



TARSUS  
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 ISLAH ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEMİN  
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

OĞUZHAN KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS-2025

**T.C.**  
**TARSUS ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 ISLAH ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEMİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**OĞUZHAN KAYA**

**Danışman: Prof. Dr. MUSTAFA KEMAL KÜLEKÇİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TARSUS – 2025**

**Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;**

Bu çalışma, jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Başkan:** Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ  
(Danışman)

**Üye:** Prof. Dr. Funda KAHRAMAN

**Üye:** Doç. Dr. İlker SUGÖZÜ

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../..../2025 tarih ve ...../.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylarım.  
.../.../2025

Doç. Dr. Ayşe ERGİN ÜNAL  
Enstitü Müdürü

**NOT:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. .... / .... / 2025

İMZA

Oğuzhan KAYA

## ÖZET

### 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 ISLAH ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

OĞUZHAN KAYA

**Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ**

**Temmuz 2025, 87 sayfa**

Günümüzde en çok kullanımı yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan rüzgar türbinlerinin ülkemizde de yaygın olarak kurulumları devam etmektedir. Bu türbinler başta olmak üzere diğer alanlar olan inşaat, otomotiv, köprüler, oto yollar, raylı sistemler gibi sektörlerde bağlantı elemanları kullanımı oldukça yaygın ve önemlidir. Kullanılan bağlantı elemanlarının üretiminde çelikler kritik bir etkiye sahiptir. Günümüzde kullanılan bu çeliklerin daha az maliyetli ve daha uygun mekanik özelliklere sahip yeni türlerinin bağlantı elemanları üretim sektörüne kazandırılması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada piyasa koşullarında bağlantı elemanları için yaygın olarak kullanılmayan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin mekanik özelliklerinin tavlama prosesinden sonra farklı meneviş sıcaklıklarında bağlantı elemanları kalite standardı olan ISO 898-1'in içeriğinde ki 10.9 kaliteye göre uygunluklarının sağlanıp sağlanmayacağı çekme testi, sertlik testleri, çentik testi, kimyasal analiz testi ve metalografik yapı incelemesi ile ortaya koyulmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde deneylerde kullanılan Ø49'luk malzeme için 33MnCrB5 malzemesinin 455°C ve 475°C meneviş sıcaklıklarında ki test sonuçları 10.9 kalitesinin gerekliliklerinin tamamını karşılamıştır. 30MnCrB4-2 malzemesi ise sadece 445 °C meneviş sıcaklığında 10.9 kalitesinin tüm gerekliliklerini sağlayarak uygun çıkmıştır. Böylelikle bağlantı elemanlarının üretiminde en çok kullanılan 42CrMo4, 41Cr4 gibi çeliklerin yanı sıra yeni bir malzemenin kullanımının da önü açılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çekme Testi, Çentik Testi, Sertlik Testi, Metalografik İnceleme

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE EFFECT HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF 30MnCrB4-2 AND 33MnCrB5 TEMPERED STEELS

OĞUZHAN KAYA

Master Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ

July 2025, 87 pages

Wind turbines, which are one of the most widely used renewable energy sources today, continue to be widely installed in our country. The use of fasteners is quite common and important in sectors such as construction, automotive, bridges, highways, rail systems, especially in these turbines. Steels have a critical effect on the production of fasteners used. Today, it is aimed to introduce new types of these steels with less cost and more suitable mechanical properties to the fastener production sector. In this study, the mechanical properties of 30MnCrB4-2 and 33MnCrB5 steels, which are not widely used for fasteners in the market conditions, were determined by tensile test, hardness tests, Charpy impact test, chemical analysis test and metallographic structure examination to determine whether the mechanical properties of 30MnCrB4-2 and 33MnCrB5 steels, which are not widely used for fasteners in the market conditions, will comply with the 10.9 quality in the content of ISO 898-1, which is the quality standard for fasteners at different tempering temperatures after the annealing process. When the results are evaluated, the test results of 33MnCrB5 material at 455 °C and 475 °C tempering temperatures for Ø49 material used in the experiments met the all the requirements of 10.9 quality. 30MnCrB4-2 material, on the other hand, met all the requirements of 10.9 quality only at 445 °C tempering temperature. This paved the way for the use of a new material as well as steels such as 42CrMo4, 41Cr4, which are most commonly used in the production of fasteners.

**Keywords:** Tensile Test, Charpy impact Test, Hardness Test, Metallographic Examination.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve hazırladığım tez sürecimde, teknik ve tüm konularda beni destekleyerek çalışmalarda detaylara da değinmemi sağlayan, haftanın günü ve saati farketmeksizin beni geri çevirmeyerek yardımcı olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ' ye teşekkür ederim.

Tez çalışma sürecimde akredite olmuş laboratuvarı kullanmamı, gerekli olan ekipman ve makineleri kullanmama olarak sağlayan ve tez çalışmamı sürdürmem için tüm konularda bana destek olan Berdan Cıvata A.Ş Labotatuvar çalışanlarına, Isıl işlem departmanı çalışanlarına ve Kalite kontrol departmanı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
GİRİŞ.....	1

### BÖLÜM I

#### LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Rüzgar Türbinleri.....	3
1.2. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Bağlantı Elemanları .....	3
1.2.1. Saplamlar (Ankrajlar).....	4
1.2.2. Cıvatalar.....	4
1.2.3. Somunlar.....	5
1.2.4. Rondelalar (Pullar) .....	6
1.3. Bağlantı Elemanlarında Kullanılan Çelikler.....	6
1.3.1. Çeliklerin Sınıflandırılması .....	7
1.3.1.1. Alaşım-sız Çelikler .....	7
1.3.1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler .....	7
1.3.1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	7
1.3.1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler .....	8
1.3.1.2. Alaşım-lı Çelikler .....	8
1.3.2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri.....	10
1.3.2.1. Karbon .....	10
1.3.2.2. Mangan .....	10
1.3.2.3. Silisyum .....	11
1.3.2.4. Molibden.....	12
1.3.2.5. Krom .....	12
1.3.2.6. Fosfor .....	13

1.3.2.7. Demir .....	14
1.3.2.8. Bor.....	15
1.3.2.9. Bakır .....	15
1.3.2.10. Kükürt.....	16
1.3.2.11. Titanyum.....	16
1.4. Çeliklerde Isıl İşlem Uygulamaları .....	17
1.4.1. Demir Karbon Denge Diyagramı.....	18
1.4.2. Demir Karbon Denge Diyagramında Bulunan Fazların Tanımlanması .....	19
1.4.3. Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Prosesleri.....	20
1.4.3.1. Tavlama Prosesi.....	20
1.4.3.1.1. Homojenleştirme Tavlaması .....	21
1.4.3.1.2. Yumuşatma Tavlaması.....	21
1.4.3.1.3. Gerilim Giderme Tavlaması .....	22
1.4.3.1.4. Yeniden Kristalleştirme Tavlaması .....	22
1.4.3.1.5. Tane Büyütme Tavlaması .....	23
1.4.3.1.6. Normalizasyon Tavlaması .....	23
1.4.3.2. Sertleştirme Prosesi (Su Verme) .....	23
1.4.3.3. Menevişleme Prosesi (Temperleme) .....	24
1.4.3.4. Islah Etme Prosesi .....	24
1.4.3.5. Sementasyon Prosesi .....	25
1.5. Bağlantı Elemanlarına Uygulanan Başlıca Testler .....	25
1.5.1. Çekme Testi .....	25
1.5.2. Sertlik Testi.....	27
1.5.2.1. Brinell Sertlik Ölçümü (HBW) .....	27
1.5.2.2. Rockwell Sertlik Ölçümü (HRC) .....	27
1.5.2.3. Vickers Sertlik Ölçümü (HV) .....	28
1.5.3. Çentik Darbe Testi.....	29
1.5.4. Kimyasal Analiz Testi.....	30
1.6. Rüzgar Türbinleri Bağlantı Elemanlarında Kullanılan Çelikler Üzerine Yapılmış Bazı Çalışmaların İncelenmesi.....	30

**BÖLÜM II**  
**MATERYAL VE METOT**

2.1. Materyal.....	35
2.2. Metot.....	37

**BÖLÜM III**  
**DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

3.1. Deneysel Çalışmanın Basamakları .....	38
3.2. Deneysel Numunelerini Kesme ve Markalama .....	38
3.3. Numunelere Isıl İşlem Uygulaması .....	39
3.4. Test Numunelerinin Hazırlanması .....	42
3.5. Kimyasal Analiz Testi .....	43
3.6. Çekme Testi .....	45
3.7. Çentik Darbe Testi .....	50
3.8. Sertlik Testi.....	53
3.9. Metalografik İnceleme .....	54
3.9.1. Bakalite Alma.....	55
3.9.2. Zımparalama ve Parlatma İşlemi .....	56
3.9.3. Mikro Sertlik Ölçümü.....	57
3.9.4. Dağlama İşlemi .....	58
3.9.5. Mikro Yapı İncelemesi .....	59

**BÖLÜM IV**  
**BULGULAR VE TARTIŞMA**

4.1. Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi .....	61
4.2. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi .....	62
4.3. Mikro Yapı Görüntülerinin Değerlendirilmesi .....	69

<b>SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>76</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>80</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>.87</b>



## KISALTMALAR

**Ac3:** Üst kritik sıcaklık

**Acm1:** Alt kritik sıcaklık

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

**Al:** Alüminyum

**Ao:** İlk Kesit Alanı

**ASTM:** American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)

**Au:** Son Kesit Alanı

**A%:** Kopma Uzaması

**B:** Bor

**C:** Karbon

**Cr:** Krom

**Cu:** Bakır

**Co:** Kobalt

**d:** Devir

**dk:** Dakika

**Fe:** Demir

**Fe<sub>3</sub>C:** Sementit

**HBW:** Brinell Sertlik Ölçümü

**HRC:** Rockwell Sertlik Ölçümü

**HV:** Vickers Sertli Ölçümü

**ISO:** International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)

**L:** Likit (sıvı) faz

**Lu:** Kopma Öncesi Belirlenen Boy,

**Lo:** Kopma sonrası iki parçanın birleştirilmiş boyu

**M:** Metrik

**Mn:** Mangan

**mm:** Milimetre

**Mo:** Molibden

**Mw:** Megawatt

**Ni:** Nikel

**P:** Fosfor

**Pb:** Kurşun

**S:** Kükürt

**Si:** Silisyum

**Sn:** Kalay

**Ti:** Titanyum

**TÜRKAK:** Türk Akreditasyon Kurumu

**V:** Vanadyum

**Zr:** Zirkoryum

**Z%:** Kesit Daralması

**W:** Tungsten

**°C:** Santigrad Derece

**$\gamma$ :** Ostenit

**$\alpha$ :** Ferrit

**QT:** Quenched and Tempered (Tavlama ve Menevişleme)

**Ø:** Çap

## TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1.</b> 30MnCrB4-2 Malzemesinin Kimyasal İçerikleri .....	35
<b>Tablo 2.2.</b> Hammadde Sertifikasındaki 30MnCrB4-2 Malzemesinin Mekanik Değerleri .....	36
<b>Tablo 2.3.</b> 33MnCrB5 Malzemesinin Kimyasal İçerikleri .....	36
<b>Tablo 2.4.</b> 10.9 Kalite Gereksinimi Olan Elementler.....	36
<b>Tablo 2.5.</b> 10.9 Kalite Gereksinimi Olan Mekanik Değerler.....	36
<b>Tablo 3.1.</b> Deneysel Çalışmanın Proses Basamakları .....	38
<b>Tablo 3.2.</b> Isıl İşlem Prosesleri, Dereceleri ve Süreleri.....	42
<b>Tablo 3.3.</b> Numunelerin Kimyasal Analiz Sonucu Bileşen Değerleri (%) .....	44
<b>Tablo 3.4.</b> Isıl işlemsiz 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (1.Numune) .....	46
<b>Tablo 3.5.</b> 435°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (2.Numune) .....	46
<b>Tablo 3.6.</b> 445°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (3.Numune) .....	47
<b>Tablo 3.7.</b> 455°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (4.Numune) .....	47
<b>Tablo 3.8.</b> 465°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (5.Numune) .....	47
<b>Tablo 3.9.</b> 475°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (6.Numune) .....	48
<b>Tablo 3.10.</b> Isıl İşlemsiz 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (1.Numune) .....	48
<b>Tablo 3.11.</b> 435°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (2.Numune) .....	48
<b>Tablo 3.12.</b> 445°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (3.Numune) .....	49
<b>Tablo 3.13.</b> 455°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (4.Numune) .....	49
<b>Tablo 3.14.</b> 465°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (5.Numune) .....	49
<b>Tablo 3.15.</b> 475°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (6.Numune) .....	50

<b>Tablo 3.16.</b> min. -20 °C’de Yapılan Çentik Test Sonuçları .....	53
<b>Tablo 3.17.</b> Sertlik Testi Sonuçları .....	54
<b>Tablo 3.18.</b> Mikro Sertlik Ölçüm Değerleri .....	58
<b>Tablo 4.1.</b> Kimyasal İçeriklerin Karşılaştırılması .....	61
<b>Tablo 4.2.</b> 10.9 Kalitenin Mekanik Değerleri .....	62



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Cıvata Örnek Görseli .....	5
Şekil 1.2. Somun Örnek Görseli .....	5
Şekil 1.3 Rondela Örnek Görseli .....	6
Şekil 1.4. Fe <sub>3</sub> C içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri .....	9
Şekil 1.5. Karbon Elementi.....	10
Şekil 1.6. Karbon Elementi.....	11
Şekil 1.7. Silisyum Elementi .....	11
Şekil 1.8. Molibden Elementi .....	12
Şekil 1.9. Krom Elementi .....	13
Şekil 1.10. Fosfor Elementi .....	14
Şekil 1.11. Demir Elementi .....	14
Şekil 1.12. Bor Elementi .....	15
Şekil 1.13. Kükürt Elementi .....	16
Şekil 1.14. Kükürt Elementi .....	17
Şekil 1.15. Temel ısıl işlem grafiği.....	18
Şekil 1.16. Demir-Karbon Diyagramı .....	19
Şekil 1.17. Yumuşatma tavlama için önerilen tavlama sıcaklıkları .....	22
Şekil 1.18. AISI 4140 Çeliğine Farklı Meneviş sıcaklıklarının Uygulanması Sonucu Elde Edilen Mekanik Özellikler.....	24
Şekil 1.19. Çekme Grafiği .....	26
Şekil 1.20. ISO 6892-1'e Göre Çekme Numunesi .....	26
Şekil 1.21. Şematik Brinell Sertlik Ölçümü .....	27
Şekil 1.22. Şematik Rockwell Sertlik Ölçümü .....	28
Şekil 1.23. Şematik Vickers Sertlik Ölçümü .....	29
Şekil 1.24. Dişler üzerinde Sertlik Ölçümü .....	29
Şekil 1.25. Çentik Testi Gösterimi .....	30
Şekil 1.26: 30MnB <sub>4</sub> 'ün Deneysel Sonuçları .....	31
Şekil 1.27. 36CrB <sub>4</sub> ve 42CrMo <sub>4</sub> 'ün farklı sıcaklıklardaki çekme değerleri.....	32
Şekil 1.28. M12x35 Cıvata Çekme Deneyi ve Sertlik Ölçümü Sonuçları .....	32
Şekil 3.1. Kesilmiş ve Markalanmış Numuneler A: 30MnCrB <sub>4</sub> -2 B: 33MnCrB <sub>5</sub> .....	39

Şekil 3.2. Ön Isıtma Fırını .....	40
Şekil 3.3. Tav Fırını .....	40
Şekil 3.4. Yıkama Fırını .....	41
Şekil 3.5. Meneviş Fırını .....	41
Şekil 3.6. Numune Hazırlık Aşaması .....	43
Şekil 3.7. Solaris Spektrometre Cihazı .....	44
Şekil 3.8. BAZ marka 60 Tonluk Çekme Cihazı.....	45
Şekil 3.9. Çekme Testi İçin Hazırlanmış Numune a-Test Öncesi b-Test Sonrası.....	46
Şekil 3.10. Çentik Numunelerinin Çıkarılma Yerleri.....	50
Şekil 3.11. Çentik Açma Cihazı .....	51
Şekil 3.12. Deneyde Kullanılan Çentik Darbe Test Cihazı .....	51
Şekil 3.13. Çentik Numuneleri A: Test öncesi B: Test Sonrası .....	52
Şekil 3.14. Çentik Numunesi Soğutma Cihazı .....	52
Şekil 3.15. Rockwell Sertlik Cihazı.....	53
Şekil 3.16. Sertlik Testi Numunesi .....	54
Şekil 3.17. Bakalitleme Cihazı .....	55
Şekil 3.18. Bakalitlemiş Numuneler .....	55
Şekil 3.19. Metkon Marka Zımparalama ve Parlatma Test Cihazı .....	56
Şekil 3.20. MITUTOYA Marka Vickers Sertlik Cihazı .....	57
Şekil 3.21. Mikroskop Altında Vickers Mikro Sertlik İz Görünümü .....	58
Şekil 3.22. Dağlama İşlemi Görmüş Numune .....	59
Şekil 3.23. ZEISS Marka Optik Mikroskop .....	60
Şekil 4.1. Meneviş Sıcaklığı ve Çekme Mukavemetleri İlişkisi.....	62
Şekil 4.2. Meneviş Sıcaklığı ve Akma Mukavemetleri İlişkisi .....	63
Şekil 4.3. Meneviş Sıcaklığı ve Kopma Uzamalarının İlişkisi.....	64
Şekil 4.4. Meneviş Sıcaklığı ve Kesit Daralması İlişkisi .....	65
Şekil 4.5. Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Mikro Sertlik Değerleri İlişkisi.....	65
Şekil 4.6. Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Rockwell Sertlik Değerleri İlişkisi .....	66
Şekil 4.7. Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Çentik Değerleri İlişkisi.....	67
Şekil 4.8. 30MnCrB4-2 Malzemesine Ait Test Sonucu Değerleri .....	68
Şekil 4.9. 33MnCrB5 Malzemesine Ait Test Sonucu Değerleri .....	68
Şekil 4.10. 435°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	70
Şekil 4.11. 445°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	70
Şekil 4.12. 455°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	71

<b>Şekil 4.13.</b> 465°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	71
<b>Şekil 4.14.</b> 475°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	72
<b>Şekil 4.15.</b> 435°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	72
<b>Şekil 4.16.</b> 445°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	73
<b>Şekil 4.17.</b> 455°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	73
<b>Şekil 4.18.</b> 465°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	74
<b>Şekil 4.19.</b> 475°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	74
<b>Şekil 4.20.</b> Islah Yapılmamış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı.....	75
<b>Şekil 4.21.</b> Islah Yapılmamış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı .....	75



## GİRİŞ

Dünya üzerinde çelik üretiminin yüzde 95'i demirdir. Demirin karbon ile oluşturduğu alaşımlar ise en çok kullanılan çelik sanayisinin ve mühendisliğinin malzemesi oluşturmaktadır. Günümüz ihtiyaçları doğrultusunda ve gelişen teknolojinin de getirdiği ile çelik ürünlerinin kullanım yerlerinin genişletilmesine, kullanım yerlerinde ise farklı mekanik değerlerin elde edilmesine ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Kullanılacak olan ürünün hammaddesinin seçimi yapılırken kullanılacağı yerin fiziksel, çevresel uygunluğu bakılması, ürünün verimliliği, kalitesi, kullanım ömrünün süresi, çevreye zararı, taşıyacağı yük ve bunların yanı sıra uygun maliyette olması gerekliliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Düşük alaşımlı ve orta karbonlu çelikler günümüzde özellikle bağlantı elemanları sektöründe ve farklı sektörlerde kullanımı oldukça yaygındır. Düşük alaşımlı çelikler yüksek mukavemet özellikleri sağladığı için ve yüksek derece tokluk gösterdikleri için kullanımı çok tercih edilmektedir (Erdoğan,2022:1).

