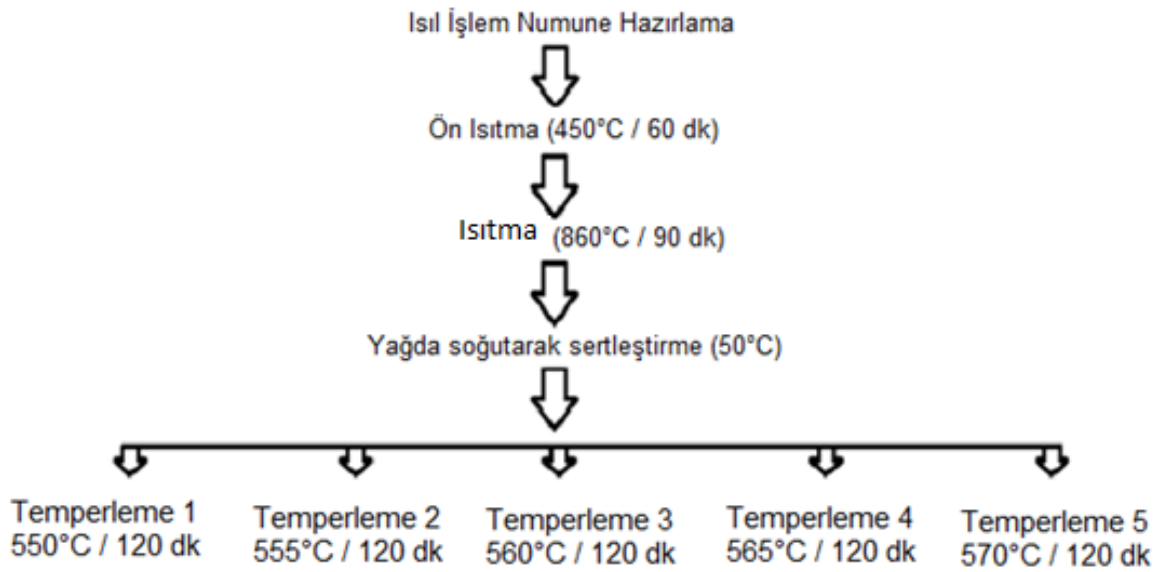
Şekil 3. 6. Mikroyapı deney numunesi teknik resmi.

### 3.2. Deneylerin Yapılışı

42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çeliğinin incelenmiş olan deneylerde çekme, darbe ve metalografik analiz numuneleri ısıtma sonrası hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numunelerinin 10 adedi ön ısıtma, sertleştirme ve değişen mencevi sıcaklıklarına tabi tutulmuştur. Bütün numuneler yağda sertleştirilmiştir. Temperleme işlemi her iki malzeme içinde 5 farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ön denemeler yapılarak belirlenen sıcaklıklar Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de akış diyagramı şeklinde verilmiştir. Temperleme sıcaklıkları 42CrMo4 MOD malzeme için sırasıyla 550°C, 555°C, 560°C, 565°C, 570°C ve 30MnB4 malzemeler için sırasıyla 485°C, 490°C, 500°C, 510°C ile 520°C sıcaklıklar için deney akış şemaları belirtilmiştir.



Şekil 3. 7. 30MnB4 deney akış şeması



Şekil 3. 8. 42CrMo4 MOD deney akış şeması

### 3.2.1. Numunelerin Isıl İşlemi ve Süreçleri

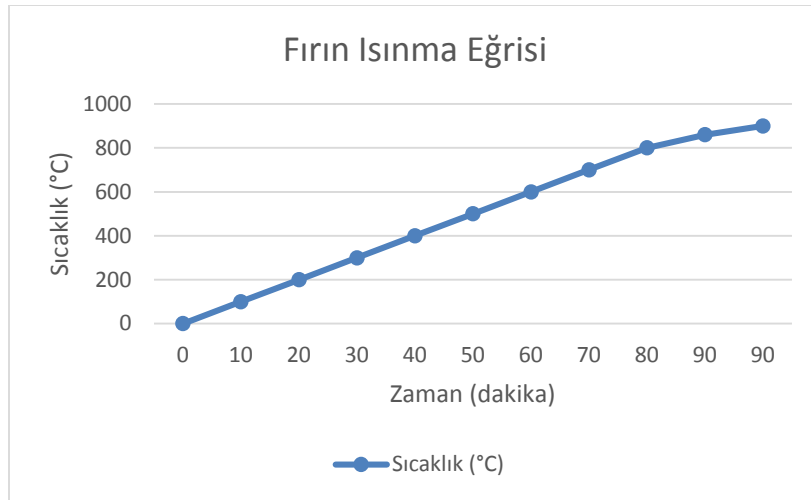
Çalışılan malzemelerin ısıl işlem süreçleri Berdan Civata fabrikasında gerçekleşmiştir. Berdan Civata ısıl işlem bölümünün genel görünüm ve kısımları Şekil 3.9' da yer verilmiştir.



Şekil 3. 9. Isıl işlem süreci

Hazırlanan numunelerin 10 adedi ön ısıtma, tavlama, yağda soğutma ve menevişleme işlemine tabi tutulmuştur. Ön ısıtma için gerekli olan sıcaklık demir karbon denge diyagramından 450°C olarak belirlenmiştir. Malzeme de çatlak oluşmaması için bu sıcaklık değerine ısıtılmıştır. Fırına numunelerin yerleştirilmesiyle fırın çalıştırılmaya başlanmıştır.

Fırın, çalıştırıldıktan sonra 10'ar dk aralıklarla fırın sıcaklıkları ölçülerek Şekil 3.10'daki eğri elde edilmiştir. 90 dk sonra bizim sertleştirme sıcaklığımız olan 860°C'ye ulaşmıştır. Fırın sıcaklığı 860°C'e ulaştığında deney numuneleri Şekil 3.10' da belirtildiği üzere 90 dakika fırında bekletilmiş ve sakin havada soğutulmaya bırakılmıştır. Bu bekletmenin ardından numunelerden 10'ar adedi ise yağda soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan numunelerden 10 mm uzunluğunda numune kesilerek, mikroyapısı incelenmiştir. Bulgular ve tartışma bölümünde mikroyapı sonuçlarına yer verilmiştir.



Şekil 3. 10. Isıl işlem fırının ısınma grafiği

Her bir temperleme için yağda soğutulmuş deney numuneleri kullanılmıştır. Sertleştirilen numuneler 5 farklı sıcaklık kategorisinde temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu sıcaklıklar 42CrMo4 MOD malzeme için 550°C, 555°C, 560°C, 565°C, 570°C ve 30MnB4 malzemeler için 485°C, 490°C, 500°C, 510°C ile 520°C' dir. Isıl işlem fırını bu sıcaklıklara geldiğinde malzemeler fırında 120 dk bekletilerek daha sonrasında 2 saat havada soğumaya bırakılmıştır.

### 3.3. Karakterizasyon Çalışmaları

Isıl işlemleri tamamlanan numuneler 2 saat durgun hava da soğuma işleminden sonra her bir numune için çekme, çentik ve metalografik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşen bu test değerleri sonuçlar ve öneriler kısmında yer verilmiştir.

#### 3.3.1. Çekme Deneyi

Testin standardı EN/ ISO 6892-1'dir. Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan bir testtir. Çekme deneyinde bir malzemenin statik ve yavaş uygulanan bir yüke karşı dayanımı ölçülür. Çekme deneyi ile malzemelerin sünekliği, mukavemeti ve rijitliği belirlenmektedir. Bu özellikler malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine, metalografik yapısına bağlıdır. Malzemenin tokluk ve süneklik kavramları uzama ve kesit daralması parametreleri bilgi verir. Çekme deneyi numunesi için gerekli şartlar TS EN/ ISO 6892-1 standardında belirlenmiştir. Hazırlanan çekme numuneleri tek ekseninde, sabit kabul edilebilecek bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan çekme kuvveti uygulandığında, aynı zamanda da numunenin uzama değerleri kaydedilmiştir.

Isıl işlemleri tamamlanmış numuneler TS EN/ ISO 6892-1 standardına göre universal torna tezgâhında işlenerek Şekil 3.4' deki verilen teknik resim ölçülerinde çekme numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan çekme numunelerinin her iki ucuna dış açma makinesinde M20 dış açılarak çekme testi için hazırlanmıştır. Çekme numuneleri Şekil 3.11 ve 3.12' de verilmiştir. Çekme testi sonucunda numunelerin temsil ettiği malzemelere ait bazı nitelikler saptanmıştır. Bunlar: Çekme Dayanımı, Akma Dayanımı, % Uzama, Kesit Daralması değerleridir.



**Şekil 3. 11.** Isıl işlem sonrası işlenmiş çekme numuneleri.



**Şekil 3. 12.** Isıl işlem uygulanmadan işlenmiş çekme numuneleri.

Numunelerin mekanik değerleri ölçülürken Şekil 3.13' de verilen deneyde kullanılmış 60 tonluk BAZ markalı universal çekme testi cihazı görülmektedir. Bu cihazda numuneler kopana kadar çekme işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 13.** Çekme test cihazı.

$$A_0 = \frac{\pi \times d_0^2}{4} \quad (1)$$

$$U (\%) = \left( \frac{L - L_0}{L_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$F = \sigma \times A_0 \quad (3)$$

$$\sigma = \varepsilon \times E \quad (4)$$

$$Z (\%) = \left( \frac{Z - Z_0}{Z_0} \right) \times 100 \quad (5)$$

Şekil 3.13' de kullanılan çekme cihazında denklem 1, denklem 2, denklem 3, denklem 4 ve denklem 5 'te verilen formüller kullanılarak kopma kuvveti, uzama, gerilme değerleri hesaplanmıştır. Birim deformasyon ölçümleri için kumpas kullanılmıştır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde yer verilmiştir.

### 3.3.2. Darbe Deneyi

Test standardı EN ISO 148-1'dir. Charpy çentik darbe numunesinde; V çentikli (ISO ve ASTM standartlarında tercih edilir), U-çentikli (RUS standartlarında tercih edilir) ve anahtar deliği çentikli olmak üzere üç farklı çentik geometrisi kullanılmaktadır [19]. Darbe deneyinde, Şekil 3.14' de görülen çentik açma cihazında numunenin ortasında V çentiği açılır. Numune yatay olarak deney cihazına yerleştirilir. Deney cihazının kırma çekici numunenin çentik hizasının arkasından numuneye vurarak ve numune kırılır. Şekil 3.5' de görüldüğü üzere çentik test numunesinin boyu 55 mm'dir ve 10 mm kare kesite sahiptir [30].

Isıl işlemde çıkan numuneler darbe testi için freze tezgâhında hazırlanmıştır. TS EN 10045 standardına göre Şekil 3.15'de darbe testi numunesi haline getirilmiştir Hazırlanan çentikler Şekil 3.14' deki çentik açma makinasında açılarak Şekil 3.15'deki V çentikli numune teste hazır hale gelmiştir. Çentik numunesi hazırlanırken Şekil 3.5'de verilen teknik resim ölçülerine göre hazırlanmıştır. Ölçüler mm'dir.



Şekil 3. 14. Çentik açma makinası



Şekil 3. 15. Freze tezgâhında işlenen V çentik numunesi

Malzemenin dinamik yüklere karşı kırılma enerjisini belirlemek için yapılan bir deneydir [30]. Bu deneyin temel prensibi Şekil 3.16' da şematik olarak gösterildiği gibi, bir l uzunluğundaki sarkacın ucundaki belli bir G ağırlığına sahip çekic belli bir h1 yüksekliğinden numuneyi kırması için serbest bırakılmaktadır. Serbest bırakılmadan önce çekicinin potansiyel enerjisi G.h1 iken numune kırıldıktan sonra belli bir h2 yüksekliğine çıkan çekicinin potansiyel enerjisi G.h2 olmaktadır [30].

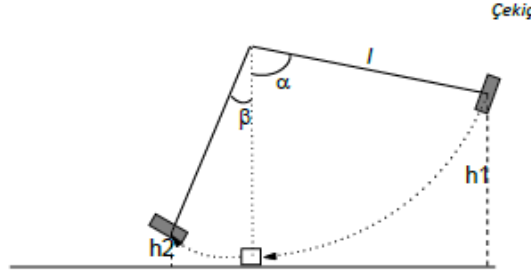
Bu durumda kırılma Enerjisi (KE);

$$KE = (G * h1 - G * h2) \quad (6)$$

$$KE = G * (h1 - h2) = G * l * (\cos\beta - \cos\alpha) \quad (7)$$

Denklem 6 ve denklem 7'de belirtilen, l: sarkaç boyunu  $\beta$  ve  $\alpha$  salınım açısını, G: ağırlığı, h1 ve h2: sarkacın yerden yüksekliklerini temsil etmektedir. h2 yüksekliği ne kadar az

gerçekleşirse kırılan o malzemenin ne kadar çok darbe direnci ya da yüksek tokluk gösterdiğini anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.16.** Darbe deneyinin teknik olarak çizimi [27].

Çentik testinin uygulanması Şekil 3.17'deki ALŞA marka çentik test cihazında gerçekleşmiştir. Hazırlanan numuneler ISO 898-1 standardına göre -20 °C de darbe testi gerçekleşmiştir. Deney parçasının tamamının istenilen sıcaklığa gelmesi için deney parçası 15 dakika soğutucu dolabında sıvı ile daldırılmıştır. Sıvı seviyesi min. 25 mm yükseklik olarak ölçülmüştür. Numuneler soğutma dolabının ortasına yerleştirilerek, Ardından dolabın kapağına sabitlenmiş otomatik karıştırıcı çalıştırıldı.

İstenilen -20 °C'ye kadar soğutma için numune Etil Alkol içerisine daldırılmıştır. Sıvı, ilave bir kimyasal olan karbondioksit ile hedef sıcaklığımıza ulaşıncaya kadar soğutulması beklenmiştir. Deney parçamız bu sıcaklığa ulaştığında 5 saniye içerisinde numuneler alınıp, kırma işlemi gerçekleşmiştir. Sıcaklıklar termometre ile ölçülmüştür. Bekleme ve sıcaklık değerleri aşağıda Tablo 3.7' de belirtilmiştir. 20 Kg'lık Çekiç, dikey eksenle 160 derece açı yapacak şekilde kaldırılıp sabitlenmiştir (Şekil 3.17). Deney parçası çentik simetri düzlemi, örslerin simetri düzleminde 0,5 mm' den daha fazla kaçık olmayacak şekilde yerleştirilir. Deney parçası, destekler üzerine, çekicinin ucu çentiğin arka yüzeyine vuracak şekilde konulmuştur (Şekil 3.18). Çekicinin serbest olarak bırakılıp, Şekil 3.17' deki gibi numune kırıldıktan sonra göstergeden Joule değeri okunmuştur. Elde edilen ölçümler Sonuçlar bölümünde verilmiştir.

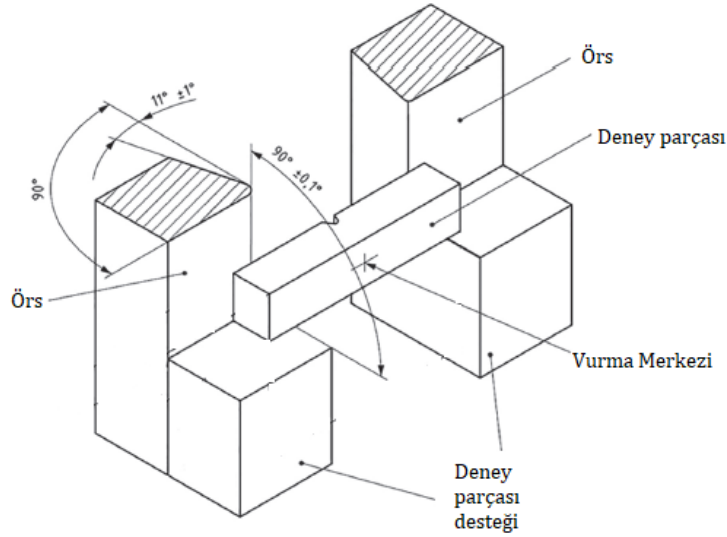
**Tablo 3.7.** Soğutma için bekleme ve sıcaklık değerleri

İstenen Sıcaklığımız	Soğutucu Dolap Sıcaklığı	Soğutucu Malzemesi	Numune Sıcaklığı	Numune Bekleme Zamanı
-20 °C	-25 °C	Etil alkol + Karbondioksit	-23 °C	15 dk

Tablo 3.7' de soğutma ve bekleme sıcaklık değerleri verilmiştir. Bu sıcaklık değerlerine soğutulmuş beklenen ısı işlemli ve ısı işlemli numunelerden elde edilen veriler sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.