Bağlantı elemanları için en yaygın kullanılan 41Cr4 ve 42CrMo4 çeliğinin içerdiği Molibden (Mo) ve Krom (Cr) alaşım elementleri nedeni ile bu çelikler ısıtılma işlem uygulamalarında su verme sonrası yüksek oranda martenzit dönüşüm göstermektedir (Balıkçı,2016:32). Bu çelikler bağlantı elemanlarının kalite standardında (ISO 898-1) bulunan 8.8, 10.9 ve 12.9 gibi yüksek mukavemetli cıvata üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat yüksek mukavemet değerlerinin gerekliliğini sağlamak için yeni malzeme türlerinin araştırılması ve kullanım uygunlukları için çalışmalar sürekli olarak devam etmektedir.

Rüzgar türbinlerinin kule montajlarında kullanılan yüksek mukavemetli cıvatalar hayati öneme sahiptirler. Cıvataların kullanımını ve seçimini etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi ise kullanılan hammaddedir. Kullanılan hammadde tek başına ıslahsız şekilde kullanılması mekanik olarak uygun değildir. Taşıyacağı yük değerlerini karşılaması için ısıtılma işlemi tabii tutulması gereklidir. Bilindiği üzere malzeme seçiminde en kritik faktör ıslah edilebilirliktir. Isıtılma işlemi tabii tutulan malzemeler ısıtılma işlem sıcaklığı değiştirilerek malzemenin iç yapısının değişmesine bağlı olarak mekanik özelliklerde değişmektedir. Bu ısıtılma işlem sıcaklıkları farklı derecelerde uygulanırsa malzemenin iç yapısı ve mekanik değerleri de değişecektir (Kaya,2016:34). İstenen uygun mekanik değerleri sağlayabilmek için uygun sıcak değerlerinde ısıtılma işlem yapılması gerekmektedir.

Tabii tutulan ısısal işlemin sonucunda istenen mekanik değeri karşılanıp karşılanmadığı ise tahribatlı muayene metotları ile tespit edilebilir (Çelik,2017:4).

Bu tez çalışmasında malzemelerin iç yapı davranışları incelenmiş olup iç yapı ve mekanik özellikleri arasında oluşan durumları incelemek maksadı ile farklı mekanik deneyler (tahribatlı muayeneler) yapılmıştır.

Çalışma da kullanılan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin içeriklerinde buldukları özel elementler ile bağlantı elemanlarında kullanımı çok yaygın değildir. Günümüz bağlantı elemanları sektörlerine bakıldığında bu malzemelerin kullanımı gözle görülür şekilde düşüktür. İçerisinde buldukları elementler ile yüksek mukavemete, yüksek sertliğe, yüksek korozyon dayanımına, yüksek sıcaklığa karşı direnç gibi özellikler sağlayabilirler. Bu çeliklerin yapısına Mangan, Bor, Silisyum, Krom, Titanyum, Alüminyum, Fosfor Molibden gibi elementler eklenerek daha mukavemetli hale getirilebilmektedir (Tıraş,2023:28-33).

Tez çalışmasında yüksek mukavemetli cıvatalar da yaygın olarak kullanılan 42CrMo4 çeliği ile yaygın kullanımı olmayan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin kimyasal içerikleri karşılaştırıp farklı sıcaklıklarda menevişleme yapılarak mukavemet değerlerini, mikro yapıları ve mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Piyasa koşullarına göre hammaddelerin maliyeti de değerlendirilerek literatüre 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılıp kullanılmayacağı bilgisi kazandırılmıştır.

Bu nedenle Berdan Cıvata A. Ş.'nin akredite laboratuvarı, ısısal işlem fırınları ve meneviş fırınları imkanları kullanılarak yürütülen bu çalışmada Asil Çelik A.Ş ve Saerstahl firmalarından tedarik edilen 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemelerinin ısısal işlemleri ve deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilerek literatüre kazandırılmıştır.

## BÖLÜM I

### LİTERATÜR TARAMASI

Rüzgar Türbinleri ve onların en önemli parçaları olan bağlantı elemanlarının üretiminde kullanılan çelikler üzerine literatür taraması yapılmış ve özet bilgilere bu bölümde yer verilmiştir.

#### 1.1. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar Türbinlerinin kullanımını çok eski tarihe dayanmaktadır. Rüzgar enerjisi ilk olarak Avrupa'da Orta Çağ sırasında ortaya çıktı. İngiltere'de kullanımlarına ilişkin ilk tarihsel kayıtlar 11. veya 12. yüzyıllara aittir. Hollanda da ise 14. yüzyılda yel değirmenleri Ren delta alanındaki suyu boşaltmak için kullanılıyordu. Türkiye'de ise ilk rüzgar türbini İzmir-Çeşme de 1998 de 1,5 Megawatt (mw) lık 3 adet türbin kurulmuştur. Günümüzde ise Türkiye elektrik ihtiyacının yaklaşık %6,6 sını Rüzgar türbinlerinden karşılamaktadır (Pınar vd.,2020:167-182).

Rüzgar Türbinlerinin kurulumu, kullanılan malzemeler ve bağlantı elemanları da bir o kadar önemlidir. En küçük bir hatalı üretilen bağlantı elemanı rüzgar türbininin yıkılmasına yol açabilir ve büyük oranda maddi olarak kayıplar yaşanabilir. Bundan dolayı bağlantı elemanları üreticilerine büyük bir görev düşmektedir. Kullanılan hammaddeler, uygulanan prosesler, uygulanan ısıl işlem, uygulanan testlerin doğruluğu ve gerçekliği sadece kağıt üzerinde değil gerçek anlamda da doğru olmalıdır. Dolayısıyla rüzgar türbinlerinde bulunan ve büyük öneme sahip bağlantı elemanlarının hangi testlere maruz kaldığı ve hangi testlerin mutlaka uygulanması gerektiği büyük önem arz etmektedir (Elibüyük ve Üçgül,2014:1-14).

#### 1.2. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Bağlantı Elemanları

Ağır sanayilerde ve mega inşaların yapımında en çok cıvatalar ve saplamalar en çok tercih edilen bağlantı elemanlarıdır. Türbin kulelerinin başlangıcı saplamalardan başlayıp, kule bölümlerinin birbirine bağlanması için kule cıvatalarına ve kanatların rotora bağlanması için ise kanat bağlantılarına varan yüksek mukavemetli ve ön gerilmeye uygun olarak üretilen bağlantı elemanları kullanılmaktadır. Saplama ve cıvata ölçüleri genel olarak M36'dan M64'e varan ölçülerde ve boyları ise cıvatalarda 100mm

ile 500mm arasında, saplamalarda ise 3000mm ile 6000mm aralığında olup kaplamalı veya kaplamasız bağlantı sistemleridir (Uysal,2022:2). Temel olarak 4 farklı bağlantı elemanı kullanılmaktadır.

### **1.2.1. Saplamlar (Ankrajlar)**

Ankrajlar bir plakayı, donatıyı ya da başka bir materyali sabit şekilde tutabilmek için o ürünleri bağlama işlemine denir. Bir çelik donatısının veya yapı malzemesinin başka bir yapı elemanı veya başka bir malzeme arasına ya da içerisine yerleştirilerek sabitlenmesi işlemidir. Yani ankrajların temel amacı demir donatıyı, çelik ya da başka bir malzemeyi duvara, kolon yüzeyine veya başka bir bölgeye bağlamaktır (Ankraj Nedir,2024, www.tr/weber).

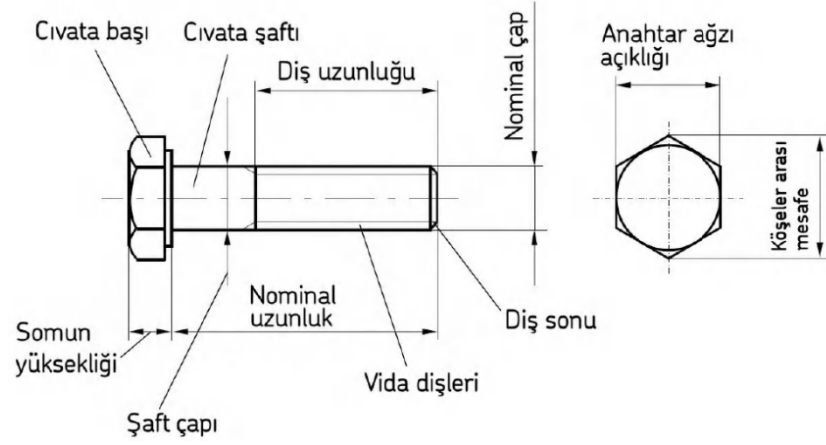
Rüzgar türbinlerinde ankrajlar yukarıda da bahsedildiği gibi rüzgar türbini kulesini taşıya bilmek için toprak altına kafes şeklinde yerleştirilir ve etrafı demir donatı ile donatılarak beton ile sabitlenir. Ankrajlar bağlı olduğu plakalara somun yardımı ile sabitlenir (Keleş,2012:12).

### **1.2.2. Cıvatalar**

Cıvatalar, diğer bağlantı yöntemlerine göre örneğin kaynaklama ve perçinleme gibi çözülebilen bağlantı elemanlarıdır. Bu bağlantı yöntemlerine göre daha fazla yük taşıyabilirler. (Küçükatalay,2010:15). Teknik olarak bir silindir yüzey üzerine bir dış profilinin eşit adımlı olarak helisel şekilde sarılarak oyuntular oluşturularak elde edilir. Çok güvenilir bir bağlantı elemanıdır.

- Birden fazla sökülüp takılabilir
- Çoğu cıvata Standart ölçü ve kalitelere sahip olduğu için temin edilmesi oldukça kolaydır
- Üretimi kolay ve ucuzdur
- Değiştirilip yerine yenisinin koyulması çok kolaydır:

Makine montajında, dişli kutularında, boru bağlantılarında, çelik konstrüksiyonlarda ve rüzgar türbinlerinin kule, kanat ve jeneratör bağlantılarında kullanılır. Kule kısmında Yüksek dayanımlı yapısal cıvata olan EN 14399-4 ve Dast021 standardında ve daha farklı standartlarda ve ISO 898 gibi kalite standardına uygun kalitelere cıvatalar kullanılır. (Yavuzbarut,2018:64)

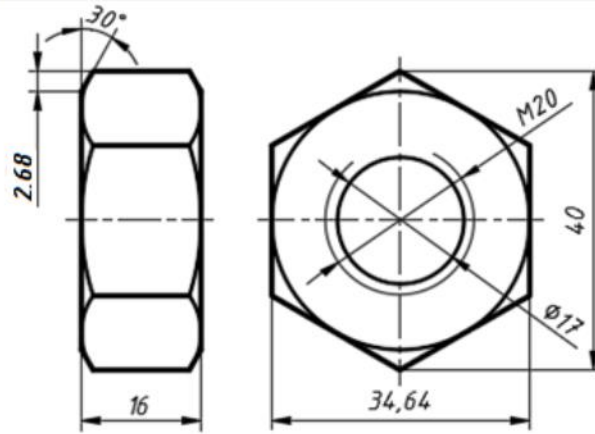


**Şekil 1.2.** Cıvata Örnek Görself

**Kaynak:** (web.itu.edu.tr)

### 1.2.3. Somunlar

Cıvatarla, Ankrajlar ile ya da diğer dış dişli bağlantı elemanları ile birlikte çalışan önemli bağlantı elemanlarıdır (Seri,2016:6-10). Kavramayı iyileştirmek ve daha fazla tork sağlamak için aynı kalite de ve aynı ölçülere sahip olan içten dişlere sahiplerdir. Başlıca somun tipleri 6 köşe başlı, kare, fiberli, kontra somun, kelebek somun ve kullanım yerlerine göre değişikli gösteren birçok somun vardır. Rüzgar türbinlerinde çoğunluk ile 6 köşe başlı somun kullanılır. Bunlar EN 14399-4 ve DAST021 somunlardır. Yine kaliteleri ISO 898'e göre birlikte kullanıldığı cıvata ya da ankraj ile uyumlu olmak zorundadır.



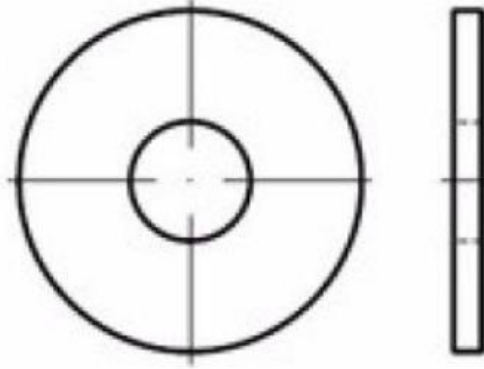
**Şekil 1.2.** Somun Örnek Görself

**Kaynak:** (web.itu.edu.tr)

### 1.2.4 Rondelalar (Pullar)

Bağlantı elemanlarından bir olan rondela, bir vida, ankraj, somun ya da cıvata gibi bağlantı elemanlarının alt kısmında veya üst kısmında yer alan, çoğunlukla düz ve dairesel şekilde olan parçalardır. Rondelalar genellikle birleştirme yapılacak olan yerde somunun altında, cıvata kafasının altında, ya da somun plaka arasında yerleştirilerek kullanılır (Pul Çeşitleri,2024, guvenbaglanti.com.tr). Genellikle metal malzmeden yapılmaktadır.

Pullar; cıvata ya da somun torklanırken kullanılan parçaların dış kısımlarında sürtünme ve oluşabilecek problemlere ya da hasarlara karşı korumak, yapılan montajda oluşan yüksek sıkma kuvvetinin devam etmesini sağlamak amacıyla kullanılırlar (Özmen,2006:25). Rüzgar Türbinlerinde en çok kullanılan tipleri EN 14399-6, ISO 7089 pullardır. Kaliteleri yine ISO 898'e göre ve kullanıldığı somun ve cıvata ile uyum olmak zorundadır,



Şekil 1.3 Rondela Örnek Görseli

**Kaynak:** (web.itu.edu.tr)

### 1.3. Bağlantılı Elemanlarında Kullanılan Çelikler

Çelik, demirin farklı elementler ile birlikte alaşım yapılması sonucunda elde edilen, ham demire göre daha yüksek mukavemete sahip olan bir malzemedir. Genel bir tarif ile demir-karbon alaşımı da denilebilir. Çeliklerin çok fazla kullanım alanı mevcuttur. Başlıca kullanım yerleri arabalar, gemiler, uçaklar, trenler, rüzgar türbinleri ve daha fazla yerde kullanılırlar. Çeliğin performansını ve özelliğinin etkileyen içerdiği alaşım elementleridir. Özellikle Karbon elementi alaşım olarak katıldığında ve yüzdesi

artırıldığında sertleşebilirlik ve mekanik özelliklerde artar. Bu zırt olarak kaynak yapılabilirliği, dövülebilme kabiliyeti ve talaşlı işleme özelliği azalır. (Çelik,2017:2-10). Bunun yanında ise tabii tutulduğu ısıl işlem prosesidir. Gelişen çeliğin yapısı çeliğin, korozyona karşı direnci, ısıya dayanımı, sertliği, gibi durumları büyük ölçüde etkiler (Çelik Malzeme Nedir,2024, uslularhadde.com).