Şekil 3. 17. Charpy çentik darbe cihazı.



Şekil 3. 18. Deney parçası desteklerinin ve örslerin yerleşimi [19].

### 3.3.3. Metalografik İnceleme

Metalografi, metallerin içyapısını inceler. Metalografi, metallerin içyapısını inceleyerek onların özelliklerini belirlemeye, tarihçesini açığa çıkarmaya ve ona nasıl işlemler uygulanabileceğini anlatmaya çalışır [27-30].

Mikro yapı incelemesi yapılması için sırasıyla aşağıdaki 6 işlemlerden geçmiştir. Bunlar: Kesme, Bakalite Alma, Zımparalama, Parlatma, Dağlama ve Optik mikroskopta inceleme işlemleridir. Numunelerin mikro yapılarının detaylı bir şekilde incelenebilmesi için metalografik analizler yapılmıştır.

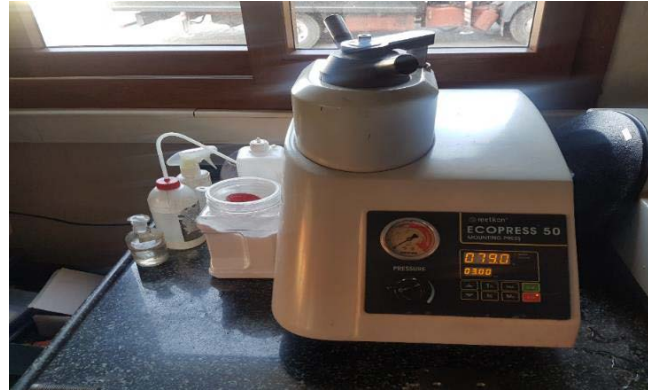
### 3.3.3.1. Mikroyapı Numune Hazırlama (Kesme İşlemi)

Şekil 3.6' da verilen mikroyapı teknik resmine göre numunelerden enine ve boyuna kesit alınmıştır. Kesit alma işlemi için şerit testere kesme makinesi kullanılmıştır. Kesit alırken numuneyi aşırı ısınmadan kaçınılması için kesme sırasında soğutucu sıvı kullanılmıştır. Numune boyutları 10 mm boyutunda ve 10 mm çapında hazırlanmıştır. Kesme işleminden sonra Bakalitleme işlemi uygulanmıştır.

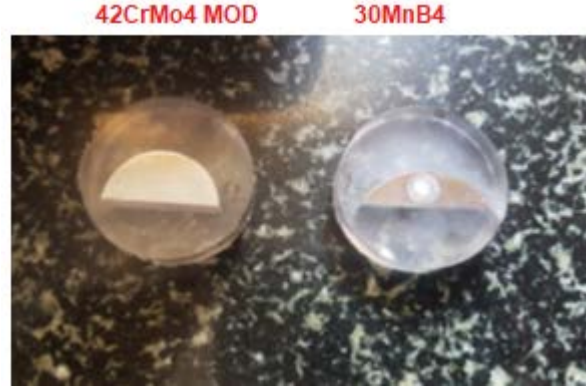
### 3.3.3.2. Bakalite Alma

Şekil 3.19' da görülen ECOPRESS marka bakalit cihazı kullanılmıştır. Numunenin boyutları elle tutulmayacak kadar küçükse veya şekli düz zemine durmayacak şekilde karmaşık bir numune ise yüzeyin incelenmesi için sıcak bakalitleme işlemi yapılmaktadır. Hazırlanmış olduğumuz numune boyutları da küçük olduğu için sıcak bakalitleme işlemi yapılmıştır.

Bu cihazda, numune alt piston üzerine yerleştirildikten sonra alt piston aşağı çekilerek numunenin üzerine toz halindeki plastikten ölçek yardımıyla numunenin boyutlarına göre bir miktar plastik tozu dökülmüştür. Üst pistonu taşıyan kapak kapanıp kilitlendikten sonra 300 bar basınç uygulanmıştır. Yaklaşık 10-15 dakika 180 °C sıcaklıkta bekletildikten sonra soğutma suyu yardımıyla 8 dakika soğutulup kalıplanmış numune olarak tamamlanmıştır. Kalıplanmış numune Şekil 3.20' de gösterilmiştir. Bakalit tozu olarak akrelik fenolik kalıplama tozu kullanılmıştır.



Şekil 3. 19. Bakalitleme cihazı



Şekil 3. 20. Bakalitlenmiş test numune gösterimi

### 3.3.3.3. Zımparalama İşlemi

Bakalitlenmiş numunenin mikroskobik incelemeye uygun hale gelmesi ve mükemmel bir düz yüzey elde etmek için gereklidir. Zira metal mikroskopları numune yüzeyinden yansıyan ışınları incelemektedir.

İncelenen malzemelerden kesilerek alınan numunenin yüzeyinde kesme işleminden kaynaklı pürüzlü olup ayrıca yüzeyinde deformasyon tabakası oluşmuştur. Mikroskopta inceleme yapabilmek için numune yüzeyinin son derece düzgün olması gerekir. Bunun için önce zımparalama ardından da parlatma işlemi uygulanmıştır. Bu işlemler Şekil 3.21’ de görülen cihazda yapılmıştır. Zımparalama işlemi kaba zımparalamadan ince zımparalama doğru sırasıyla yapılmıştır. Zımpara, sert ve aşındırıcı nitelikli SiC Taneciklerin suya dayanıklı kâğıt üzerine yapıştırılması ile üretilmiştir.

Tablo 3. 8. Kullanılan zımpara kağıdı özellikleri

Kullanılan zımpara tane noları	Tane Boyutu( $\mu\text{m}$ )
240	53-45
400	31-27
600	22-18
800	15-11
1200	
2400	

Tablo 3.8’ de verilen özelliklerden kaba zımparalama işlemi 240 tane nosu ile başlamıştır. Zımparalama elle yapıldığı için zımpara izlerinin ortadan kaldırılmasını kolay izleyebilmek için bir sonraki zımparalamada numune 90 derece döndürerek zımparalama işlemi tamamlanmıştır.

Bu işlem tamamlanırken numune üzerine çok hafif bastırılarak tamamlanmıştır. İnce zımparalama aşınmasından sonra yüzey pürüzlülüğü yaklaşık 1 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. 21. Zımparalama Ve Parlatma Test Cihazı

#### 3.3.3.4. Parlatma İşlemi

Parlatma işleminde, mekanik parlatma yöntemi kullanılmıştır. Mekanik parlatma işleminde 150-600 d/dk hızla dönen diskler kullanılmıştır. Bu disklerin üzerine özel üretilmiş parlatma keçeleri (kadife türü kumaş) kullanılmıştır.

İnce zımparalamadan sonra numune iyice suyla yıkandıktan sonra disk üzerine yerleştirilen numuneler parlatma keçesine 3 µm Elmas pasta sürülerek ve alkol ile yumuşatıldıktan sonra parlatma işlemi tamamlanmıştır. Numune disk üzerinde dönme yönüne ters istikamette devam ettirilmiştir ve arada bir kendi etrafında sağ sola çeyrek tur döndürülmüştür. Parlatmanın yeterli olup olmadığını kontrol etmek için numune yüzeyine çıplak gözle ve mikroskopta 100X büyütmede bakılmıştır. Gözle bakıldığında ayna gibi parlak olmalı ve/veya mikroskopta bakılınca çizik olmamalıdır.

Parlatılmış yüzeyler ışığı eşit miktarda yansıttığından yapının detayları gözlenemez; bunu sağlamak için yapıda kontrast oluşturmak gerekir; bu yüzden dağlama yapılmıştır. Numunelerde gerçek içyapı özelliklerini ortaya çıkarmak için parlatılmış numune yüzeyine dağlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Buradaki amaç, parlatma sonucu görülmeyen mikroyapı elemanlarını ortaya çıkarmaktır.

#### 3.3.3.5. Dağlama İşlemi

Kimyasal dağlama işleminde çeşitli kimyasal maddelerin karışımından oluşan ve her malzeme için farklı olan dağlama ayırıcı veya dağlama reaktifi kullanılmaktadır. Bizim

kullandığımız ayraçlar; Nital (%5 Nital)=1 veya 5 ml HNO<sub>3</sub>+100ml methanol (%95) veya 100ml ethanol (%95)'dür.