### **1.3.1. Çeliklerin Sınıflandırılması**

Çelikler çok farklı yönlerine göre sınıflandırılması yapılabilir fakat en yaygın sınıflandırılması alaşım-sız ve alaşım-lı olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### **1.3.1.1. Alaşım-sız Çelikler**

Alaşım-sız çelikler sade karbonlu çelikler olarak da bilinir. Yapılarında çok az miktarda kükürt, oksijen, mangan, silisyum, azot gibi elementler bulduran demir karbon alaşım-larıdır (Kesti,2009:7-12). Bu çelikler yüksek mukavemet istenmeyen işlerde kullanılabilir. Maliyetleri diğer çeliklere göre daha düşüktür. Yapılar gereği yumuşaklardır ve kolay şekil alabilirler (Çelik,2018:5). Karbon çelikleri korozyon dayanımları düşüktür, düşük sıcaklıklarda darbeye karşı mukavemetleri düşüktür, su verme işlemi sırasında derin sertleştirilemezler (Smith ve Hashemi, 2011:408-409). Bu çelikler de indüksiyonla ya da alevle yüzey sertleştirme de yapılabilir (Yıldız,2017:32-33). Bu karbon çelikleri karbon oranına göre kendi içerisinde üç başlığa ayrılırlar.

##### **1.3.1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler**

Yapıları gereği bünyelerinde %0,25'e kadar karbon içeren çeliklerdir. %0,7 ile %0,15 aralığında içerenler çok yumuşak çelikler, %0,15 ile %0,25 aralığından karbon içerenler ise yumuşak çelikler olarak da bilinirler (Akduman,2021:Akt. Savaşkan,2019:198). Yüksek tokluğa ve sünekliğe sahip olan bu çelikler kolay işlenip kolay kaynak yapılabilirler (Gencer,2020:Akt.Callister and Rethwisch,2013:370-390).

##### **1.3.1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler**

Bu çelikler yapılarında %0,25 ile %0,55 aralığında karbon içeren çeliklerdir. Isıl işlem prosesiyle rahatça sertleşebilirler. Düşük karbonlu çeliklere göre kaynak yapılabilirliği düşük iken yüksek karbonlu çeliklere göre daha iyidir (Aksoy,2019:9). Bu grupta ki çelikler su verme, östenitleme, temperleme gibi ısıl işlem metotlarıyla

sertleştirilebilirler. Sertleşen çelikler düşük karbonlulara göre daha yüksek mukavemete sahiplerdir. Dişli çarklarda, demir yollarında cıvata ve somunlarda, makine parçalarında kullanılırlar (Gencer,2020:7). Bu çelikler yine kullanım yerine göre karbon oranı değişiklik göstererek seçilmektedir. Örnek vermek gerekirse; Dövme prosesi ile üretilen malzemeler için karbon oranı %0,25-%0,35, mil çeliklerinde %0,35-%0,45, aşınmaya dayanıklı olarak kullanılan çeliklerde ise %0,45-%0,55 aralığında karbon miktarına sahip çelikler tercih edilir (Akduman,2021:11).

### **1.3.1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler**

Bu çelikler yüksek mukavemet ve aşınma direnci istenen işlerde kullanılan çeliklerdir. Yapılarında %0,55 oranından fazla karbon içeren çeliklerdir (Yıldız,2022:11). Bu çelikler rahatça sertleştirilebilirler ve meneviş yapılabilirler (Kadir,2013:38). Yapıları gereği sertlerdir, süneklik özelliği düşüktür ve işlenebilirlikleri zordur bu yüzden talaşlı imalattan önce yumuşatma işlemi tavsiye edilir. (Yıldız,2022:12). Bunların yanı sıra kaynak yapılabilirlik özellikleri de düşüktür. Sert ve aşınmaya dayanıklı olmalarından dolayı kepçe dişlilerinde, cıvata, şaft, somun, yay, makas, testerede, keser, gibi araçlarda kullanılırlar (Aksoy,2019:10; Çeltik,2021:6).

### **1.3.1.2 Alaşımli Çelikler**

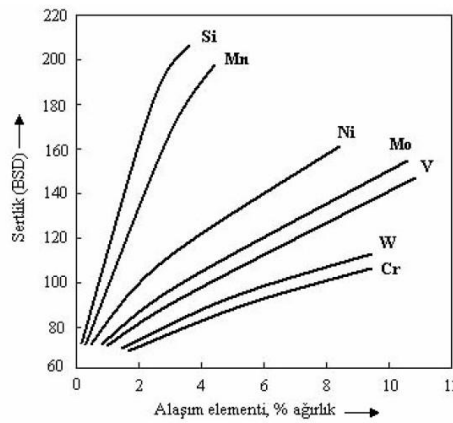
Alaşımli çelikler alaşımsız çeliklerin içerisine yüksek miktarda alaşım elementi katılarak elde edilen çeliklerdir. Bu alaşımlar genellikle; nikel, krom, volfram, kobalt, silisyum, mangan, bakır, bor gibi elementlerdir. Alaşımsız çeliklerden beklenen özellikler sağlanmadığı durumlarda alaşımli çelikler kullanılır. Katılan her elementin % değerine göre çelik farklı özellikler kazanır (Yıldız,2017:34). Bu özellikler incelendiğinde, yağda sertleştirme işlemi yapılarak kolaylıkla martenzitik dönüşüm sağlanabilir. Alaşımsız çeliklerin korozyona karşı direnci düşükken alaşımli çeliklerin katılan element miktarına göre korozyona karşı dirençleri yüksektir. Aşınma dirençleri ve yorulma dayanımları alaşımsız çeliklere göre bazı alaşım elementlerinin de katılması ile yüksektir (Yıldız,2017:33; Ulutan,2007:5).

Literatürde alaşımli çelikler içerdikleri ana alaşım elementine göre manganlı, nikelli, kromlu tek alaşımli çelikler ve bunun dışında silisyum-manganlı, mangan-krom-vanadyumlu, krom-nikelli, krom-molibden-vanadyumlu çelikler olarak bilinirler (Çeltik,2021:8; Karaaslan,2010:30).

Molibden, krom, mangan, ya da nikel elementleri çeliklerde sertleşilmeyi yüksek oranda değiştirmektedir. Böylece kalın kesitli parçalarda martenzit oluşumu kolaylaştığı için parçanın sertliği de yüksek oranda yükselmektedir (Kesti,2009:8).

Alaşım elemanları ferrit ve östenit içerisinde büyük ölçüde çözündüklerinden ekstra ıslah edilmeye gerek duyulmaz ve iyi oranda çözelti sertleşmesi sağlarlar (Kesti,2009:8:Akt. Ashy and Jones,1998:392).

Alaşımli çeliklerin içerisinde bulunan elementlerin dağılımı ve oluşturduğu yapılar çeliğin birleşimine göre değişmektedir. Elementlerin sayısı ve oranları arttırıldığında çelik içerisinde ki etkileşimler ve oluşumlar karmaşık olabilirler. Şekil 1.4. de alaşım elementlerinin çelik içerisindeki etkileri gösterilmiştir.



**Şekil 1.4.** Fe<sub>3</sub>C içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri

**Kaynak:** (Kesti,2009:11.)

Alaşımli çelikler içerisinde %5 den az olan alaşım elementi var ise az alaşımli, %5- 10 arasında alaşım elementleri var ise orta alaşımli çelikler, %10 dan büyük alaşım elementleri varsa yüksek alaşımli çelikler olarak isimlendirilirler. Az alaşımli çelikler yüksek mukavemet istenen yapı ve imalat çelikleridir. Paslanmaz çelik gibi ya da özel takım çelikleri de yüksek alaşımli çelikler grubuna girmektedir.

Paslanmaz çeliklerde korozyon direncinin artırmak ve aşınmaya karşı direnci yükseltmek için içerisinde ki krom miktarı oldukça yüksektir. Bu oran %11'in üzerindedir. Yüksek oranda Krom ilave edilen bu çelikler, kromun çevredeki oksijen ve nem ile reaksiyona girerek çelik yüzeyinde krom oksit tabakası oluşturur. Bu tabakada çeliğin paslanmamasına yol açar. Diğer bir yönden bakıldığında krom oranı her %1 artışında çeliğin çekme dayanımı 80- 100 Mpa artış gösterir. Bunun yanı sıra akma mukavemeti

yakın oranda artış gösterirken çentik darbe tokluğunda düşüş görülür (Yıldız,2017:33; Yıldırım vd.,2021:180).

### 1.3.2. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri

Bilindiği üzere literatürde 118 adet element bulunmaktadır ve bunları 96 tanesi Dünyada doğal olarak bulunurlar. Çeliklerin üretiminde ise çok fazla elementler kullanılır. Yapılan çalışma kapsamında kullanılacak olan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin yapılarında temel olarak bulunan ya da bulunması gereken temel elementlerin bilgilerine yer verilmiştir.

#### 1.3.2.1. Karbon

Simgesi “C” olan karbon elementi çeliklerin özelliklerini belirleyici en önemli elementtir. Yukarıda da bahsedildiği üzere karbon miktarına göre de çelikler kendi içinde ayrılmaktadır. (Erdoğan,2022:4). Karbonun miktarı çeliklerde tokluğu ve korozyon direncini azaltırken, sertliği ve mukavemeti artırıcı özelliğe sahiptir. Bunların yanı sıra karbon miktarının artması kaynak edilebilirliği, talaşlı işleme özelliğinin ve dövülme kabiliyetini düşürür (The Effects of Alloying Elements, 2024, outokumpu.com).



Şekil 1.5. Karbon Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:4)

#### 1.3.2.2. Mangan

Mangan (Mn) elementinin en büyük avantajlarından bir tanesi kükürt elementinin olumsuz özelliklerini önlemektir (Savaşkan,2019:197). Mangan sertleşme derinliği, malzemenin mukavemetini ve tokluğunu iyileştirir ve aynı zamanda kaynak yapılabilirliği

ve şekillendirilmeyi kötü yönde etkiler (Kara,2014:9). Yüksek mangan oranına sahip olan çeliklerde ise aşınma direncinin yüksek olduğu da keşfedilmiştir (Çelik,2018:11).



**Şekil 1.6.** Karbon Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:5)

### 1.3.2.3. Silisyum

Silisyumun en belirgin özelliği düşük sıcaklıklarda güçlü oksitleyici çözeltilerde oksidasyona karşı direnci yüksek seviyede artırır yani oksidasyon önleyici olarak kullanılır. Aşağıda örnek görseli verilmiştir. Simgesi “Si” olarak periyodik tabloda geçer. Fakat silisyumun artırılması malzemenin kırılgenlığında, akma ve çekme mukavemetinde artışa ve derin çekme özelliğini de azalmaya yol açar (Demir,2022:5; Erdoğan,2022:5; Kara,2014:10).



**Şekil 1.7.** Silisyum Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:5)

#### 1.3.2.4. Molibden

Malzemenin tane kabalaşmasını önleyen ve malzemenin sertleşme kabiliyetini artırarak aşınmaya karşı direncini yükselten elementtir. "Mo" simgesi ile gösterilir. (Demir,2022:5) Diğer yandan molibden ferrit fazını sertleştirir ve bundan dolayı şekillendirilebilirliği azaltır. Isıl işlemin kontrollü şekilde yapılmasına katkısı büyüktür. Yüksek sıcaklıklarda korozyona karşı direnci yorulma ve tokluk özelliklerini iyileştir. Asitleme prosesine karşı olumsuz yönde etkileyici özelliği de taşımaktadır. Elementler arasında en pahalılarından bir tanesidir (Kara,2014:17).



Şekil 1.8. Molibden Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:6)

#### 1.3.2.5. Krom

Güçlü bir karbür oluşturu bir elementtir. Simgesi "Cr" olarak periyodik tabloda geçer. Çeliğin aşınmaya karşı direncini yükseltir. Temperleme sırasında ise yumuşamaya karşı direnci artırır (Kara,2014:17). 1907 °C de erime noktasına sahiptir. Şekil 1.9.'da görüldüğü gibi gri, kırılğan ve sert bir yapıya sahiptir.

Çeliklerde %4 den fazla bulunması durumunda yüksek düzeyde korozyona karşı direnci yükseltir. Paslanmaz çeliklerin en temel korozyona karşı göstermiş olduğu direncin ana kaynağıdır. Paslanmaz çeliklerde %11 oranı ve üzerinde krom bulunur ve bu da çelik yüzeyinde krom oksit oluşumuna yol açarak oksijen ve nem ile çelik yüzeyinin tepkimeye girmesini engelleyerek paslanmaz özelliği kazanmasını sağlar.

Yüksek miktarda kromun çeliğe eklenmesi ise kaynak yapılabilirliği düşürerek büyük bir dezavantaj sağlar iken çeliğin derinliklerine kadar sertleşmesine büyük katkı sunar (Erdoğan,2022:5; Kara,2014:17).



**Şekil 1.9.** Krom Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:6)

#### **1.3.2.6. Fosfor**

Fosfor elementi (“P”) kükürlü çeliklerde işlenebilirliği artırmak için kullanılır. Fosfor şekillenebilmeyi, işlenebilmeyi olumsuz olarak etkilediği için genel olarak kalıntı elementi olarak kullanılır.

Genelde kükürt ve fosfor sıvı haldeki çelikten uzaklaştırılmaya çalışılır. Oksijen üfleme ile fosfor cürufa dönüşür. Yüksek kaliteye sahip çelikler fosfor oranı genellikle %0,025 oranında bulunur (Erdoğan,2022:6; Kara,2014:20).



**Şekil 1.10.** Fosfor Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:6)

### 1.3.2.7. Demir

Demir elementi (Fe) dünya üzerinde en çok bulunan bir metaldir. Saf demir çok sünek ve yumuşak bir metaldir. Halk arasında çoğu çelikler demir olarak isimlendirilir. “İnşaat demiri” gibi. Bu ifade çok yanlış bir ifadedir. Demir elementi tek başına hiçbir şekilde malzeme olarak kullanılamaz. Mutlaka başka elementler ile birleştirilip mukavemeti artırılarak kullanılır. Üretilen çoğu çeliklerin %95inden fazlasını Demir elementi içerir (Erdoğan,2022:8)



**Şekil 1.11.** Demir Elementi

**Kaynak:** (bilgiustam.com)

### 1.3.2.8. Bor

Çeliklerin içerisinde çok az miktarlarda bulunan (%0,0008 gibi) Bor (B) elementi çeliğin sertliğini yüksek oranda artırabilmektedir. Doğada bulunması zor olan bu element çok az miktarlarda kullanılır (Erdoğan,2022:8).

Bor elmadan sonra gelen en sert olan elementlerden bir tanesidir. Çok değerli bir element olan bor ülkemizde de yüksek oranda bulunmaktadır (Bor Elementlerinin Özelliği, 2024, akcelik.com.tr)



Şekil 1.12. Bor Elementi

**Kaynak:** (larennaturalcare.com)

### 1.3.2.9. Bakır

Bakır (Cu) elementi çeliklerde çok fazla bulunması çelik sağlığı açısından iyi değildir. Çelikte sülfid, oksit ya da karbür fazı oluşturmazlar. Az miktarlarda bile eklenmesi üretim sırasında sıcak yırtılmaya sebebiyet vermektedir (Kara,2014:11). Yırtılma gerçekleşmese bile çeliğin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Diğer bir yönden ise çeliklerin dövme prosesinin zorlaştırmaktadır (Erdoğan,2022:7)



**Şekil 1.13.** Bakır Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:7)

### 1.3.2.10. Kükürt

Kükürt elementi (“S”) fosfor gibi istenmeyen bir elementtir. İşlenebilirlik kabiliyetinin söz konusu olmadığı durumlarda kullanılması tercih edilir. Kırılganlığı ve haddelemeyi zorlaştırır. Çeliklere çok az miktarda bulunurlar (Erdoğan,2022:7).



**Şekil 1.13.** Kükürt Elementi

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:7)

### 1.3.2.11. Titanyum

Titanyum (Ti) çeliklerde güçlü karbür oluşturan elementlerden bir tanesidir. Karbon elementini çözüldüğüden ayırarak martenzitik sertliği düşürür. Paslanmaz çeliklerde

ise taneler arasında bozulmanın önüne geçer. Düşük alaşımlı çeliklerde ise dövülme kabiliyetini yüksek oranda artırır (Kara,2014:13).



**Şekil 1.14.** Kükürt Elementi

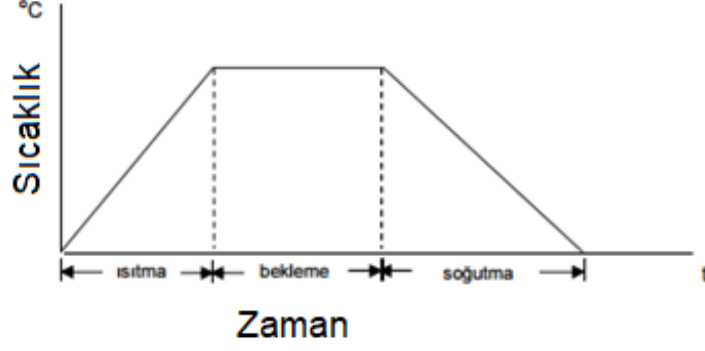
**Kaynak:** (wikipedi.org)

#### **1.4. Çeliklerde Isıl İşlem Uygulamaları**

Isıl işlem, katı metal ve alaşımlarının mekanik değerlerini yükseltmek için ya da gerilimlerini gidermek için zaman ve ısının orantılı şekilde kullanılarak çeliklerin soğutma-ısıtma işlemine ısıl işlem denir. Isıl işlemde temel üç adım vardır, belli bir sıcaklığa gelinceye kadar belirli süre ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta belli süre bekletme ve kontrollü bir şekilde soğutma adımlarıdır (Gencer,2020:10).

Isıl işlemin temel uygulanma amaçlarına bakıldığında;

- Talaşlı imalatın işlenebilirliğini geliştirmek
- Mekanik dayanımı arttırmak
- Tane büyüklüğünü değiştirmek
- İç gerilmeleri en aza indirmek,
- Belirli iç yapılar elde etmek başlıca temel amaçlardandır. (Güleç ve Aran, 1995:25-45).



**Şekil 1.15.** Temel ısıtım işlem grafiği

**Kaynak:** (Dokuzlar,2018:11)

Isıl işlemin daha iyi anlaşılması için temel demir karbon diyagramının iyi bilinmesi gerekmektedir.

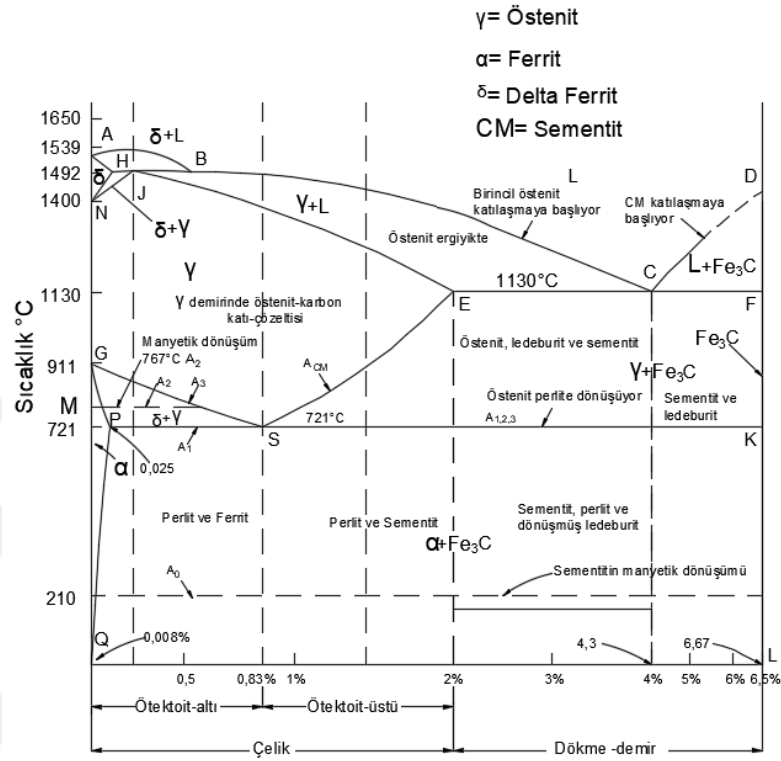
#### 1.4.1. Demir-Karbon Denge Diyagramı

Isıl işlemin en temel bilinmesi gereken ve uygulaması için bize yön gösteren diyagramdır ve aşağıda şekil 1.16.'da demir karbon denge diyagramı görülmektedir. Karbon oranında bulunan çeliğin eriyik durumdan oda sıcaklığına kadar soğuması sırasında ki dönüşümleri belirteceğini ortaya koyar. Burada soğuma hızı çok önemlidir. (Dokuzlar,2018:12).

Karbon içermeyen demir elementi 911 °C'de dönüşüm yaparken karbon miktarının yükselmesi ile bu sıcaklık değeri azalır ve %0,8 karbona ulaşıldığında 723 °C'ye düşer. %0,3 oranında ki bir çelik 1000 °C'de  $\gamma$ -östenit fazındadır ve 820 °C'nin altına gerilediğinde yani A3 çizgisinin altına indiğinde karbon atomları dağılarak östenit fazını terk etmeye başlarlar. Bunun sonucunda karbon çözünürlüğü düşük olan  $\alpha$ -Ferrit fazı oluşumu başlamış olur. Çözünemeyen karbon ise perlit olarak çökelmiş olur. Ve böylece demir Hacim Merkezli Kübik (HMK) yapıya geçmiş bulunur (Demirşah,1984:2;Gencer,2020:10;Özkader,2015:13).

%0,8 karbon oranında bakıldığında ise östenit tanelerinin perlitte dönüştüğü görülmektedir. 723°C ve %0,8 karbon oranında fazın tamamen perlit dönüşüm olduğu görülmektedir. Gerçekleşen bu dönüşüm karbonun tane sınırlarından itibaren büyüyen sementit lamellerini yaratacak şekilde birleşir ve lamellerin arasında

karbon oranı düşük ve zayıf olan ferrit dönüşümleri başlamış olur. (Demirşah,1984:2;Gencer,2020:10;Özkader,2015:13).



Şekil 1.16. Demir-Karbon Diyagramı

**Kaynak:** (Dokuzlar,2018:12)

Ötektoid altı çelikler karbon oranı %0,8'in altında olanlar çeliklerdir,

Ötektoid çelikler %0,8 karbona sahip çeliklerdir.

Ötektoid üstü çelikler ise %0,8 den fazla karbona sahip olan çelikleridir (Çelik,2018:17).

#### 1.4.2. Demir-Karbon Denge Diyagramında Bulunan Fazların Tanımlanması

Genel olarak bakıldığında 7 farklı faz mevcuttur.

- L : Likit ( sıvı) faz
- $\gamma + L$  : Ostenit + likit faz
- $\gamma$  : Ostenit
- $\gamma + Fe_3C$  : Ostenit + Sementit

- $\alpha$  : Ferrit
- $\alpha + \gamma$  : Ferrit+ Ostenit
- $\alpha + Fe_3C$ (Perlit) : Ferrit + Sementit Perlit

$\gamma$ -Ostenit: Yüzey merkezli kübük çözünmüş karbonun katı çözeltilisidir. 1148 °C de %2 ye kadar C çözüdürebilir. Sünek bir fazdır ve ferrite göre daha güçlü özelliği vardır. Karbonun çözünlülüğü max %2,14 dür (Agrawal,2008:353; Özkader,2015:14).

$\alpha$  –Ferrit: %0,006 oranında karbon içeren neredeyse saf olan demir fazıdır. 912 °C östenite dönüşür. Karbon oranı ağırlıkça %0,022dir. Çok yumuşak ve sünektir. Kolaylıkla şekillenebilir (Agrawal,2008:353; Özkader,2015:14).

$\delta$ -Delta Ferrit:  $\alpha$  –Ferrit ile aynı yapıda bulunur. 1934 °C de kararlı haldedir. 1538 °C de erir.

Sementit ( $Fe_3C$ ): İntermetalik bir bileşiktir ve yarı kararlı halde bulunur. Çeliğin hızlı soğuması sırasında karbonların demir ile birleşik oluşturması ile oluşur. Yapısında %6,67 karbon bulunur. En sert fazlardan bir tanesidir. Bu sebeple kırılmalık özelliği gösterir. Budan dolayı malzemelerde istenen özelliklerin sağlanması açısından oldukça önemlidir (Demirci,2004:252).

Perlit ( $\alpha + Fe_3C$ ): Bu faz %0,8 karbon içerir ve ferrit ve sementit fazlarını bir arada bulundurur. Yavaş bir şekilde soğuma sonucunda 723 °C de oluşur. Yuvarlak ya da lamelli yapılarda görülür (Özkader,2015:15).

Ledeburit ( $\gamma + Fe_3C$ ): Ostenit ve sementit fazlarının karışımından oluşur. Ve yapısında %4,3 karbon bulundurur. 1147 °C de ötektoid dönüşümle katılma sonucu oluşur (Savaşkan, 2007:16-45).

### 1.4.3. Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Prosesleri

#### 1.4.3.1. Tavlama Prosesi

Tavlama prosesi malzemelerin sünekliliğini, iç gerilmeleri ortadan kaldırmak, daha iyi işlenebilirlik sağlamak, malzemeyi yumuşatmak, mekanik özelliklerini değiştirmek gibi amaçlarla yapılan ısı işlemi ismidir. Genel olarak bir önceki prosesden arda kalan kusurların giderilmesi ya da bir sonraki prosese hazırlık yapmak için uygulanır (Özkader,2015:16).

Bu proses çeliklerin kimyasal yapısına göre değişiklik göstermektedir. Çoğunlukla 730 ila 900 °C sıcaklıkları arasında uygulanmaktadır ve bu sıcaklık aralığı Ac3 (üst kritik sıcaklık) ile Ac1 (alt kritik sıcaklık) arasında olduğu görülmektedir (Totten,2007:10-20).

En çok kullanılan 6 farklı tavlama çeşidi mevcuttur.

#### **1.4.3.1.1. Homojenleştirme Tavlaması**

Diğer bir ismiyle difüzyon tavlaması olarak da bilinen homojenleştirme tavlamasının amacı hızlı soğumadan kaynaklı malzemenin kimyasal birleşim dağılım farklarını ortadan kaldırmak ve kimyasal bileşiklerin iç yapısının düzenli olarak dağılımını sağlamaktır. Bu dağılımın farklılık göstermesi malzemenin mekanik değerlerini kötü yönde etkilemektedir. Bu durumu düzeltmek için malzemeyi erime sıcaklığının altında ki sıcaklıklarda tavlamarak homojen hale getirme işlemi uygulanır. Yaklaşık 1100 °C lerde uygulanan bu tavlama malzeme içerisindeki atomlara hareket kazandırarak homojen bir yapı elde edilir. Akabinde ise yaklaşık 800 °C'ye kadar fırında soğutulup sonrasında ise havada soğutma işlemi uygulanır. (Çelik,2017:13; Özkader,2015:21).

#### **1.4.3.1.2. Yumuşatma Tavlaması**

Yumuşatma tavlamasında ki en temel amaç malzemenin sünekliğini artırarak sertliğinin ve mukavemetinin düşük olmasını sağlamak ve işlenebilirliğini kolaylaştırmak ve iç gerilmeleri ortadan kaldırmaktır (Akduman, 2021:33).

Yumuşatma tavlaması ile normalizasyon tavlaması çok benzerdir. Aralarında ki fark normalizasyon tavlamasında havada soğutma işlemi yapılırken yumuşatma tavlamasında soğutma işlemi fırın içerisinde çok yavaş bir şekilde gerçekleşir (Özkader,2015:21).

Ayrıca yumuşatma tavlaması ötektoid üstü çelikler Ac1 sıcaklığının üstüne ısıtılırken ötektoid altı çelikler ise Ac1 sıcaklığının altına ısıtılırlar. Malzemenin çapına ya da kalınlığına göre belirli bir süre fırında bekler ve akabinde fırın içerisinde oda sıcaklığına kadar tekrar soğuması gerçekleşerek proses bitmiş olur.



ortadan kaldırmaktır. Çeliğin şekil değiştirme miktarına bağlı olarak belirlenen sıcaklıklarda uygulanır (Özkader,2015:21).

#### **1.4.3.1.5. Tane Büyütme Tavlaması**

Temel amacı malzemenin talaşlı imalata uygunluğunun arttırılmasını sağlamak için yapılmasıdır. Çelikler genel olarak A3 sıcaklığının 150 °C üstüne ısıtılarak belli bir süre ısıtılır ve A1 sıcaklığına kadar yavaş bir şekilde soğutma işlemi gerçekleştirilir. Bu sıcaklıkta ise malzemenin taneleri irileşmiş olur (Demirci,2004:245).

Talaşlı imalatta parça yüzeyinden kaldırılan talaş tipi çok önemlidir. Uzun süreklili şerit halinde çıkan talaşlar parçanın yüzey kalitesi için operatör için büyük bir dezavantajdır. Bu talaşların kısa kırılğan parçalı halde olması gerekmektedir. Tane büyütme tavlaması ile irileşmiş tanelerden dolayı talaşlar parçalı olarak ortaya çıkacaktır (Özkader,2015:21).

#### **1.4.3.1.6. Normalizasyon Tavlaması**

Normalizasyon tavlaması çeliğin sıcak dövme yüksek şekil verme sıcaklığında, dökülmüş çeliklerde soğuma sırasında meydana gelen tane irileşmesinin giderilmesi için uygulanır. Diğer bir amacı ise ötektoid altı çeliklerde iç yapının homojen dağılımlı, ince taneli ve yuvarlak yapıya dönüşmesini sağlamaktır. Normalizasyon tavlaması ötektoid üstü eliklerde Acm, ötektoid altı çeliklerde ise A3 sıcaklıklarınının 40 -50 °C üzerine ısıtılarak ve östenit dönüşümü bitinceye kadar fırın içerisinde bekletilir ve sonrasında açık havada soğutma işlemi gerçekleştirilir (Çetinarslan,1997:5).

#### **1.4.3.2. Sertleştirme Prosesi (Su verme)**

Çeliklerin östenitleme bölgesinde uygun sıcaklıkta ve uygun sürede bekletildikten sonra ani soğutma işleminin yapılması sonucunda sertleştirilmesi ve malzeme yapısının östenit yapıdan martenzit yapıya dönüştürölme işlemidir. Halk ağzında “Su verme” olarak da bilinen bu tabir suda sertleştirme işleminden gelmektedir. Fakat gerçek anlamda en çok kullanılan sertleştirme yöntemleri olan havada, yağda ve suda adımlarınının genel ismidir. Bu üç yöntem ile çeliklerde sertleştirilme işlemi gerçekleşir (Yıldız,2007:39; (Totten,2007:19).

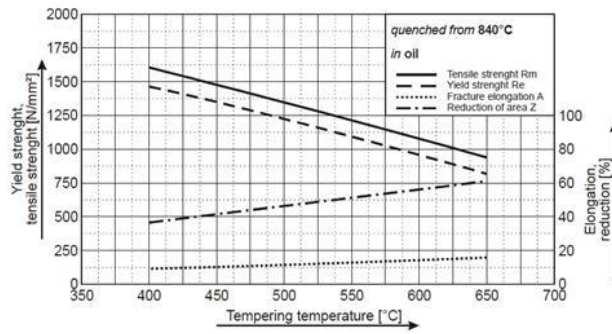
### 1.4.3.3. Menevişleme Prosesi (Temperleme)

Sertleştirme prosesinden sonra malzemenin yapısı çok kırılğan bir yapıya sahip olur ve iç gerilmeler yüksek düzeyde görülür. Bu kırılğanlığı ortadan kaldırmak için ve malzemenin sertliğini düşürmek için menevişleme işlemi yapılır. Bu ısıl işlem prosesi için çelikler 150-700 °C aralıklarında fırınlarda malzemenin yapısına ve ölçüsüne bağlı olarak farklı sürelerde bekletilir. Bekleme sonucunda çeliğin mekanik özelliklerinde, sertliğinde ve tokluğunda değişimler gerçekleşir

### 1.4.3.4. Islah Etme Prosesi

Çelikleri sertleştirme işleminin hemen arkasına istenen mekanik değerleri sağlayacak şekilde meneviş işlemi yapılması işlemine ıslah etme ismi verilir. Karşımıza genellikle +QT (Quenched and Tempered) sembolü ile tanımlaması çıkar. Bu işlem her çeliğe uygulanamaz ıslah edilmeye uygun olan çeliklerde uygulanır. Islah işlemi öncesinde malzeme iç yapısında ki gerilmeleri minimuma indirmekte her zaman yarar vardır. Su verme işlemi sonucunda temperleme işlemi için uzun süre beklememek gerekir aksi halde malzemede çatlaklar meydana gelir. Islah yapılacak olan çeliklerin ıslah sonrasında istenen mekanik değerleri ISO 898, ISO 683 ve EN 10083 gibi standartlarda verilmiştir.

Şekil 1.18. da AISI 4140 Çeliğinin 840 °C östenitleme sonrasında yağda sertleştirme yapılmış ve 400 ila 650 °C aralığında meneviş yapılmış olan grafik görülmektedir. Bu menevişleme işlemi sonrasında çeliğinin çekme (Rm) ve akma (Re) mukavemetlerinde büyük düşüş yaşandığı görülürken kesit daralmasında ve uzama değerlerinde artış olduğu görülmektedir (Yıldız,2007:40).



Şekil 1.18. AISI 4140 Çeliğine Farklı Meneviş sıcaklıklarının Uygulanması Sonucu Elde Edilen Mekanik Özellikler

Kaynak: (Yıldız,2007:40)

#### **1.4.3.5. Sementasyon Prosesi**

Sementasyon prosesi çekirdek sertliği düşük olan ve karbon miktarı yaklaşık %0,10-0,20 olan çeliklerin yüzeylerine karbon emdirme işlemi yapılarak yüzey sertliğinin artırılması işlemidir. Karbonlama sonrasında ürün uygun olan su verme yöntemi ile soğutulur böylece çekirdek yumuşak ve tok kalır iken yüzey ise aşınmaya karşı dirençli hale gelir (Sementasyon Nedir,2024,aht.com). Bu işlem genel olarak dişli çarklar, ölçü aletleri, burçlar, miller, eksantrik miller, pistonlar gibi malzemelerde uygulanır.

#### **1.5. Bağlantı Elemanlarına Uygulanan Başlıca Testler**

Bağlantı elemanlarının mekanik özellikleri standartlarla belirlense de teknik şartnamelerle özel üretimler yapılabilir. Çeliklerin mekanik özellikleri mukavemetini tanımlar. Tüm bağlantı elemanları belirli standartlara göre üretilir (Yavuzbarut,2018:65). Ancak bununla beraber müşteri teknik şartnameleri ile üretimde ek prosesler, kalite kontrol ve laboratuvar süreçleri gerekebilir. Bağlantı elemanının kullanılacağı yer onun mekanik özelliklerini belirler. Mekanik özellikleri aynı zamanda ürünlerin kalite sınıflarına göre de belirlenir.