Bu ayraçlar, numune üzerine döküldüğünde malzeme yapısında bulunan fazlar, tane sınırları veya tane içi arasında mikro düzeyde piller oluşturarak enerjisi yüksek olan tane sınırları ve fazlar anot, diğer fazlar katot olarak görev yapar. Anot olan bölgeler aşınır katot olan bölgeler ise aşınmaz. Aşınan kısımlar mikroskop altında ışığı farklı yönlerde yansıttığından mikroskop altında koyu renkte aşınmayan bölgeler ışığı geri yansıttığından açık renkte görünürler. Bu suretle oluşan kontrast yardımıyla taneler ve fazların yapısını inceleyebiliriz. Şekil 3.22'de dağlanmış bir test numunesi gösterilmiştir.



**Şekil 3. 22.** Dağlama sonucu test numune gösterimi

Dağlama işleminden sonra Büyütme oranına göre inceleme yapılmıştır. Bu incelemeler; Tane boyutu, Faz yapısı, Karbürizasyon veya Dekarbürizasyon gibi incelemelerdir.

Bu çalışma da Şekil 4.5' deki Optik mikroskop kullanılarak hazırlanan numuneler 400X büyütülerek incelenmiştir. Bulgular ve sonuçlar bölümünde tane boyutu, faz yapısı hakkında değerlere yer verilmiştir.

### **3.3.4. Mikrosertlik Ölçümü**

Mikrosertlik için istenilen ebatlara getirilen 2 adet ısıl işlemsiz numune ve 10 adet numune ısıl işlem fırınında farklı meneviş sıcaklıklarında 2 saat bekledikten sonra, Numunelerin sertlikleri Şekil 3.23' de görülen MITUTOYO marka cihazla mikrovickers sertlik ucu kullanılarak 310 gram yük altında 2 ile 8 saniye arasında tutularak 3 noktadan ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

500X büyütme ile mikrosertlik izleri görüntüsü Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26' da yer verilmiştir. Tablo 3.9 ve 3.10'da ölçülen değerleri verilmiştir.



Şekil 3. 23. Mikro sertlik test cihazı.

Tablo 3. 9. Isıl işlem uygulanmadan mikrosertlik iz ölçüm değerleri

Numune No.	Malzeme Adı	İstenen Değer (ISO 898-1)	Ölçülen Değer (3 ölçüm)	Ölçülen Ortalama Değer
1	42CrMo4 MOD	320-380 HV	197-199-201 HV	199 HV
2	30MnB4	320-380 HV	178-180-183 HV	180,33 HV

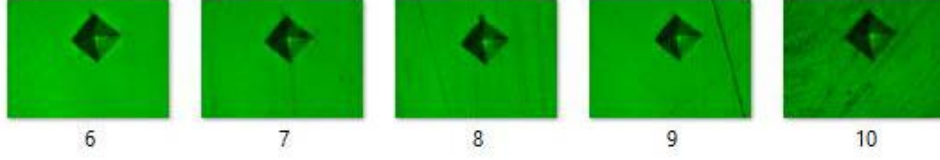
Tablo 3.10. Isıl işlem temperleme sonrası mikrosertlik iz ölçüm değerleri

Numune No.	Malzeme Adı	İstenen Değer (ISO 898-1)	Ölçülen Değer (3 ölçüm) (HV)	Ölçülen Ortalama Değer (HV)
1-550	42CrMo4 MOD	320-380	342-334-347	341
2-555	42CrMo4 MOD	320-380	338-330-337	335
3-560	42CrMo4 MOD	320-380	341-347-354	347,33
4-565	42CrMo4 MOD	320-380	339-365-362	355,33
5-570	42CrMo4 MOD	320-380	350-356-369	358,33
Ortalama			347,39	347,39
6-485	30MnB4	320-380	374-369-321	354,66
7-490	30MnB4	320-380	358-351-340	349,66
8-500	30MnB4	320-380	362-352-359	357,66
9-510	30MnB4	320-380	322-324-373	339,66
10-520	30MnB4	320-380	322-324-373	339,66
Ortalama			348,26	348,26



Şekil 3. 24. Isıl işlem temperleme sonrası 42CrMo4 MOD malzemesine ait sertlik (HV) izleri

Deney numunelerinde temperleme sonrası, Şekil 3.24' de gösterilen her beş sertlik izleri için üç ölçüm noktalarını MITUTOYO marka mikro sertlik ölçüm cihazında alarak ölçülen değerleri göstermektedir. Ölçülen izler 500X büyütülmüştür.



**Şekil 3. 25.** Isıl işlem temperleme sonrası 30MnB4 malzemesine ait sertlik (HV) izleri

Deney numunelerinde temperleme sonrası, Şekil 3.25’ de gösterilen her beş sertlik izleri için üç ölçüm noktalarını MITUTOYO marka mikro sertlik ölçüm cihazında alarak ölçülen değerleri göstermektedir. Ölçülen izler 500X büyütülmüştür.



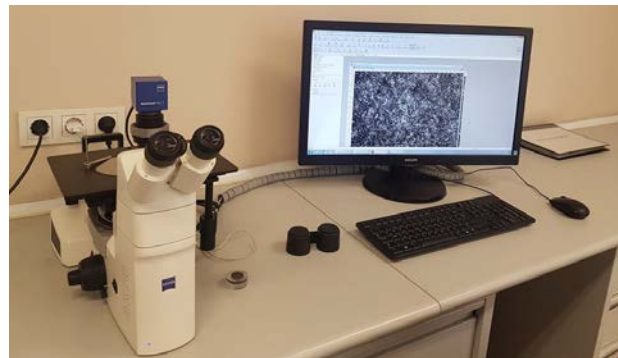
**Şekil 3. 26.** Isıl işlem uygulanmadan alınan mikrosertlik iz görünümü

Deney numunelerinde ısıl işlem uygulanmadan, Şekil 3.26’ da gösterilen her iki sertlik izleri için üç ölçüm noktalarını MITUTOYO marka mikro sertlik ölçüm cihazında alarak ölçülen değerleri göstermektedir. Ölçülen izler 500X büyütülmüştür.

### 3.3.5. Mikroyapı İncelemesi

Bu çalışma da Şekil 3.27’ deki ZEISS marka optik mikroskop kullanılarak hazırlanan numuneler 400X büyütülerek incelenmiştir.

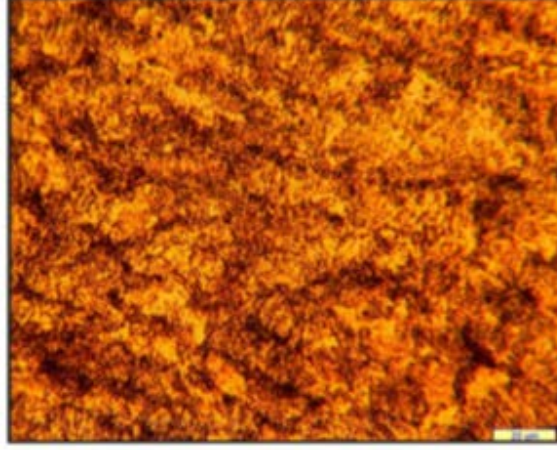
İçyapı incelemesinde genellikle ışık yansımından yararlanıldığı için numunedeki fazların özellikleri dağılımları, tane sınırları, dekarbürizasyon, karbürizasyon ve çatlakları kolayca ayırt edilebilmiştir. Tane büyüklüğü ölçümleri ASTM E115 standardına göre değerlendirilmiştir.