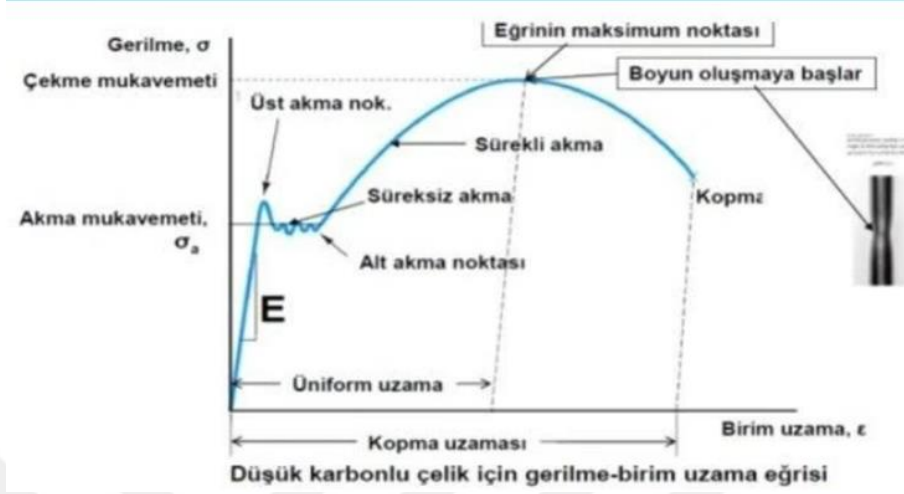
##### **1.5.1. Çekme Testi**

Çekme deneyinin temel amacı; malzemelere uygulanan statik yük altındaki elastik ve plastik değişimlerin başlangıç kuvvetlerini belirlemektir. Bu yapılan test çekme cihazları ile bulunur (Yavuzbarut,2018:66). Çekme testi genellikle ISO 6892-1 standardına göre yapılır. Çekme testinin sonucunda ise Çekme dayanımı, akma dayanımı, kesit daralması, kopma uzaması, gibi mühendislik değerleri bulunur. Örnek çekme grafiği ve numune resmi şekil 1.19. ve şekil 1.20.'de verilmiştir.

Çekme testi aynı zaman da kesit daralması ve kopma uzaması değerlerini de verir. Kopma uzaması denklem 1 ile kesit daralması ise denklem 2 de belirtilen formül ile bulunur. Sistemsel olarak bilgisayarın hesaplayamadığı değerler operatör tarafından kumpas yardımı ile ölçülerek sisteme girişi yapılır. Burada A kopma uzamasını verirken  $L_u$  kopma öncesi belirlenen toplam boy,  $L_o$  kopma sonrası iki parçanın birleştirilmiş boyudur. Z ise kesit daralmasını verir,  $A_o$  ilk kesit alanı iken  $A_u$  ise kopma anında ki kesit alanıdır.

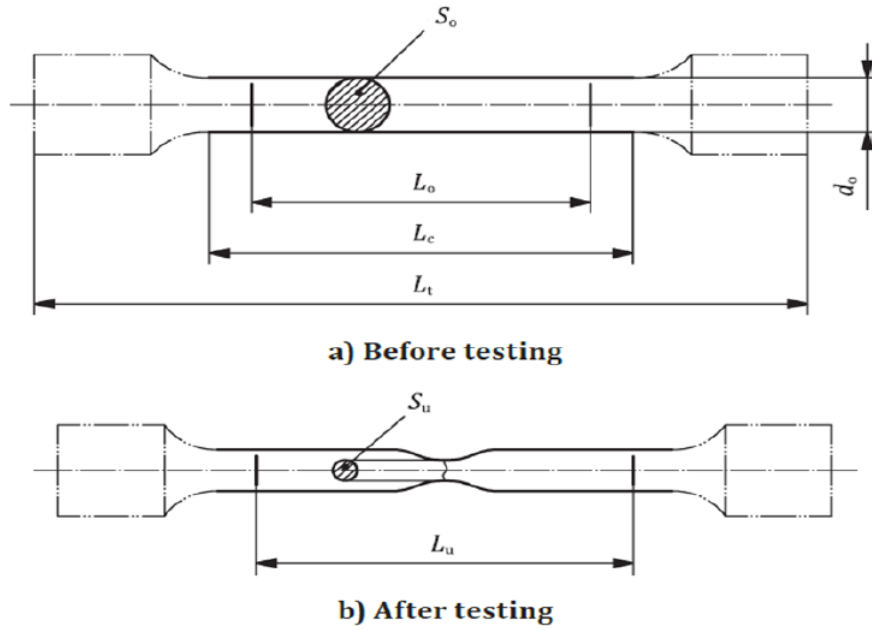
$$A(\%) = \left( \frac{L_u - L_0}{L_0} \right) \times 100 \quad \text{Denklem (1)}$$

$$Z(\%) = \left( \frac{A_0 - A_u}{A_u} \right) \times 100 \quad \text{Denklem (2)}$$



Şekil 1.19. Çekme Grafiği

Kaynak: (muhendisalemi.com)



Şekil 1.20. ISO 6892-1'e Göre Çekme Numunesi

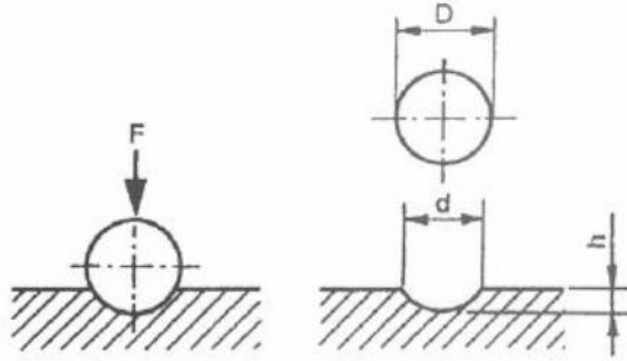
Kaynak: (ISO 6892-1)

## 1.5.2. Sertlik Testi

Malzemenin özellikle aşınma ve çentik etkisiyle plastik şekil değişimine karşı göstermiş olduğu direnci, ya da bir malzemenin diğer bir malzemeye batmasına karşı gösterdiği dirençtir (Sertlik Testi nedir,2024, meridyencivata.com). Sertlikler Brinell (HBW), Rockwell (HRC) ve Vickers (HV) gibi sertlik ölçme testleri ile ölçülür. Bu ölçümler kendi arasında kesişen değerlere de sahiptir ve birbirinin değerlerine dönüştürebilir.

### 1.5.2.1. Brinell Sertlik Ölçümü (HBW)

Malzemenin yüzeyine belli bir kuvvetin, uygun bir çapta olan soldukça sert bir malzemeden üretilmiş bilya vasıtası ile belirli bir zaman baskı uygulanmasıyla yüzeyde kalıcı bir dairesel iz ortaya çıkar. Bu yüzeye uygulanan kuvvet değerinin yüzeyde oluşan küresel iz alanına bölünmesi ile Brinell sertlik değeri ortaya çıkar. Bu sertlik için kullanılan yükler 500, 3000 veya 1500 kgf (kilogram kuvvet) dir. Brinell sertlik testi genellikle ISO 6506-1 standardına göre yapılır ve Şekil 1.21.'de şematik bir brinell testi ölçümü gösterilmiştir (Brinell Sertlik, 2024, metalreyonu.com.tr; Uysal,2022:40).



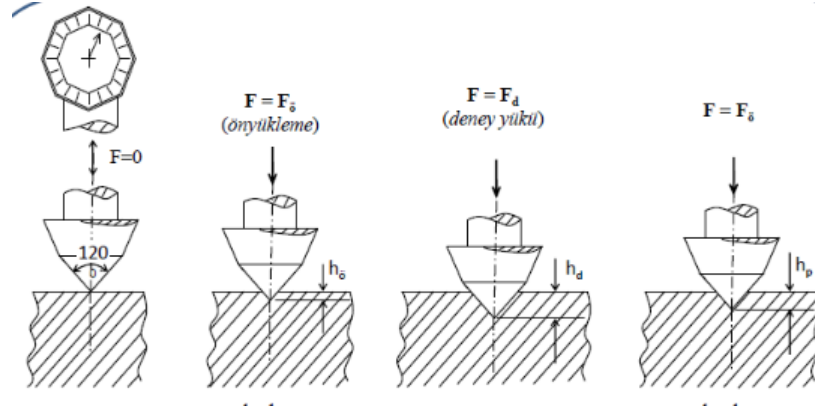
Şekil 1.21. Şematik Brinell Sertlik Ölçümü

**Kaynak:** (ISO 6506-1)

### 1.5.2.2. Rockwell Sertlik Ölçümü (HRC)

Sertlik testlerinin arasında en çok kullanılan ölçme yöntemi Rockwell sertlik yöntemidir. ISO 6508-1 standardına uygun yapılır. Parça yüzeyin çok küçük bir hasar bırakarak hızlı ve pratik olarak az hasarlı yapılır. Hassas bir ölçüm yöntemidir. Bu yüzden küçük sertlikleri ortaya çıkarabilir. Bu yöntem de diğer yöntemler gibi belirli bir yük altında malzeme yüzeyinde ki iz derinlik ölçümüne değerlendirilmektedir

(Uysal,2022:16). Kullanılan uç ise 120 derece açılı elmas koni uçtur. Rockwell sertlik testi genellikle ISO 6508-1 standardına göre yapılır ve Şekil 1.22.'de şematik bir rockwell testi ölçümü gösterilmiştir.

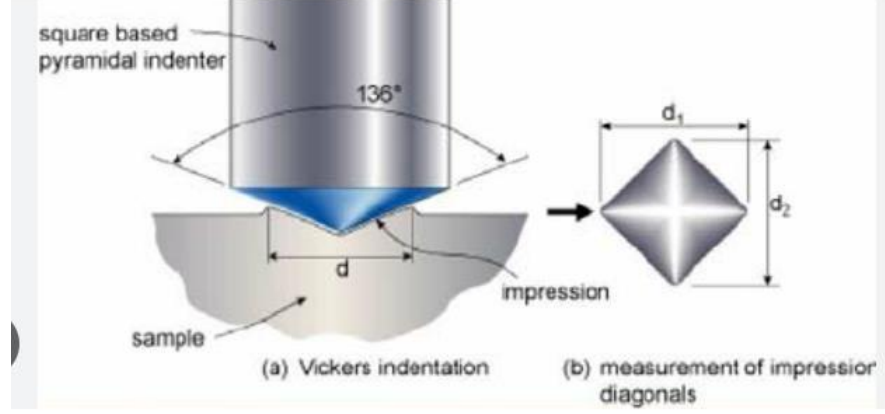


**Şekil 1.22.** Şematik Rockwell Sertlik Ölçümü

**Kaynak:** (ISO 6508-1)

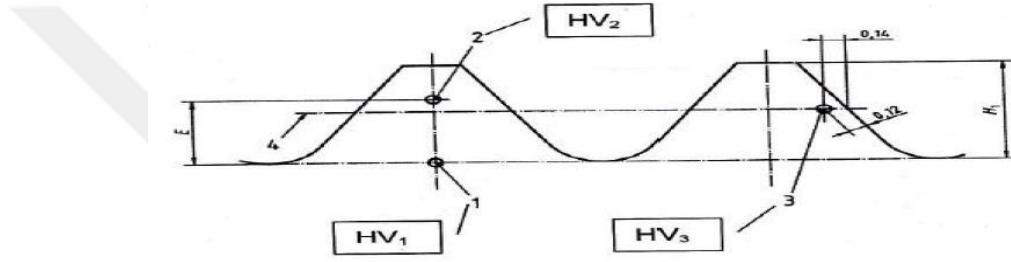
### 1.5.2.3. Vickers Sertli Ölçümü (HV)

Bu test yönteminde ise tepe açısı 136° olan tabanı kare bir piramit şekline benzeyen elmas bir ucun değişken kuvvetler altında malzeme yüzeyine batırılarak iz oluşturulması yöntemiyle Vickers sertlik ölçümü yapılmaktadır. Vickers sertlik değeri kuvvetin, izin piramitsel alanına bölümü olarak ölçülür (kgf/mm<sup>2</sup>) (Thelning,1920:43). Vickers sertlik ölçümü daha çok ince tabakalı malzemelerde kullanılır. Sayısal Sertlik değeri ise 3HV ile 1500HV arasında değişmektedir. Sertlik ölçümü pramit olarak ortaya çıkan izin köşegenleri hassas şekilde mikroskop yardımı ile ölçülür ve bu uzunlukların ortalaması alınarak sonuç ortaya çıkmış olur (Uysal,2022:16). Vickers sertlik testi genellikle ISO 6507 standardına göre yapılır ve şekil 1.23.'de şematik bir vickers testi ölçümü gösterilmiştir. Ayrıca cıvata dişlerini üzerinde ölçüm yerlerini şekil 1.24'de gösterilmiştir.



Şekil 1.23. Şematik Vickers Sertlik Ölçümü

Kaynak: (ISO 6507)

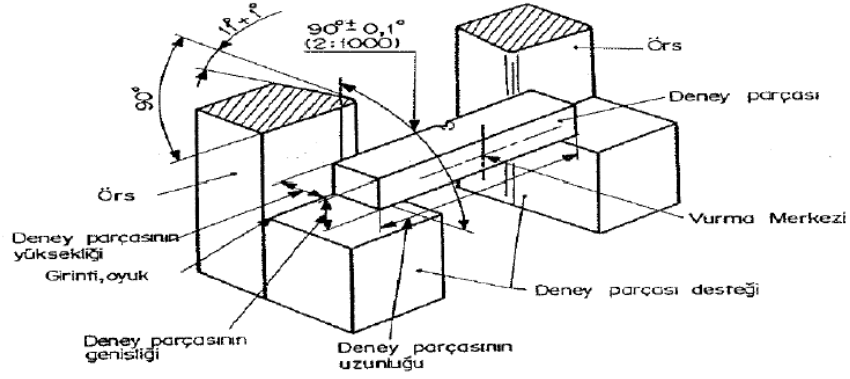


Şekil 1.24. Dişler üzerinde Sertlik Ölçümü

Kaynak: (ISO 898-1)

### 1.5.3. Çentik Darbe Testi

Çentik darbe testinin amacı malzemenin kırılma davranışını ölçmeye yarayan bir test yöntemidir. Bu testte 55mm uzunluğunda ve 10x10 genişliğinde bir parçanın ortası V ya da U şeklinde çentik açılır ve cihaza yatay şekilde yerleştirilir. Çentik hizasının tam arkasına serbest düşüş ile darbe uygulanarak parça kırılır. Genellikle de V çentik yapısı kullanılır ve ISO 148-1'e göre numune hazırlanır. Bu test parçanın kırılma anında absorbe ettiği enerji miktarını ölçer ve malzemenin dayanıklılığı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Bağlantılı elemanlar kalite standardı olan ISO 898 standardı -20 derece min. 20J çentik gerekliliği ister. Bu sıcaklık ve Joule değeri malzemelerin kullanılacağı ortam şartlarına göre değişik gösterebilir (Çentik Darbe Testi Nedir,2024,akcelik.com). Şekil 1.25.'de şematik bir ISO 148-1'e göre çentik testi sistemi gösterilmiştir.



**Şekil 1.25. Çentik Testi Gösterimi**

**Kaynak:** (ISO 148-1)

#### **1.5.4. Kimyasal Analiz Testi**

Kimyasal analiz, bir maddenin bileşenlerini, yapısını, özelliklerini ve miktarlarını belirlemek için kullanılan yöntemlerin uygulamasıdır. Bu analizler, maddeyi oluşturan elementleri, fonksiyonel grupları ve kimyasal özellikleri tanımlamak için yapılır. Bu test genellikle Optik Emisyon Vakum Spektrometre cihazı ile yapılmaktadır. (Kimyasal Analiz Testi, 2024, saglammetal.com). Test sonucunda malzemenin içindeki elementleri yüzde oranları ortaya çıkar. Bu değerlere göre malzemenin element değerlerinin standarda uygun olup olmadığı tespit edilir.

#### **1.6. Rüzgar Türbinleri Bağlantı Elemanlarında Kullanılan Çelikler Üzerine Yapılmış Bazı Çalışmaların İncelenmesi**

Kesti, talaşlı imalat sektöründe de çoğunlukla kullanılan Ç4140 çeliğine su verme işlemini farklı temperleme sıcaklıklarında gerçekleştirmiş ve malzemede ki değişimleri deneysel çalışma yaparak incelemiştir. Temperleme sıcaklığının çok önemli bir etkisinin olması, temperleme işlemi sonrasında oluşacak gevrekliklerin büyük olumsuzluklar ortaya çıkartacağına da bilgisini paylaşan yazar çalışmalarını bu bilgiler ışığında gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmasında 30 adet numune kullanılmış, bazı numuneler normalizasyon, bazılarını işlem uygulamamış ve bazılarının da temperleme sıcaklıklarını 150 °C, 1300 °C, 450 °C, ve 600 °C derecelerde yapmıştır. Bu işlemler sonucunda bazılarını suda bazılarını ise yağda sertleştirmiştir. Deneysel çalışmalarının sonucunda ise

yağda sertleştirmenin mekanik değerleri daha uygun sağlaması ve çatlak oluşumunun suda sertleştirmeye göre daha az olduğunun sonucuna varmıştır (Kesti,2009:84-86).