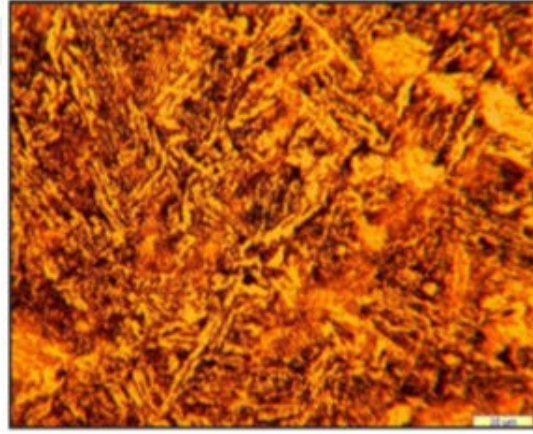
**Şekil 3. 27.** Zeiss Marka Optik mikroskop.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

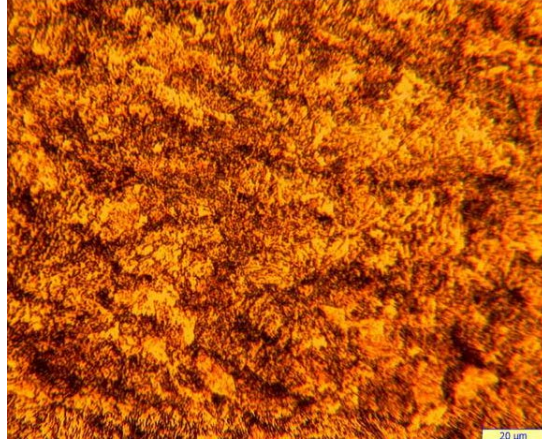
42CrMo4 MOD ve 30MnB4 ısıtım işlem uygulanmadan önceki mikroyapıları aşağıda incelenmiş ve mikro yapısının perlit ve ferrit olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de mikroyapı görselleri bulunmaktadır. Tane büyüklükleri 4 ile 5 µm arasında ölçülmüştür.



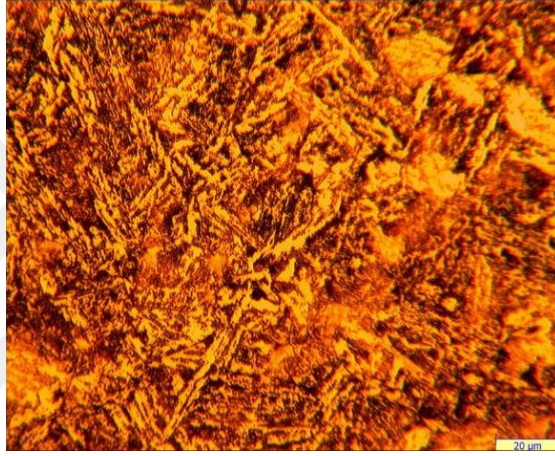
Şekil 4. 1. 42CrMo4 MOD çeliğın ısıtım işlem uygulanmadan önceki mikroyapısı.



Şekil 4. 2. 30MnB4 çeliğın ısıtım işlem uygulanmadan önceki mikroyapısı.

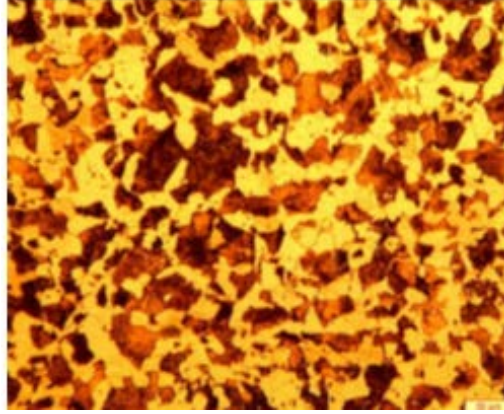


**Şekil 4. 3.** Ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı.



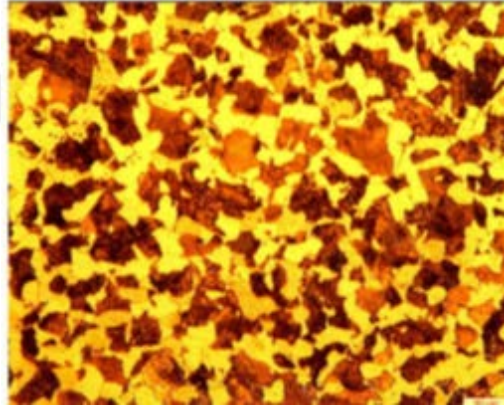
**Şekil 4. 4.** Ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı

42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çeliğinin 450 °C' de 60 dk ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş mikroyapıları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de yer verilmiştir. Her iki malzemeninde mikro yapılarının perlit + ferrit olduğu tespit edilmiştir. Tane büyüklüklerinin ise 5 ile 6 µm arasında olduğu ölçülmüştür. Malzemelere demir karbon diyagramına göre ön ısıtma işlemine tabi tuttuğumuzda mikro yapısının değişmediğini ve tanelerinde büyüme gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 5.** Sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı.

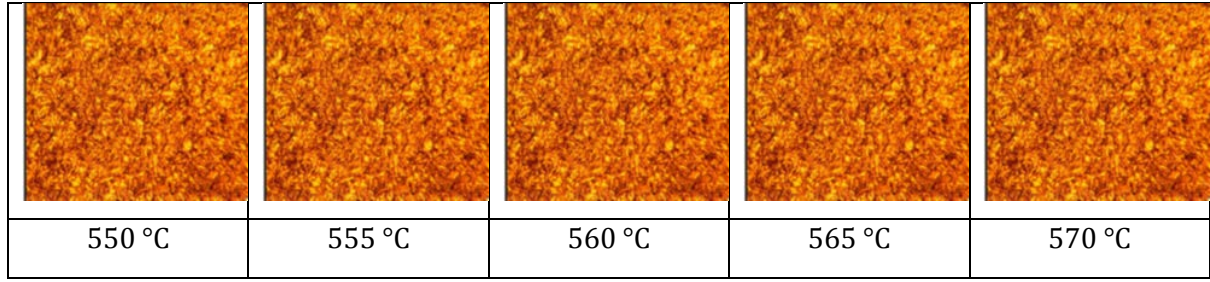
Şekil 4.5’de 860°C de sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 42CrMo4 MOD malzemenin Şekil 3.27’ de kullanılan optik mikroskop ile 400X büyütme sonucu mikro yapısındaki değişimler incelenmiştir. İnceleme sonucu olarak tavlama sertliği 52 – 58 HRC olarak ölçülmüştür. 42CrMo4 MOD çeliğinde mikro yapısının perlit ve ferrit ve tane büyüklüğünün 6-7  $\mu\text{m}$  olduğu ölçülmüştür.



**Şekil 4. 6.** Sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı.

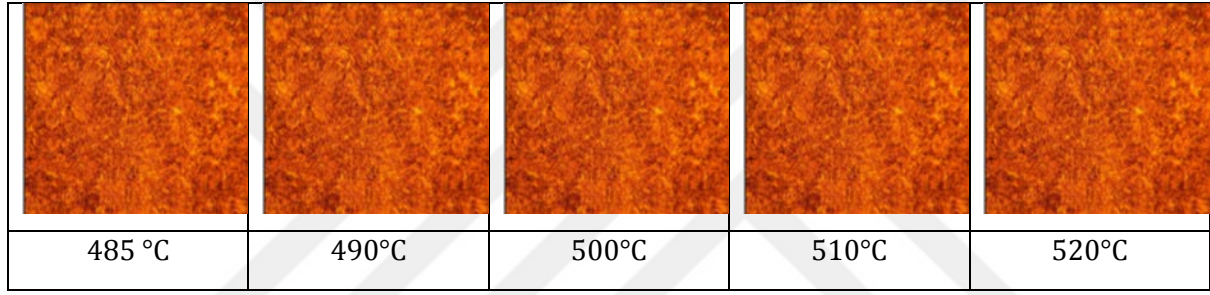
Şekil 4.6’da 860°C de sertleştirme işlemine tabi tutulmuş 30MnB4 malzemenin Şekil 3.27’ deki kullanılan optik mikroskop ile 400X büyütme sonucu mikro yapısındaki değişimler incelenmiştir. İnceleme sonucu olarak tavlama sertliği 49-53 HRC olarak ölçülmüştür. 30MnB4 çeliğinde mikro yapısının perlit + ferrit ve tane büyüklüğünün 7-8  $\mu\text{m}$  olduğu ölçülmüştür.

Tavlama işlemi sonrasında fırında yaklaşık olarak 40 dakika soğutulmuştur. Daha sonra hava ortamında soğutma işlemi devam etmiştir. Malzemelere demir karbon diyagramına göre sertleştirme işlemine tabi tuttuğumuzda mikro yapısı perlit + ferrit olarak aynı kaldığı ve tanelerinde büyüme gözlemlenmiştir.



**Şekil 4. 7.** Meneviş işlemi uygulanmış 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapısı (400X).

Şekil 4.7’de beş farklı temper işlemine tabi tuttuğumuz 42CrMo4 MOD çeliğinin mikroyapıları verilmiştir. Beş farklı sıcaklıkta temperlenen numunelerin mikroyapıları görselleri birbiri ile benzer sonuçlar vermiştir. Mikroyapı sonucu %90 oranlarında martenzit, yaklaşık %1 oranında ferrit ve geri kalan kısımda da beynit elde edildiği tespit edilmiştir.