Erdoğan, çalışmasında 42CrMo4 mod ve 30MnB4 ıslah çeliklerini ısıtma işlemi uygulaması yaparak mekanik değerlerini kıyaslamıştır. Bu çelikler öncelikle ıslahsız şekilde çekme, çentik, sertlik testleri yapılmıştır. Akabinde ise ıslah işlemi uygulanıp farklı sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Temperleme farklı sıcaklıklarda uygulanmasından sonra deneysel testlere tabi tutulmuş ve numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda şekil 1.26.'da da görüleceği üzere 30MnB4 malzemesi ISO 898-1 standardında bulunan 10.9 kalitenin mekanik değerlerini karşıladığı görülmüştür. 42CrMo4 malzemesine göre daha ucuz olmasından dolayı literatüre yeni bir malzemenin kullanılabilmesi kayıt altına alınmıştır (Erdoğan,2022:42-52)

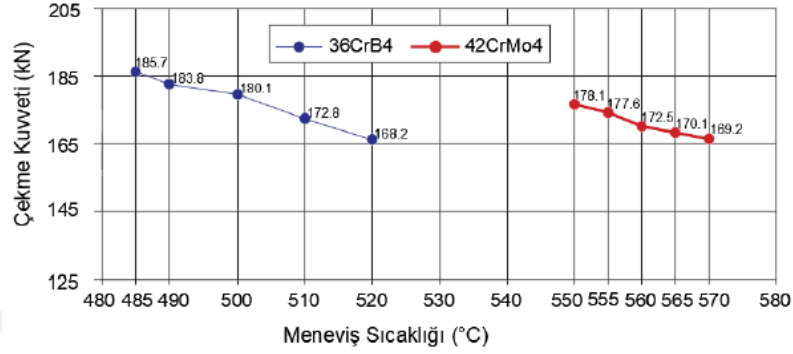
30MnB4 1.5526	Temper Sıcaklığı (°C)	Akma (Ry) (min.) (Mpa)	Kopma (Rm) (Mpa)	Uzama (%U) (min.)	Kesit Daralması (%Z)(min)	Sertlik Değeri (HV)	Çentik (KV2) ( 20°C=min.27J)
6	485	1097,35	1140,45	11,21	58,91	Ort. 354,66	Ort. 96 J
7	490	1082,86	1131,85	11,59	61,58	Ort. 349,66	Ort. 82,66 J
8	500	1000,80	1074,39	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

**Şekil 1.26:** 30MnB4'ün Deneysel Sonuçları

**Kaynak:** (Erdoğan,2022:42-52)

Dokuzlar, yapmış olduğu çalışmasında 36CrB4 ve 42CrMo4 alaşımlı çeliklerini ele alarak farklı sıcaklıklarda menevişleme ısıtma işlemi yaparak numunelerinin mekanik değerlerini ortaya çıkarmak amacıyla testler yapmıştır. Isıtma işlemi sürekli ısıtma fırınının da ön tavlama, Tavlama, Yağda soğutma ve menevişleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Menevişleme sıcaklıklarını 42CrMo4 için 550 °C, 555 °C, 560 °C, 565°C, 570°C, ve 36CrB4 için ise 485 °C, 490°C, 500°C, 510°C, 520°C sıcaklıklarda yaparak çıkan sonuçlar ilgili standartlar olan EN 10083-3 ve EN 10263-4 standartlarında verilen mekanik değerlere göre kıyaslanmıştır. Yapmış olduğu testler sonucunda birçok grafikte mekanik değerler kıyaslanmıştır, aşağıda örnek çekme kuvveti grafiği verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 36CrB4 malzemenin uygun meneviş sıcaklıklarında ISO 898-1 standardında ki 10.9 kaliteyi sağladığı görülmüştür. Maliyet açısından ise 42CrMo4

malzemeye göre fiyatı yaklaşık 120 €/ton daha düşük olduğu için tercih sebebi olması kanıtlanmıştır (Dokuzlar,2018:43).



Şekil 1.27. 36CrB4 ve 42CrMo4'ün farklı sıcaklıklardaki çekme değerleri

**Kaynak:** (Dokuzlar,2018:43)

Kınıt, yapmış olduğu çalışmada 30MnB4 malzemesinden M12x35 DIN 933 cıvata üretmiş ve akabinde ısıl işlemsiz ve ısıl işlemliler olarak testler gerçekleştirmiş ve sonuçlarını standartlara göre kıyaslama yaparak hammaddenin kullanımı açısından değerlendirme yapmıştır. Ø12mm çapındaki malzeme kangal çekme cihazından Ø10,6mm çekilerek ilk proses gerçekleştirilmiş, akabinde soğuk dövme makinesinde dövülerek ve dişleri açılarak birmiş ürün elde edilmiştir. Islah sonrası temperleme 380 °C, 430 °C, 450 °C, 460 °C, 490 °C, 520 °C, sıcaklıklarında yapılmıştır. Temperleme sonucunda ürünlere çekme, sertlik testleri yapılmış ve mikroyapıları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda aşağıda ki grafikte de görüleceği üzere malzemenin farklı meneviş sıcaklıklarında ki mukavemet değerleri kıyaslanmıştır. 10.9 kalite için en uygun meneviş değerinin 460°C olduğu ortaya çıkmıştır (Kınıt,2013:49-63).

Isıl işlem türü	$R_p 0.2$ en az N/mm <sup>2</sup>	$R_m$ en az N/mm <sup>2</sup>	% Uzama (A)	Sertlik (HRC)
Isıl işlemsiz cıvata	709.8	758	21.6	21
Sert. Tavı	992	1048	0.2	51
Sert.+Men.380	1220	1289	17.50	40
Sert.+Men.430	1019	1080	23.1	38
Sert.+Men.450	1005	1068	23.1	36
Sert.+Men.460	989	1042	27.5	34
Sert.+Men.490	974	1027	23	33
Sert.+Men.520	895.6	940	24.9	30

Şekil 1.28. M12x35 Cıvata Çekme Deneyi ve Sertlik Ölçümü Sonuçları

**Kaynak:** (Kınıt,2013-49-63)

Demir, çalışmasında 32CrMoV12-10 çeliğine uygulanan farklı ısıl işlem koşullarının mekanik değerlere etkisinin ve Nitrürlemeye etkisini incelemiştir. Elde edilen veriler topsis tabanlı Taguchi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada uygun çekme testi numunesi, uygun çentik testi numunesi ve uygun sertlik testi numunesi hazırlanarak ve uygun koşullarda ısıl işleme tabi tutulmuş ve nitrürleme işlemi de uygulanmıştır. Elde edilen veriler malzeme için istenen standart tüm değerleri karşıladığı görülmüştür. Uygulanan taguchi yöntemi analizlerin kısa sürede yapılmasını sağlayarak ve istenen yüksek güvenlik kriterinin minimize etmeden deney tekrarlarını azaltarak istenen deney verilerine ulaşmasını sağlamıştır (Fatih Demir,2022-2-57).

Bozkurt ve arkadaşları yapmış olduğu bu çalışmada, toprakla temas halinde olan malzemelerin aşınmasından dolayı ortaya çıkan problemlerden dolayı tarımsal alanda kullanılan 30MnB5 çeliğinin tribolojik ve mekanik özellikleri ıslah etme, temperleme gibi farklı ısıl işlemler uygulanmış ve aşınma testleri, çentik testi ve sertlik testleri yapılmıştır. Bor katkılı malzemelerin yüksek dayanım ve uzun süreli kullanımını için su verme işlemi yapılması yüksek düzeyde önerilmektedir. Özellikle toprak ortamında taş, kaya, ağaç kökü gibi sert parçalar varsa malzemenin darbe direncinin kazanılması için su verme sonrası temperleme işlemi yapılmasında büyük fayda olacaktır. Yapılan deneyler sonucunda aşınmaya karşı dirençli en uygun numune 860°C'de 1 saat östenitlenmiş ve suda soğutulmuş olan numune olarak ortaya çıkmıştır (Bozkurt vd., 2021:2-10).

Güleken, çalışmasında 41Cr4 ve 30MnB4 çeliklerinde meneviş yaparak etkilerini araştırmıştır. Çalışma da numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelemiştir. 30MnB4 çeliğinin maliyet açısından 41Cr4 e göre daha ucuz olmasından dolayı bu malzemeden ISO 898-1 standardında ki 10.9 kaliteye uygun şekilde sonuçların çıkıp çıkmayacağı farklı meneviş sıcaklığında tavlansak yağda soğutma yapılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan işlem sonucunda numunelere x ışını analizi yapıldı. Parlatılarak hazırlanan numunelere taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş, mekanik özellikleri test etmek için ise çekme, sertlik, çentik darbe testleri yapılmıştır. Bijon üretiminde kullanılan bu malzeme mekanik ve mikroskop incelemeleri sonucunda 41Cr4 malzeme ısıl işleme daha yatkın oldu olduğu ortaya çıkmış, aşınmaya karşı dayanıklı olduğu da gözlemlenmiştir. Her iki malzeme de çekme sırasında plastik deformasyon olmadan kopmuştur bu da malzemelerin çok sert ve kırılğan olduklarını göstermiştir. Menevişleme sıcaklığının artmasından dolayı 41Cr4 malzemenin sertliğinin düştüğü gözlemlenmiş, fakat 510 derece yapılan menevişleme sıcaklığında her iki

malzemede çok yakın sertliklerde çıkmıştır. 390 derece yapılan meneviş ise 8.8 10.9 12.9 kalitelerinin mekanik gereksinimi karşıladığı görülmüştür (Güleken,2023:57-171).

Kayral, otomotiv sektöründe güvenli ve sağlam araçların tasarımında olsun, tarım makinelerinde yüksek mukavemetli bağlantı elemanlarının üretiminde kullanılan 30MnB5 çeliğinin çentik darbe geçiş sıcaklığını belirlemek için çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada -80 dereceden oda sıcaklığına kadar belli aralıklarla sıcaklık artışı yapılarak çentik darbe testleri yapılmıştır. Çalışmada 55x10x10 mm lik çentik numunesi kullanılmıştır. Çentik numuneleri 900 derece ısıtılarak işlem görmüş ve 400 derecede menevişleme yapılan numunelerden elde edilmiştir. Elde edilen numunelere ayrıca rockwell cinsinden sertlik değerlerine bakılmıştır. Malzemenin sertlik değeri 49 HRC bulunurken temperleme sonrasında ise 40 HRC ye kadar düşmüştür. 30MnB5 malzemesinin geçiş sıcaklığı ise -65 derece bulunmuştur. Mn seviyesi geçiş sıcaklığına yüksek etkisi vardır. Çentik darbede kırılan numunelerin yüzeyinin incelenmesinde ise geçiş sıcaklığının altındaki kırılmalarda gevrek kırılma görülmüştür. Yüzeyleri ise parlaktır. Geçiş sıcaklığının yukarısında ki sıcaklıklarda ise yüzeylerin sünek kırılma görselleri gözlemlenmiştir (Kayral, 2014:1-8).

## BÖLÜM II

### MATERYAL VE METOT

#### 2.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada çelik sanayinde yaygın olarak kullanılmayan ve kullanılması ön görülen yüksek dayanıma sahip olan ve sıcak çekim yöntemiyle üretilmiş 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemeleri, toplam 12 adet Ø49 mm (milimetre) çapında 300mm boyunda numune kullanılmıştır. Bu numunelerden ısıtma işlemi sonrası uygun standartlara göre test numuneleri hazırlanmıştır. Bunların 6 tanesi 30MnCrB4-2 çeliğine, 6 tanesi ise 33MnCrB5 çeliğine aittir. 24H00217 hammadde döküm numarasına ait 30MnCrB4-2 Çeliği ASİL ÇELİK SANAYİ VE ÇELİK A.Ş tarafından temin edilmiş olup 18H01168 hammadde döküm numarasına ait 33MnCrB5 çeliği ise Alman menşeli SAARSTAHL firmasından temin edilmiştir. Hammadde tedarikçilerinin vermiş olduğu hammadde sertifikasında belirtilen kimyasal içerikleri ve mekanik özellikleri Tablo 2.1., Tablo 2.2. ve Tablo 2.3. de verilmiştir. Yapılacak olan deneyler sonucunda malzemelerin mühendislik değerleri ISO 898-1 standardının 10.9 kalite cıvata ve ankrajlar için uygun olup olmayacağı ve maliyet analizi yapılacaktır. Bu nedenle Tablo 2.4. de ISO 898-1 standardının zorunlu kıldığı C, S, P ve B elementlerinin kullanılacağı malzemeler için kimyasal içerikler verilmiştir. Tablo 2.5. de ise ISO 898-1 Standardında istenen 10.9 kalitenin mekanik değerleri verilmiştir.

**Tablo 2.1.** 30MnCrB4-2 Malzemesinin Kimyasal İçerikleri

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
Sonuç (%)	0,31	0,17	1,06	0,009	0,003	0,49	0,03	0,09	0,025

Element	Cu	Sn	B	Ti	Pb	H	H Tundish
Sonuç (%)	0,14	0,10	0,00206	0,03	0,002	0,00008	0,00018

**Kaynak:** (Asil Çelik Sanayi ve Çelik A.Ş)

**Tablo 2.2.** Hammadde Sertifikasındaki 30MnCrB4-2 Malzemesinin Mekanik Değerleri

Kopma Mukavemeti	1012 Mpa
Akma Mukavemeti	1088 Mpa
Kopma Uzaması	15,2%
Kesit Daralması	65,2%
Ort.Çentik Değeri (-40C)	32 J

**Kaynak:** (Asil Çelik Sanayi ve Çelik A.Ş)

**Tablo 2.3.** 33MnCrB5 Malzemesinin Kimyasal İçerikleri

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
Sonuç (%)	0,312	0,188	1,46	0,007	0,004	0,479	0,263	0,03

Element	V	H	B
Sonuç (%)	0,004	2,40	0,0027

**Kaynak:** (Saarstahl)

**Tablo 2.4.** 10.9 Kalite Gereksinimi Olan Elementler

Element	C	P	S	B
Sonuç (%)	0,20 – 0,55	0,025 max.	0,025 max.	0,003max.

**Kaynak:** (ISO 898-1)

Değerlendirme yapılacak diğer kısım ise istenen mekanik değerlerdir. Tablo 2.4. de ise 10.9 kalite gereksinimine uygun mekanik değerler verilmiştir.

**Tablo 2.5.** 10.9 Kalite Gereksinimi Olan Mekanik Değerler

Kalite	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Çentik Değeri (J) (-20°C’de)	Sertlik (HRC)
10.9	Min.1040	Min.940	Min. 9	Min. 48	Min. 27J	32-39

**Kaynak:** (ISO 898-1)

## 2.2. Metot

6'şar farklı numunelerden 1'er tanesi ısıtılma işlemi görmemiş olarak kimyasal analiz testleri ve diğer mekanik testleri yapılarak tedarikçiden alınan bilgilerin doğruluğu teyit edilmiş olup ve ardından 5'er tanesi karbon diyagramına göre belirlenen sabit tavlama sıcaklığı ve yağda soğutma işleminden sonra farklı menceviş sıcaklıklarında (435C°, 445 C°, 455 C°, 465 C°, ve 475 C°) ısıtılma işlemi yapılmış şekilde mekanik değeri saptamak için çekme testi, çentik darbe testi, sertlik testi yapılmış ve akabinde metalografik yapısı incelenmiştir. Yapılan bu deneyler Berdan Cıvata A.Ş'de bulunan TS EN ISO 17025 Standardına göre TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite olmuş test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



## BÖLÜM III

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Deneysel Çalışmanın Basamakları

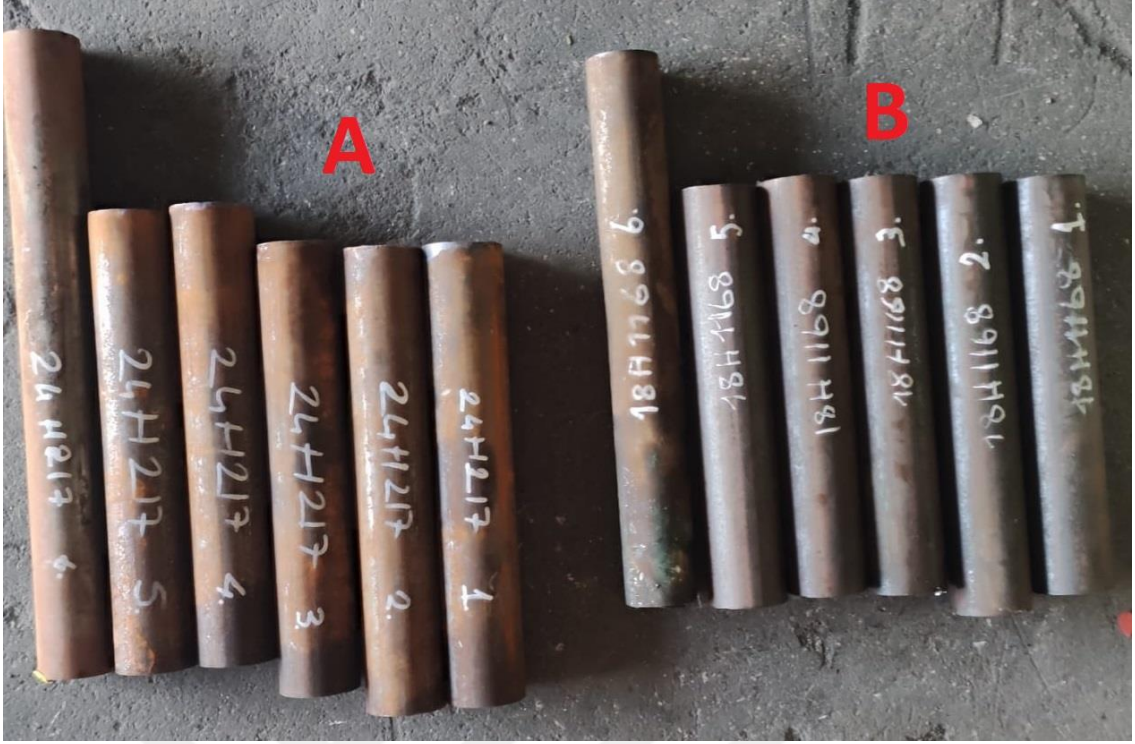
Yapılan deneysel çalışma süreci Tablo 3.1 de sırası ile belirtilmiştir. Tüm proses işlemleri aşağıdaki belirtilen sıraya göre uygulanmış ve detayları başlıklar altında anlatılmıştır.

**Tablo 3.1.** Deneysel Çalışmanın Proses Basamakları

1.Kesme ve Markalama
2.Isıl İşlem
3.Numunelerin Hazırlanması
4.Kimyasal Analiz Testi
5.Çekme Testi
6.Çentik Darbe Testi
7.Sertlik Testi
8.Metalografik İnceleme
9.Bakalite Alma, Zımparalama, Parlatma, Dağlama işlemi
10.Mikro Sertlik Ölçümü
11.Mikro Yapı İncelemesi

#### 3.2. Deney Numunelerini Kesme ve Markalama

Numuneler Cuteral marka şerit testerede 5'er tanesi 300mm boyunda 1'er tanesi ise 400mm boyunda kesilmiştir. Uzun olan numunelerden ekstra kimyasal analiz testi yapılacaktır. İzlenebilirliği ve takip kolaylığı için numunelerin üzerine yanmaz kalem ile 1'den 6 ya kadar numarama yapılmış ve hammadde lot numaraları yazılmıştır. Her ihtimale karşı ise numune uçlarına el markatörü ile soğuk markalama yapılmıştır. 24H00217 Lot numaralı 30MnCrB4-2 Malzemeler sırası ile 01, 02, 03, 04, 05, 06 olarak, 18H01168 Lot numaralı 33MnCrB5 malzemeleri ise 1, 2, 3, 4, 5, ve 6 olarak markalanmıştır.



**Şekil 3.1.** Kesilmiş ve Markalanmış Numuneler A: 30MnCrB4-2 B: 33MnCrB5

### 3.3. Numunelere Isıl İşlem Uygulanması

Isıl işlem için kesilen 5 er adet numuneler Berdan Cıvata A.Ş fabrikasının ısıl işlem fırınlarında gerçekleşmiştir. Isıl işlem fırınları Çin menşeli Shanghai Powermax marka fırınlardır. Deneyde kullanılan fırınlar sırası ile Şekil 3.2. Şekil 3.3., Şekil 3.4. ve Şekil 3.5. de verilmiştir.



**Şekil 3.2. Ön Isıtma Fırını**



**Şekil 3.3. Tav Fırını**



**Şekil 3.4. Yıkama Fırını**



**Şekil 3.5. Meneviş Fırını**

Isıl işlem numunelerinin her iki malzeme için ön yıkama, ön ısıtma, tavlama yağda su verme, yıkama ve farklı sıcaklıklarda menevişleme işlemi olarak gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem prosesleri ve süreleri Tablo 3.2. verilmiştir. Malzemelerde çatlak oluşmasını engellemek ve tavlama süresinin kısaltmak için ön ısıtma uygulamıştır. Ön ısıtmadan çıkan numuneler beklemeden Tavlama fırınına koyulmuştur. Tavlama süresinin bitmesiyle ürünle yağda daldırılmıştı ve su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Akabinde ise numuneler yağdan arınması için yıkama işlemi yapılmıştır. Temizlenen numuneler farklı sıcaklıklarda meneviş yapılmak üzere meneviş fırınına koyulmuştur. Çıkan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

**Tablo 3.2.** Isıl İşlem Prosesleri, Dereceleri ve Süreleri

	Derece	Süresi
Ön yıkama	70 °C	20 dk
Ön Isıtma	450 °C	90 dk
Tavlama	860 °C	120 dk
Yağda Soğutma	50 °C	20 dk
Yıkama	70 °C	23 dk
Meneviş	435 °C 445 °C 455 °C 465 °C 475 °C	120 dk
Havada Soğutma	Oda sıcaklığı	120 dk

### 3.4. Test Numunelerinin Hazırlanması

Isıl işlem prosesi bitmiş olan numuneler testlere uygun hale getirilmek üzere torna, testere ve freze tezgahlarında standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Şekil 3.6.' de numunelerin hazırlık takip kartları ile birlikte işleme başlamadan önceki görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Numune Hazırlık Aşaması

### 3.5. Kimyasal Analiz Testi

Kimyasal analiz testi karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin optik emisyon vakum spektrometrik analiz standardı olan ASTM E415'ye uygun olarak yapılmıştır. SOLARİS marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz görseli Şekil 3.7. de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Solaris Spektrometre Cihazı

Kullanılan numuneler aynı lot hammaddeden üretildiği için kimyasal analiz testi ısıl işlem görmemiş numuneler den 1'er adet olarak yapılmıştır. Yapılan test sonucu ise Tablo 3.3. de verilmiştir.

**Tablo 3.3.** Numunelerin Kimyasal Analiz Sonucu Bileşen Değerleri (%)

	30MnCrB4-2	33MnCrB5
C	0,3149	0,3181
Si	0,1767	0,1712
Mn	1,027	1,4592
P	0,0082	0,0048
S	0,0041	0,0051
Cr	0,4947	0,4745
Mo	0,0446	0,0911
Ni	0,0722	0,2572
Al	0,0245	0,0299
Cu	0,1479	0,00001
Co	0,0071	0,0065
B	0,0018	0,0024
Ti	0,0344	0,0403
V	0,0135	0,0099
W	0,0488	0,3618
Pb	0,0043	0,0032
Sn	0,0096	0,0080
Zr	0,0016	0,0008
Fe	97,465	96,756

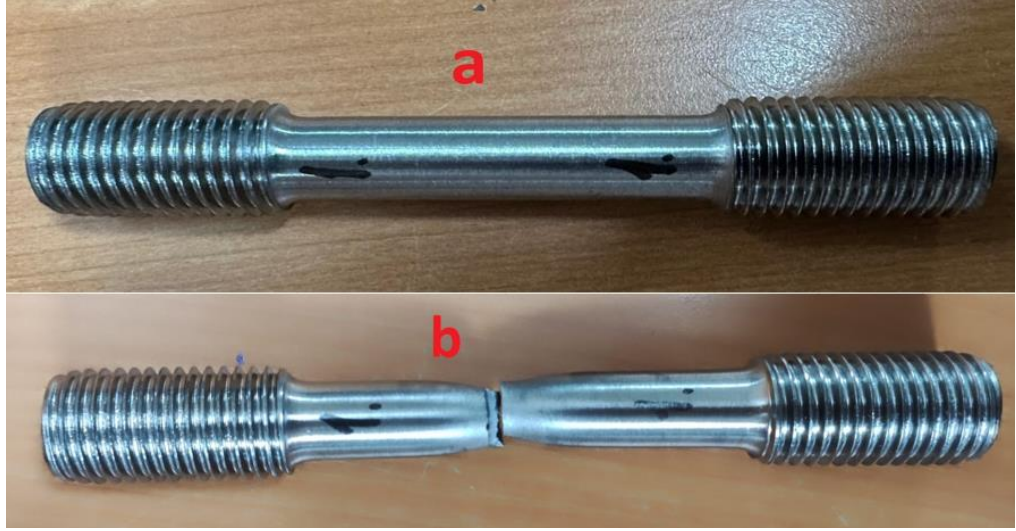
### 3.6. Çekme Testi

Çekme testi 60 tonluk BAZ marka çekme cihazında ISO 6892-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8. da çekme cihazı görseline yer verilmiştir.



**Şekil 3.8.** BAZ marka 60 Tonluk Çekme Cihazı

Hazırlanan 12 adet numuneye de çekme testi yapılmıştır. Testten önce numune üzerinden kumpas ile standardın belirttiği şekilde ölçümler alınmış, kopma sonrasında da gereken ölçüm yapılarak aşağıda belirtilen ilgili formüller vasıtası ile bilgisayara değerler girilerek uzama ve kesit daralması oranları hesaplanmıştır. Akma ve çekme değerleri ise sistem tarafından hesaplanmıştır. Test numunesinin shaft çapı  $\varnothing 14\text{mm}$ , toplam uzunluk 130mm, diş boyları 30mm ve dişler M20 olacak şekilde hazırlanmıştır. Uygun olan aparatlar vasıtası ile cihaza bağlanıp bir tarafı sabit iken diğer kol akma dayanımına kadar 10mm/dk ve çekme hızı 12 mm/dk olarak cihaza tanımlanmış ve oda sıcaklığında test gerçekleştirilmiştir. Kopma Öncesi ve sonrası test numuneleri Şekil 3.9. de gösterilmiştir.



**Şekil 3.9.** Çekme Testi İçin Hazırlanmış Numune a-Test Öncesi b-Test Sonrası

Çekme testi yapılan 12 adet numunenin test sonuçları ve numune ölçüleri sırası ile aşağıda ki tablolarda da verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Isıl işlemsiz 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (1.Numune)

1.Numune Deney Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	661,14 Mpa
Akma Mukavemeti	397,73 Mpa
Kopma Uzaması	22,02%
Kesit Daralması	68,69%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (A <sub>o</sub> )	Ø13,94 mm / 152,62 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (A <sub>u</sub> )	Ø7,80 mm / 47,79 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (L <sub>o</sub> )	69,7 mm
Son Uzunluk Ölçümü (L <sub>u</sub> )	85,05 mm

**Tablo 3.5.** 435°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (2.Numune)

2.Numune Deney Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1080,04 Mpa
Akma Mukavemeti	1029,77 Mpa
Kopma Uzaması	12,98%
Kesit Daralması	58,79%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (A <sub>o</sub> )	Ø14,02 mm / 154,38 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (A <sub>u</sub> )	Ø9 mm / 63,62 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (L <sub>o</sub> )	70,1 mm
Son Uzunluk Ölçümü (L <sub>u</sub> )	79,2 mm

**Tablo 3.6.** 445°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(3.Numune)

3.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1070,32 Mpa
Akma Mukavemeti	1005,3 Mpa
Kopma Uzaması	12,62%
Kesit Daralması	60,60%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,02 mm / 154,38 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø8,80 mm / 60,83 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,1 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	78,95 mm

**Tablo 3.7.** 455°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(4.Numune)

4.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	960,22 Mpa
Akma Mukavemeti	882,01 Mpa
Kopma Uzaması	15,77%
Kesit Daralması	64,05%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,01 mm / 154,16 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø8,40 mm / 55,42 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,05 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	81,1 mm

**Tablo 3.8.** 465°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(5.Numune)

5.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	985,05 Mpa
Akma Mukavemeti	908,36 Mpa
Kopma Uzaması	14,86%
Kesit Daralması	60,94%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14 mm / 153,94 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø8,75 mm / 60,13 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	80,4 mm

**Tablo 3.9.** 475°C de Meneviş Yapılan 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mekanik Değerleri (6.Numune)

6.Numune Deney Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	896,34 Mpa
Akma Mukavemeti	792,44 Mpa
Kopma Uzaması	18,32%
Kesit Daralması	63,85%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø13,97 mm / 153,28 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø8,40 mm / 55,42 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	69,85 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	82,65 mm

**Tablo 3.10.** Isıl İşlemsiz 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (1.Numune)

1.Numune Deney Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	850,60 Mpa
Akma Mukavemeti	717,62 Mpa
Kopma Uzaması	14,20%
Kesit Daralması	49,05%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,08 mm / 155,70 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø10,05 mm / 79,33 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,4 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	80,4 mm

**Tablo 3.11.** 435°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri (2.Numune)

2.Numune Deney Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1250,14 Mpa
Akma Mukavemeti	1203,54 Mpa
Kopma Uzaması	12,75%
Kesit Daralması	57,55%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,12 mm / 156,59 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø9,20 mm / 66,47 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,6 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	79,6 mm

**Tablo 3.12.** 445°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(3.Numune)

3.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1202,96 Mpa
Akma Mukavemeti	1140,79 Mpa
Kopma Uzaması	12,51%
Kesit Daralması	58,17%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,07 mm / 155,48 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø9,10 mm / 65,04 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,35 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	79,15 mm

**Tablo 3.13.** 455°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(4.Numune)

4.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1138 Mpa
Akma Mukavemeti	1084,60 Mpa
Kopma Uzaması	14,09%
Kesit Daralması	60,32%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø14,05 mm / 155,04 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø8,85 mm / 61,52 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	70,25 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	80,15 mm

**Tablo 3.14.** 465°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(5.Numune)

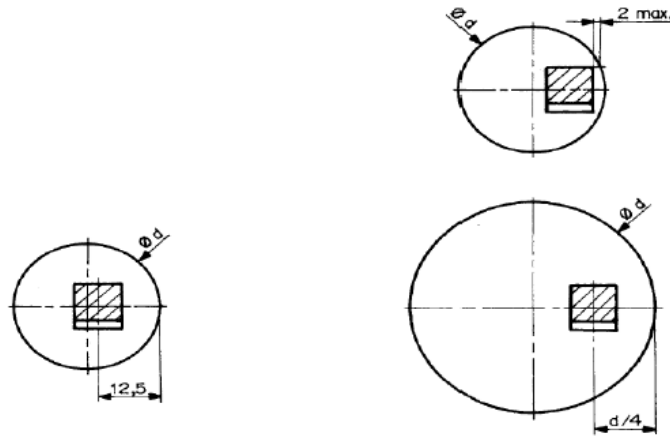
5.Numune Deneş Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1143,66 Mpa
Akma Mukavemeti	1068,38 Mpa
Kopma Uzaması	13,09%
Kesit Daralması	58,09%
İlk Numune apı / İlk Kesit Alanı (Ao)	Ø13,98 mm / 153,50 mm <sup>2</sup>
Son Numune apı / Son Kesit Alanı (Au)	Ø9,05 mm / 64,33 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (Lo)	69,9 mm
Son Uzunluk Ölçümü (Lu)	79,05 mm

**Tablo 3.15.** 475°C de Meneviş Yapılan 33MnCrB5 Çeliğinin Mekanik Değerleri  
(6.Numune)

6.Numune Deneysel Sonuçları	
Kopma Mukavemeti	1069,61 Mpa
Akma Mukavemeti	1010,36 Mpa
Kopma Uzaması	13,59%
Kesit Daralması	61,27%
İlk Numune Çapı / İlk Kesit Alanı (A <sub>0</sub> )	Ø13,98 mm / 153,50 mm <sup>2</sup>
Son Numune Çapı / Son Kesit Alanı (A <sub>u</sub> )	Ø8,7 mm / 59,45 mm <sup>2</sup>
İlk Uzunluk Ölçümü (L <sub>0</sub> )	69,9 mm
Son Uzunluk Ölçümü (L <sub>u</sub> )	79,4 mm

### 3.7. Çentik Darbe Testi

Çentik Darbe Test Numunesi ISO 148-1 standardına uygun olarak hazırlanmış ve yapılmıştır. Her çentik testi 3 adet çentik numunesinden oluşmaktadır. Numuneler 55mm boyunda ve 10x10 mm kare kesittedir. Çentik numuneleri yuvarlak kesitli numunelerden Şekil 3.10. de gösterilen 3 farklı bölgelerden çıkarılmıştır.



**Şekil 3.10.** Çentik Numunelerinin Çıkarılma Yerleri

**Kaynak:** (ISO 148-1)

Çentik numunesine standarda uygun V çentik ise Şekilde 3.11. da gösterilen cihazda açılmıştır. Açılan çentik ve konumu geçer geçmez master ile kontrol edilmiş ve uygunluğu verilmiştir. Çentik testi Şekil 3.12. da gösterilen ALŞA marka Çentik Darbe testi cihazında yapılmıştır. Hazırlanan Numuneler kırılmadan önce ve sonrasında görseli

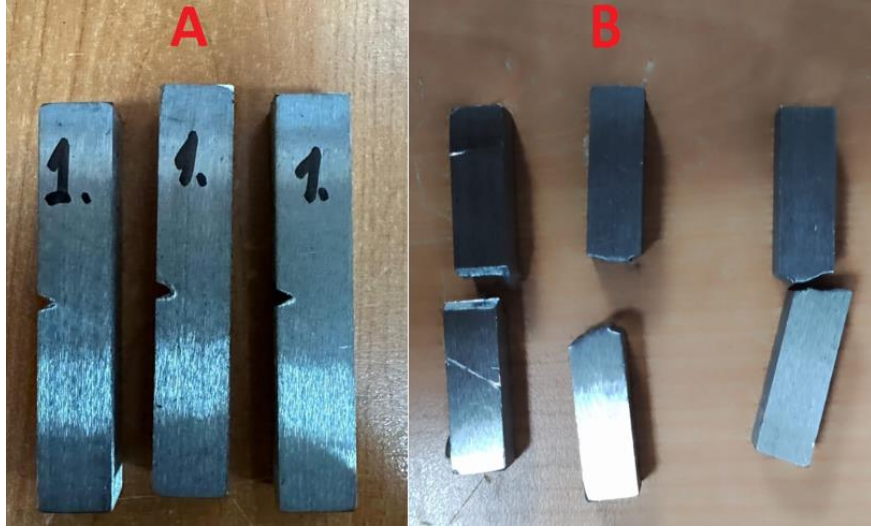
Şekil 3.13. da verilmiştir. Numuneler  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  de bulunan özel Etilalkol+Karbondioksit sıvısı içerisinde 15dk bekletilmiş olup numune sıcaklığı  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken test gerçekleştirilmiştir. Soğutma cihazı Şekil 3.14.'de, çentik açma cihazı Şekil 3.11.'de ve test sonuçları ise Tablo 3.16.'da verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Çentik Açma Cihazı



**Şekil 3.12.** Deneyde Kullanılan Çentik Darbe Test Cihazı



Şekil 3.13. Çentik Numuneleri A: Test öncesi B: Test Sonrası



Şekil 3.14. Çentik Numunesi Soğutma Cihazı

**Tablo 3.16.** min. -20 °C’de Yapılan Çentik Test Sonuçları

		1.Numune (Islahsız)	2.Numune (435 °C)	3.Numune (445 °C)	4.Numune (455 °C)	5.Numune (465 °C)	6.Numune (475 °C)
33MnCrB5	1. Numune	11,4 J	25,9 J	32,1 J	42,7 J	40,2 J	54,2 J
	2.Numune	13,7 J	21,8 J	29,1 J	45,6 J	39,7 J	53,4 J
	3.Numune	11,2 J	25,5 J	29,3 J	44,2 J	40,5 J	50,8 J
	Ortalama Değer	12,1 J	24,4 J	30,2 J	44,2 J	40,1 J	52,8 J
30MnCrB4-2	1. Numune	11,2 J	20 J	30 J	31,4 J	45,8 J	72,4 J
	2.Numune	13,2 J	18,3 J	28,8 J	32,7 J	43,9 J	70,8 J
	3.Numune	11,3 J	22,4 J	28,4 J	31,4 J	41,5 J	76,7 J
	Ortalama Değer	11,9 J	20,2 J	29,1 J	31,8 J	43,7 J	73,3 J

### 3.8. Sertlik Testi

ISO 6508-1 standardına uygun olarak hazırlanan ve uygulanan sertlik testi 12 adet numuneye de uygulanmıştır. Numune üzerinde 3 veya 5 farklı noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Rockwell sertlik testi Şekil 3.15. de verilen Wilson Hardness RS 574 TWIN cihazında 120 °C ‘lik konik uç ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik testi numunesi Şekil 3.17. de gösterilmiş ve sonuçları Tablo 3.17. belirtilmiştir.