**Şekil 4. 8.** Meneviş işlemi uygulanmış 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı (400X).

Şekil 4.8’de beş farklı temper işlemine tabi tuttuğumuz 30MnB4 çeliğinin mikroyapıları verilmiştir. Beş farklı sıcaklıkta temperlenen numunelerin mikroyapıları görselleri birbiri ile benzer sonuçlar vermiştir. Mikroyapı sonucu %85 oranında martenzit, yaklaşık %3 oranında ferrit ve geri kalan kısımda da beynit oluştuğu tespit edilmiştir.

Mikroyapı incelemesi sonuçlarına göre her iki malzeme için görülen farklılıkların nedenleri, 42CrMo4 MOD çeliğinde Cr ve Mo elementinin olması, C oranının 30MnB4 çeliğindeki oranından fazla olması, 30MnB4 çeliğinde B elementinin olması ve soğutma etkilerinden dolayı martenzit yapıda farklılıklar görülmüştür.

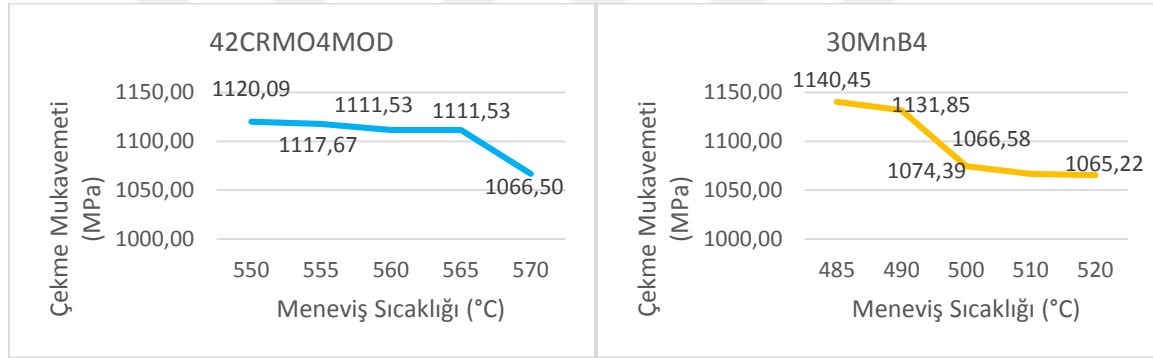
#### 4.1. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi

Yapılan olan bu çalışmada, 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 çeliklerinin 10.9 kalite için (ISO 898-1) gerekli mekanik değerlerin sağlanması için ısıtma işlem uygulamaları gerçekleştirilmiştir. 10.9 kalite için olması gereken değerler standarttan alınarak Tablo 4.1’ de yer verilmiştir. Çıkan sonuçlar bu tabloya göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar bölümünde yer verilmiştir.

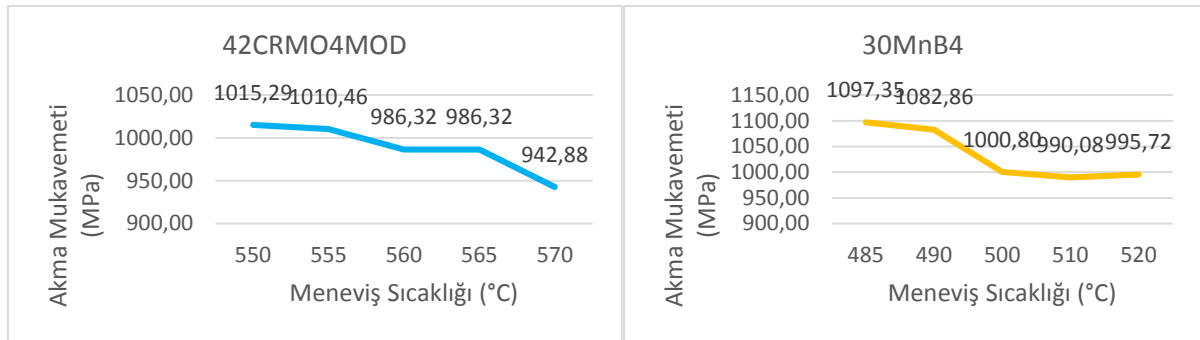
**Tablo 4. 1.** 10.9 Kalitenin mekanik değerleri [31].

ISO 898-1 Standart Mekanik Değerleri	
Kopma Mukavemeti (min.)	1040 MPa
Akma Mukavemeti (min.)	940 MPa
Kopma Uzaması (min.)	%9
Kesit Daralması (min.)	%48
Mikrosertlik Değeri	320-380 HV
Çentik Değeri	-20°C= (min.) 27 Joule

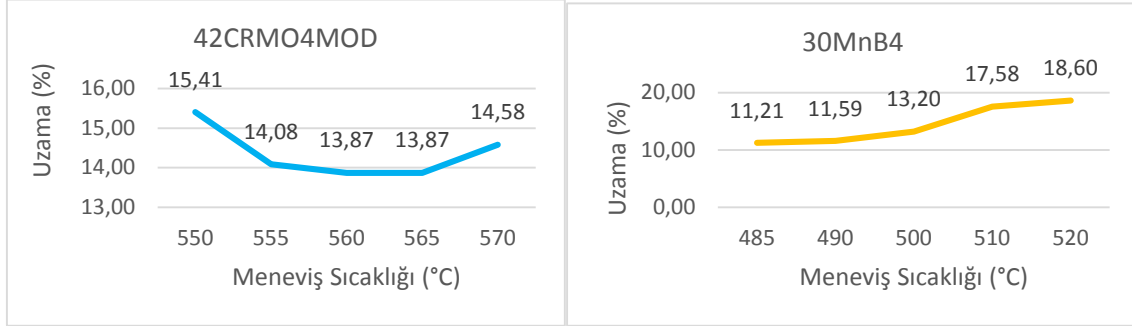
Farklı meneviş sıcaklıkları sonucunda 42CrMo4 MOD ve 30MnB4 malzemelerinden elde edilen mekanik sonuçların grafikleri Şekil 4.9 ile Şekil 4.14 arasında gösterilmiştir. Ekler bölümünde çekme test raporları eklenmiştir.

**Şekil 4. 9.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve Çekme mukavemetleri ilişkisi.

Şekil 4.9'da deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak çekme mukavemetleri karşılaştırılması gösterilmiştir. Her iki malzemenin de meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak çekme mukavemetlerinde bir azalma görülmektedir.

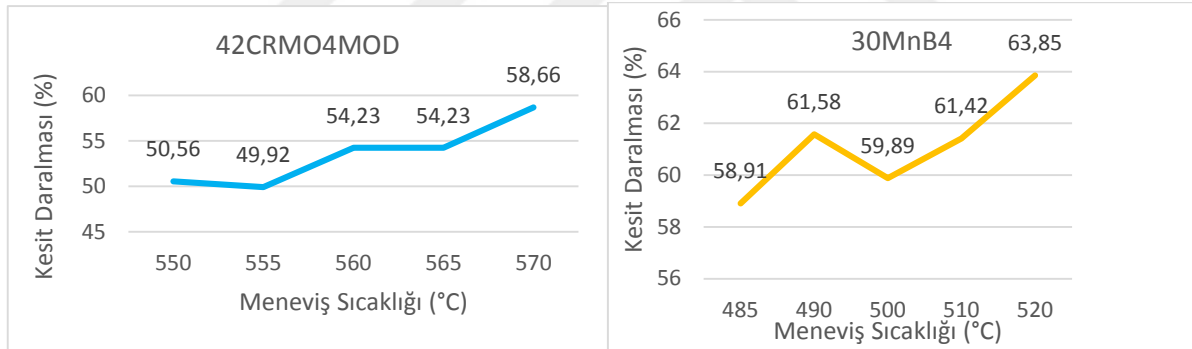
**Şekil 4. 10.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve akma mukavemetleri ilişkisi.

Şekil 4.10'da deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak akma mukavemetleri karşılaştırılması gösterilmiştir. Her iki malzemeninde meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak akma mukavemetlerinde bir azalma görülmektedir.



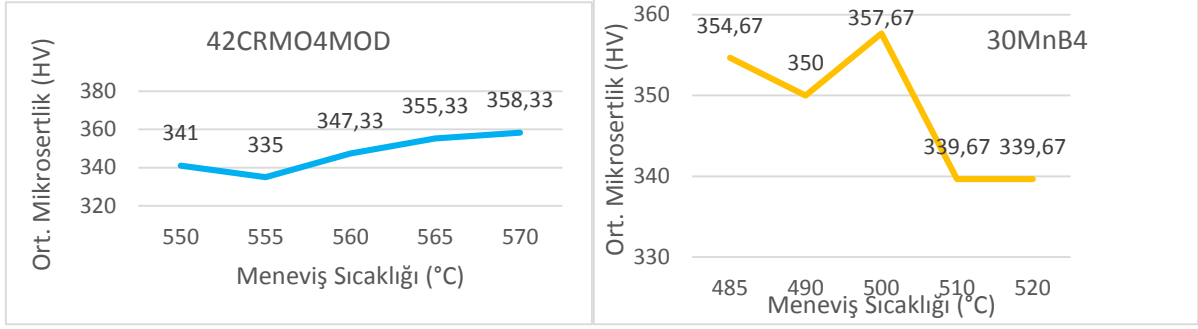
**Şekil 4. 11.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve kopma uzamalarının ilişkisi

Şekil 4.11'de deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak kopma uzamalarının karşılaştırılması gösterilmiştir. 30MnB4 çeliği için uzama değerinde artış görülmektedir. 42CrMo4 MOD çeliği için uzama değerlerinde azalma görülmektedir.



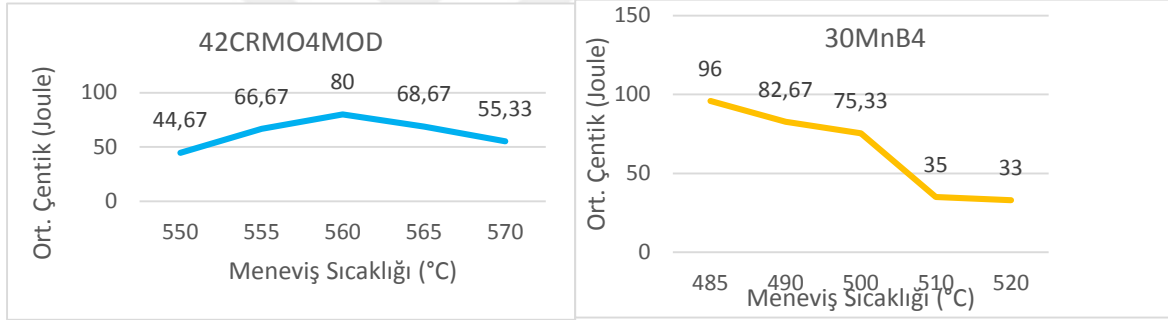
**Şekil 4. 12.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve kesit daralmalarının ilişkisi

Şekil 4.12'de deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak kesit daralmalarının karşılaştırılması gösterilmiştir. 30MnB4 çeliği için artma görülmektedir. 42CrMo4 MOD çeliği için kesit daralmalarında sıcaklığa bağlı olarak artma görülmektedir.



**Şekil 4.13.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve ortalama mikro sertlik değerlerinin ilişkisi

Şekil 4.13'de deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak ortalama mikro sertliklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. 30MnB4 çeliğinin 500°C'de max. Değere ulaştığı görülüyor ve sonrasında bir azalma görülmektedir. 42CrMo4 MOD çeliğinin ise 555°C'de bir azalma görülüyor ve sonrasında artma görülmektedir.



**Şekil 4.14.** İki farklı malzemenin meneviş sıcaklığı ve ortalama çentik darbe değerlerinin ilişkisi

Şekil 4.14'de deneyde kullanılan malzemelerin meneviş sıcaklıklarına bağlı olarak ortalama çentik değerleri hesaplanarak karşılaştırılması gösterilmiştir. 30MnB4 çeliğinin çentik Joule değerlerinde azalma görülmektedir. 42CrMo4 MOD çeliğinin ise 560°C'de maksimum değerine ulaştığı sonrasında azalma görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Günümüzde deneysel verileri elde etmek ve bu verilerin ortam koşullarından bağımsız hale getirmek zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenle daha önce yapılan deneyleri ve bu deneylerde elde edilen verileri değerlendirilmiştir.

**Tablo 5. 1.** Isıl işlemsiz elde edilen mekanik değerler.

Malzeme Adı	Temper Sıcaklığı (°C)	Akma (Ry) (min.) (Mpa)	Kopma (Rm) (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z)(min)	Sertlik Değeri (HV)	Çentik (KV2) (-20°C=min.27J)
42CrMo4 MOD	-	560,74	702,18	22,60	64,33	Ort. 199	Ort. 25,8 J
30MnB4	-	471,44	672,86	23,78	55,63	Ort. 180,33	Ort. 10,03 J
Standart 10.9 kalite		940	1040	9	48	320-380	27 J

Tablo 5.1' de ısıl işlem uygulanmadan yapılan çekme, çentik ve sertlik sonuçlarına bulunmuştur. Isıl işlem uygulanmadan malzemelerin 10.9 kalite için kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. 10.9 kalite elde etmek için malzemelerin ısıl işlem prosesi eklenerek istenen kaliteye ulaşacağı tespit edilmiştir. Bunun için optimum sıcaklık değerleri üzerinde çalışılmıştır.

**Tablo 5. 2.** 30MnB4 malzemesinin ısıl işlem sonrası deneysel mekanik değerleri.

30MnB4 1.5526	Temper Sıcaklığı (°C)	Akma (Ry) (min.) (Mpa)	Kopma (Rm) (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z)(min)	Sertlik Değeri (HV)	Çentik (KV2) (-20°C=min.27J)
6	485	1097,35	1140,45	11,21	58,91	Ort. 354,66	Ort. 96 J
7	490	1082,86	1131,85	11,59	61,58	Ort. 349,66	Ort. 82,66 J
8	500	1000,80	1074,39	13,20	59,89	Ort. 357,66	Ort. 75,33 J
9	510	990,08	1066,58	17,58	61,42	Ort. 339,66	Ort. 35 J
10	520	995,72	1065,22	18,60	63,85	Ort. 339,66	Ort. 33 J
Ortalama Değer		1033,3	1095,7	14,43	61,13	347,39	61,13 J
Standart 10.9 kalite		940	1040	9	48	320-380	27 J

Tablo 5.2 içerisinde 30MnB4 çeliğinin ısıl işlem sonrası deneysel mekanik değerlerine yer verilmiştir. Literatürde bilgiye ulaşamaması ve bu malzemeyi kullanacak sanayi ve benzer

alanlarda mekanik değerlerin bulunması ile kolaylık sağlanmıştır. 10.9 kalite için her sıcaklığında uygun parametre olduğu görülmüştür.

**Tablo 5. 3.** 42CrMo4 MOD malzemesinin ısı işlem sonrası deneysel mekanik değerleri.

42CrMo4 1.7225	Temper Sıcaklığı (°C)	Akma (Ry) (min.) (Mpa)	Kopma (Rm) (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z) (min.)	Sertlik Değeri (HV)	Çentik (KV2) (-20°C=min.27J)
1	550	1015,29	1120,09	15,41	50,56	Ort. 341	Ort. 44,66
2	555	1010,46	1117,67	14,08	49,92	Ort. 335	Ort. 66,66
3	560	986,32	1111,53	13,87	54,24	Ort. 347,33	Ort. 80
4	565	986,32	1111,53	13,87	54,24	Ort. 355,33	Ort. 68,66
5	570	942,88	1066,40	16,87	58,66	Ort. 358,33	Ort. 58,66
Ortalama Değer		988,25	1105,46	14,36	53,52	348,33	63,06 J
Standart 10.9 kalite		940	1040	9	48	320-380	27 J

Tablo 5.3 içerisinde 42CrMo4 MOD çeliğinin deneysel mekanik değerlerine yer verilmiştir. Karşılaştırılan iki malzemenin mekanik değerlerinin ortalamalarını standart ile kıyasladığımızda malzemelerin standart ve mekanik değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. 10.9 kalite için her sıcaklığında uygun parametre olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, seçilen iki malzemenin karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutularak 10.9 kalite için gerekli mekanik özelliklerin elde edilebileceği görülmüştür. 42CrMo4 MOD malzemesinin yerine 30MnB4 malzeme kullanıldığında maliyet açısından tasarruf sağlanacağını aşağıda Şekil 5.1' de verilen Asilçelik firmasına ait fiyat tablosundan görülmektedir. 42CrMo4 ile 30MnB4 malzeme arasında 174 Euro/ton fark vardır.

FİYAT GRUPLARI		Ø19 - Ø270	LAMA	
		K70 ve ÜZERİ		
		PLATİNA	8-60 x 60-130	
		80-200 x 200-400		
Ölçüler mm'dir.				
<b>Karbon Çelikleri</b>				
1	A	C(10-70), SAE (1008-1090)	1.447	1.372
	B	ST52-3, 30Mn5, 46Mn7, S355J2G3 (Mn % 1'in üzeri)	1.470	1.395
<b>Yay Çelikleri</b>				
2	A	50MnSi4, 60SiMn5	1.516	1.436
	B	55Cr3, 65Si7, SAE 9260	1.557	1.477
	C	50/51CrV4	1.678	1.578
	D	51/52CrMoV4	1.848	1.728
3		62SiCr5, SAE 9262, 61SiCr7	1.605	1.510
<b>Otomat Çelikleri</b>				
4	A	(10-60)S20, SAE 1117, EN8M	1.500	
	B	(9-11)SMn(Pb)(28-37)	1.569	
<b>İslah Çelikleri</b>				
5		SAE 5135, (34-41)Cr4, ZF63, CM80F, 35CrMn5, 30M5R	1.551	
6		(18-50)CrMo(S)4, SAE 4140, SAE 4150, B5709M40, (16-30)CD4, EN16C (% 5 Pb farkı eklenir.)	1.711	
7	A	34CrNiMo6, SAE 4340	2.378	
	B	30CrNiMo8	2.583	
	C	31CrMoV9	1.946	
<b>Borlu Çelikler</b>				
8		(20-33)MnB(4-5), SAE 15B(16-41)H	1.537	

Şekil 5. 1. 42CrMo4 ile 30MnB4 çeliğinin fiyat kıyaslaması

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen veriler literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırılıp, 30MnB4 çeliği 10.9 kalite bir cıvata üretiminde kullanılabilir. Standart ve kullanım yerine göre 30MnB4 çeliği, 42CrMo4 çeliğine akma, kopma, uzama, kesit daralması değerlerine bağlı olarak tercih edilebilir.

Bu çalışma ile literatüre, 10.9 kalite cıvata üretimlerinde 42CrMo4 malzemesine bağlı kalmadan, malzeme çeşitliliği ortaya çıkarılabilir. Böylece 10.9 kalite bir ürün için, gerekli olan hammadde fiyatını daha hesaplı elde etmek için alternatif olarak 30MnB4 çeliği kullanılabilir.

Bir sonraki çalışma olarak, bu malzemelerle birlikte 32CrB4 malzemesini kullanarak 10.9 kalite cıvata üretimlerinde ıslah ve temper işlemi sonrası mekanik davranışları incelenebilir. Bu malzemedeki metalografik analizler yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Çelik K. D. Teknik Bilgiler. 24.06.2021 tarihinde <http://kayademircelik.com/2016/04/28/teknik-bilgiler/> Adresinden erişildi.
- [2] Avner, S.H., (1986). *Introduction to physical metallurgy*. New York: McGraw Hill Book Company, 2.ed.
- [3] Oliveira, F., Hernandez, L., Berrios, J.A., Villalobos, C., Pertuz, A. and Cabrera, E.S. (2000). Puchi Cabrera, Corrosion-fatigue properties of a 4340 steel coated with Colmonoly 88 alloy, applied by HVOF thermal spray. *Surface and Coatings Technology*, 133- 134, 68-77 s.
- [4] Harre, M. D. (2004). Microstructure of steel and cast irons, (Translated by J.H. Davidson), p. 417. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [5] Çarboğa, C., Kurt B., Dal S. (2016). İslah Çeliklerinden 4140 Çeliğine (42CrMo4) değişik oranlarda bor ilave edilerek uygulanan ısıl işlem metotlarının etkisi. *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5.
- [6] Arman, M. A. (2017). *Farklı oranlarda mikro alaşım bor içerikli aısı 4140 çeliğinin aşınma davranışının araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- [7] Hascometal, Çelik Nedir?, 17.11.2020 tarihinde <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=68> adresinden erişildi.
- [8] BorTec, Common Alloying Elements for Steel and their Effects, 18.11.2021 tarihinde <https://bortec.de/en/blog/common-alloying-elements/> adresinden erişildi.
- [9] Asay, M. (2020). Isıl işlem eğitimi. TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Eğitim Merkezi, 50 – 51.
- [10] Outokumpu, The effects of alloying elements, 18.11.2021 tarihinde <https://www.outokumpu.com/en/expertise/stainless-basics/the-effects-of-alloying-elements>, adresinden erişildi.
- [11] Wikipedia, Özgür Ansiklopedi, 18.11.2021 tarihinde <https://www.wikipedia.org/>, adresinden erişildi.
- [12] Sanal şantiye, alaşım elementlerinin çeliklere etki ve tesirleri, 17.12.2020 tarihinde <https://www.sanalsantiye.com/alasim-elementlerinin-celiklere-etki-ve-tesirleri/> Adresinden erişildi.
- [13] Güleç, Ş., Aran, A. (1995). *Malzeme bilgisi* (C.2). İstanbul: İTÜ Makine Fakültesi.
- [14] Ugsam, Uluslararası Gözlem Ve Stratejik Araştırmalar Merkezi, 18.11.2021 tarihinde <https://ugsam.org/bor/>, adresinden erişildi.
- [15] Karaca, A. (2020). Çeliklerin fiziksel metalurjisi, 15.05.2021 tarihinde <https://docplayer.biz.tr/58438676-Celiklerin-fiziksel-metalurjisi.html> Adresinden erişildi.
- [16] Topbaş, A. M., Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı. Ekim Ofset Yayınları, 553, İstanbul, 1998.
- [17] Ataçelik, Çeliklerde Tavlama. 24.06.2021 tarihinde <http://www.atacelik.com/tavlama.html>. Adresinden erişildi.
- [18] Dokuzlar Ö. (2018). *36CrB4 ve 42CrMo4 çeliklerde ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [19] Uzkut, M., Özdemir, İ. (2001). Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 65-73.
- [20] Açı, S., Kolaç M. Atak O. (2020). AISI 4140 Çeliğinin delinmesinde kesme kenar radyüsü ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1.
- [21] Kaya, M. T. (2016). *SAE 4140 (42crmo4) ıslah çeliğinin bileşik gerilmeli yorulma davranışının incelenmesi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- [22] Kesti, E., (2009). *Ç - 4140 çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- [23] Karagöz, İ., Kurt, H. İ., Samur, R. (2018). The effect of carburization time on the hardness and microstructure at heat treatment of carburized steels, 3<sup>rd</sup> International Energy & Engineering Congress Proceedings Book, Gaziantep University.
- [24] Meydan, O. (2017). *20MnB4 özel alaşımlı çelik tel çubukların haddelenmesi esnasındaki soğuma hızının ve serme kafa sıcaklığının tufal yapısına etkisi*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [25] Pengxiao, Z., Yi, L., Haixia, C., Dongya, Z. (2017). Effects of quenching temperature on tempering microstructure and mechanical properties of 30MnB steel, *Materials Science and Engineering*, 274. 012060 doi:10.1088/1757-899X/274/1/012060.
- [26] Demirezen, M., Bayrak, M., Öztürk, F. (2006). DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısı işlemin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması. *Teknoloji*, 9(2), 145-152.
- [27] BS EN ISO 683-2, Heat-treatable steels, alloy steels and free-cutting steels - Part 2: Alloy steels for quenching and tempering, June 2018, p. 12 - 17.
- [28] DIN EN 10263 - 4, Steel rods, bars and wire for cold extrusion - Part 4: Technical delivery conditions for steels for quenching and tempering, October 1989, p. 7 - 9.
- [29] TS 138 EN 10002-1, Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at ambient temperature, April 2004, p. 16 - 18.
- [30] EN10045-1, Metallic materials, Charpy impact test-Part 1: Test method, March 1990, p. 4-7.
- [31] BS EN ISO 898-1, Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel-Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread, January 2013, p. 7 - 9.