**Şekil 3.15.** Rockwell Sertlik Cihazı

**Tablo 3.17.** Sertlik Testi Sonuçları

	1.Numune (Islahsız)	2.Numune (435 °C)	3.Numune (445 °C)	4.Numune (455 °C)	5.Numune (465 °C)	6.Numune (475 °C)
33MnCrB5	24-25 HRC	39-40 HRC	37-38 HRC	35-37 HRC	35-37 HRC	33-35 HRC
30MnCrB4-2	90-92 HRB	38-40 HRC	33-35 HRC	28-30 HRC	28-30 HRC	27-28 HRC



**Şekil 3.16.** Sertlik Testi Numunesi

### 3.9. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme malzemenin iç yapısını inceleyen bilim dalıdır. İnceleme sonrasında malzemeye ne tür işlemler uygulanması gerektiğini anlatmaya çalışır (Erdoğan,2022:35).

Malzemenin mikro yapısını incelemek için özel olarak numunelerin hazırlanması gerekmektedir. Hazırlanan numuneler Optik mikroskopta incelenmiş olup vickers sertliklerinin ölçümü yapılmıştır. Numune hazırlık aşamalar sırası ile Bakalite alma, zımparalama, Parlatma, Dağlama, mikro sertlik ölçümü ve mikro yapı görüntülerinin mikroskopta incelenmesi olarak gerçekleşmiştir.

### 3.9.1. Bakalite Alma

Ölçüm yapılacak olan numunelerin şekillerinin bozuk olması ve ebatının küçük olmasından dolayı numuneler bakalite alınırlar. Şerit testere de 10mm çapında ve 10 mm kalınlığında parçalar numunelerden çıkartılmıştır. Şekil 3.17.'de görülen MATKON ECOPRESS 50 marka bakalit cihazı kullanılmıştır. 300 Bar basınç altında 10 dakika 170 °C sıcaklıkta bakalitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bakalit tozu olarak akrelik fenolik kullanılmıştır. Bakalitleme sonrasında ise numune 5-8 dk aralığında cihaz içerisinde suyla soğutma işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 3.18. de ise bakalitlenmiş numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Bakalitleme Cihazı



Şekil 3.18. Bakalitlenmiş Numuneler

### 3.9.2. Zımparalama ve Parlatma İşlemi

Numuneleri Mikroskopta inceleye bilmek için hazırlanmış olan bakalitlenmiş numunenin yüzeyi testere izlerinden arındırılmış ve pürüzsüz olması gerekmektedir. Bu yüzeyi elde etmek için Şekil 3.19.'da gösterilen METKON marka zımparalama ve parlatma cihazı kullanılmıştır. Zımparalama işlem kalın taneleri zımparadan ince taneliye doğru olmak üzere 180, 400, 600, 800 ve 2500 tane nolarlı zımparalar ile 10 dakika zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemin bitmesi ile yüzey pürüzlülüğü 1 µm olarak ölçülmüştür.

Zımparalama işlemi bittikten sonra numune suyla yıkanmıştır. Zımparalama sonucunda numuneye bakıldığında çizikler görülmektedir. Bu çizikleri ortadan kaldırmak için ise parlatma işlemi yapılması gerekir. Şekil 3.19. de görülen diskler 300 d/dk hızla dönmektedir. Bu disk üzerine kadife türü kumaştan yapılmış parlatma keçeleri bulunmaktadır ve 6 um elmas pasta sürülmüş ve su bazlı elmas kayganlaştırıcı ile yumuşatılmıştır. Parlatma işlemi yaklaşık 10 dk sürmüştür.

Parlatma işlemi bittikten sonrası numunelerin mikro vickers sertlikleri ölçülmüştür.



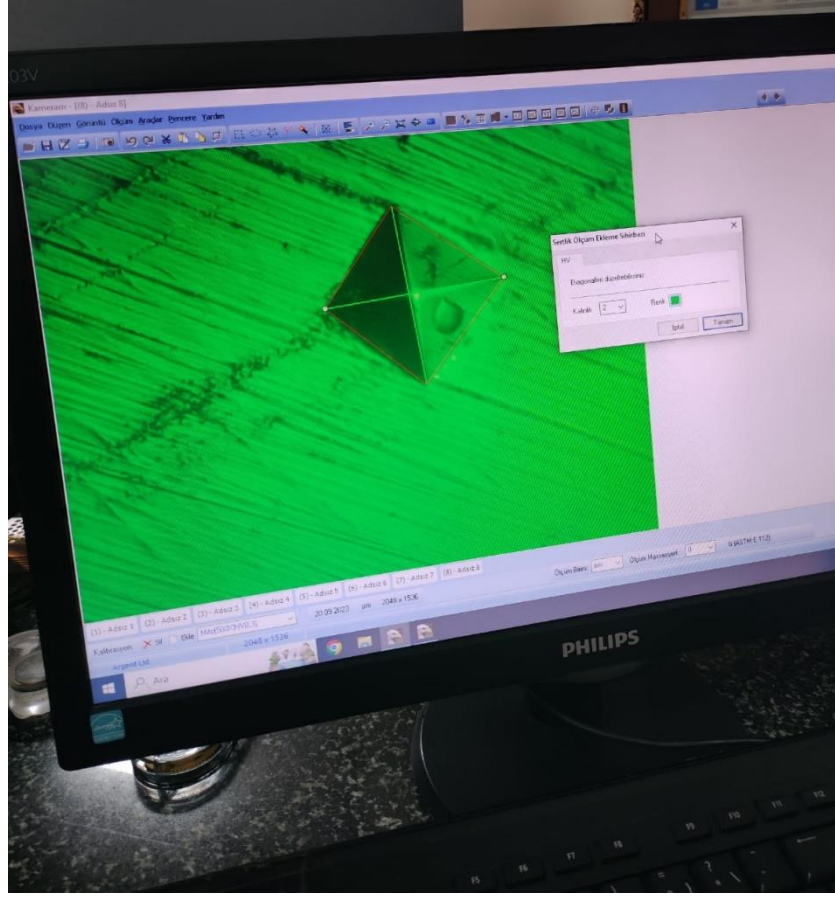
Şekil 3.19. Metkon Marka Zımparalama ve Parlatma Test Cihazı

### 3.9.3. Mikro Sertlik Ölçümü

Hazırlanan numuneneler Şekil 3.20.'de görülen MITUTOYO marka sertlik cihazında 300 gram (HV0,3) yük altında 5 sn bekletilerek 3 farklı noktadan Vickers sertliği ölçülmüştür. Piramit ucun oluşturduğu şekil 100x ile mikroskopta ölçülmüştür. Örnek ölçüm görseli Şekil 3.21.'de gösterilmiştir. Test sonuçları ise Tablo 3.18.de yer verilmiştir. Ölçümleri biten numuneler mikro yapılarının incelenmesi için dağlama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.20. MITUTOYO Marka Vickers Sertlik Cihazı



**Şekil 3.21.** Mikroskop Altında Vickers Mikro Sertlik İz Görünümü

**Tablo 3.18.** Mikro Sertlik Ölçüm Değerleri

Malzeme	Ölçüm Adedi	1.Numune (Islahsız)	2.Numune (435 °C)	3.Numune (445 °C)	4.Numune (455 °C)	5.Numune (465 °C)	6.Numune (475 °C)
30MnCrB4-2	HV1	217	394	372	367	378	354
	HV2	230	404	356	372	373	341
	HV3	210	380	301	361	353	315
	Ortalama	219	392,6	343	366,6	368	336,6
33MnCrB5	HV1	265	417	400	366	382	361
	HV2	277	417	397	378	387	358
	HV3	235	419	400	379	389	361
	Ortalama	259	417,6	399	374,3	386	360

### 3.9.4. Dağlama İşlemi

Parlatma işlemi sonucunda parça yüzeyi ışığı eşit miktarda yansıtmaktadır bu durumda yapının detayları görüntülenemez. Görüntüleme yapabilmek için yüzeyde kontrast bir yapı oluşturulması gerekmektedir. Bu yüzden dağlama işlemine ihtiyaç vardır (Erdoğan,2022:38).

Yapılan dağlama işlemi çeşitli kimyasalların karışımından oluşmaktadır. Kullanılan dağlama ayaları %3 Nital ve %97 Ethanoldür. Bu kimyasal numune üzerine döküldükten sonra numunenin yapısında ki fazlar, tane sınırları, tane iç yapısı mikro düzeyde görüntülenebilecek düzeye gelmiştir. Şekil 3.22. dağlanmış numune örneği görseli yer almaktadır. Böylelikle numuneler mikroskop altında i yapısının incelenmeye ve mikro sertliğinin ölçülmesine hazır hale gelmiştir.



Şekil 3.22. Dağlama İşlemi Görmüş Numune

### 3.9.5. Mikro Yapı İncelemesi

Numunelerin Mikroyapı görüntüleri Şekil 3.23.'de gösterilen ZEISS marka optik mikroskopta 100X zoom yapılarak incelenmiştir. Mikro yapılar ışık yansımalarından kaynaklı numune içeriğinde ki fazlar, tane sınırları, karbürizasyon, dekarbürizasyon ve çatlaklar görüntülenmiştir. Elde edilen görüntülere Bulgular ve Tartışma bölümünde yer verilmiştir.



**Şekil 3.23.** ZEISS Marka Optik Mikroskop

## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada ıslahsız alınan çeliklerin kimyasal analiz testleri yapılmıştır. Çelik tedarikçilerinden alınmış olan hammadde sertifikalarında belirtilen kimyasal içerikler ve ISO 898-1 standardın da istenen kimyasal içeriklerin kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 4.1.'de kıyaslama değerleri verilmiştir. İnceleme sonucunda ise sertifikada belirtilen değerler yüksek oranda doğru olduğu ortaya çıkmıştır. Test sonuçlarından elde edilen değerler ise standart da istenen değerleri karşıladığı görülmüştür.

**Tablo 4.1.** Kimyasal İçeriklerin Karşılaştırılması

	10.9 Kriter Değerleri	Sertifika Değerleri (30MnCrB4-2)	Sertifika Değerleri (33MnCrB5)	Test Sonucu (30MnCrB4-2)	Test Sonucu (33MnCrB5)
C (%)	0,20 – 0,55	0,31	0,312	0,3149	0,3181
P (%)	0,025 max.	0,009	0,007	0,0082	0,0048
S (%)	0,025 max.	0,003	0,004	0,0041	0,0051
B (%)	0,003 max.	0,00206	0,0027	0,0018	0,0024

#### 4.2. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi

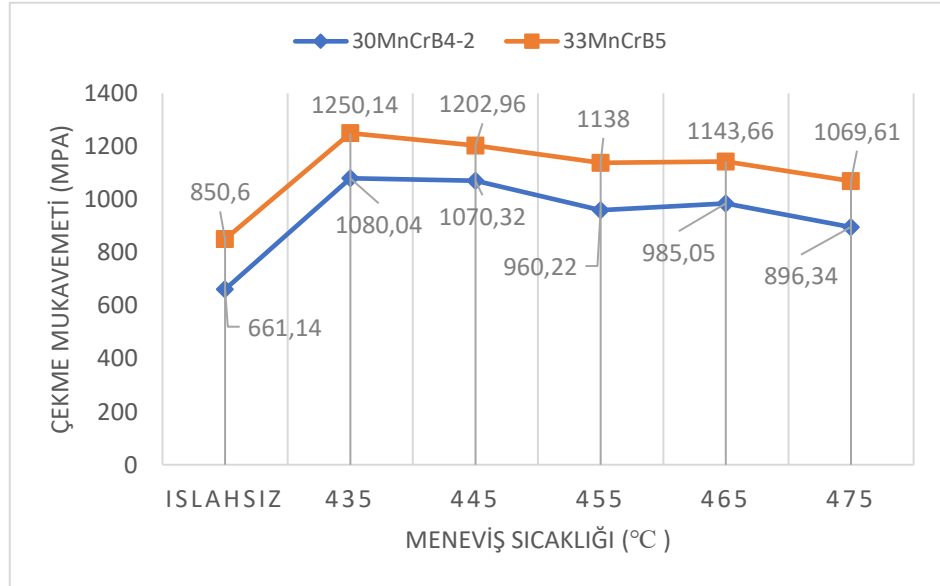
Yapılan çalışmada literatür de çok kullanılmayan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerinin bağlantı elemanlarının temel kalite standardı olan ISO 898-1 de yer alan 10.9 kalitesinin mekanik özelliklerine uygunluğunun kontrolü için farklı meneviş sıcaklıklarında ısıl işlem uygulanmıştır.

**Tablo 4.2.** 10.9 Kalitenin Mekanik Değerleri

Çekme 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 'de min. 27 Joule
Rockwell Sertlik Değeri	32-39 HRC

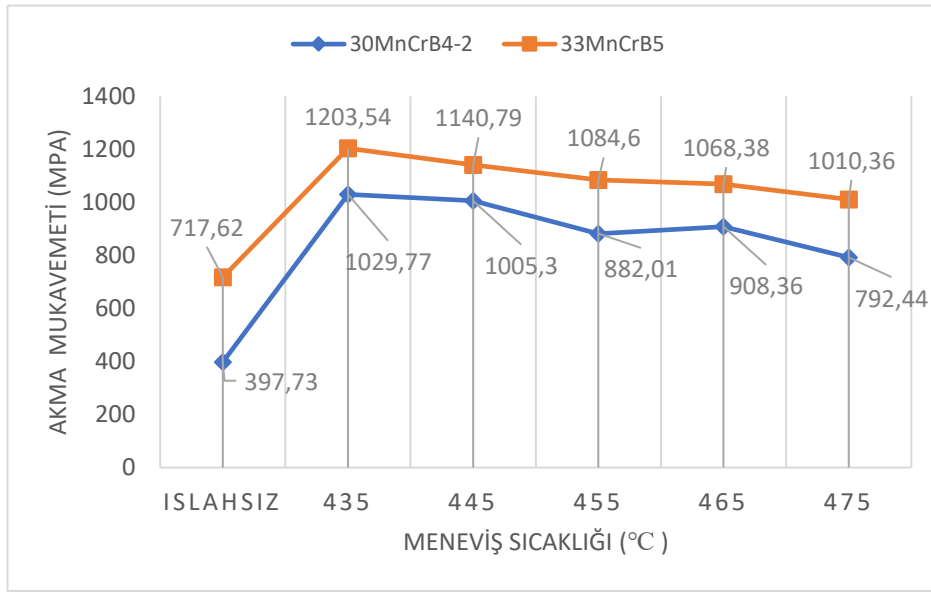
**Kaynak:** (ISO 898-1)

Şekil 4.1. ile Şekil 4.7. arasında ki grafiklerde karşılaştırmalı olarak farklı meneviş sıcaklıkları sonucunda 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemelerinden elde edilen mekanik sonuçları kıyaslaması yapılmıştır. Asil çelik firmasından alınan hammadde sertifikasında belirtilen mekanik değerlerin doğru olmadığı, hammaddenin ıslahsız olduğu ilk yapılan testte ortaya çıkmıştır.



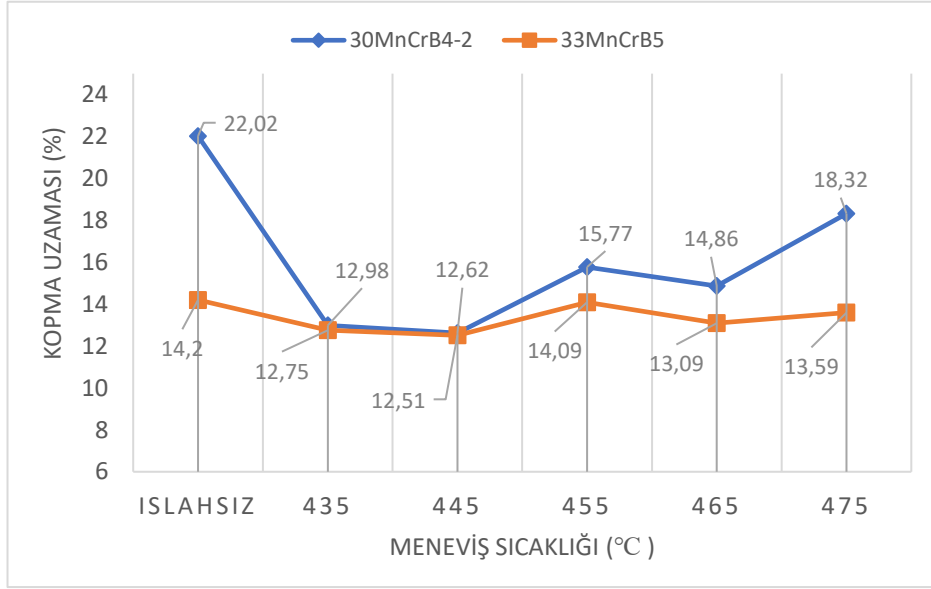
**Şekil 4.1.** Meneviş Sıcaklığı ve Çekme Mukavemetleri İlişkisi

Şekil 4.1. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş çekme mukavemeti değerlerine yer verilmiştir. Çekme mukavemetlerinde meneviş sıcaklığı yükseldikçe azalma yaşanmıştır. 33MnCrB5 çeliği dört farklı meneviş sıcaklığında da min.1040Mpa çekme değerinin üzerinde geldiği için 10.9 kalitesine uygun çıkmıştır. 30MnCrB4-2 çeliği ise sadece 435 ve 445 derece meneviş sıcaklıklarında uygun değerleri vermiştir. Meneviş sıcaklığı arttıkça istenen değerden sapma olduğu gözlemlenmiştir.



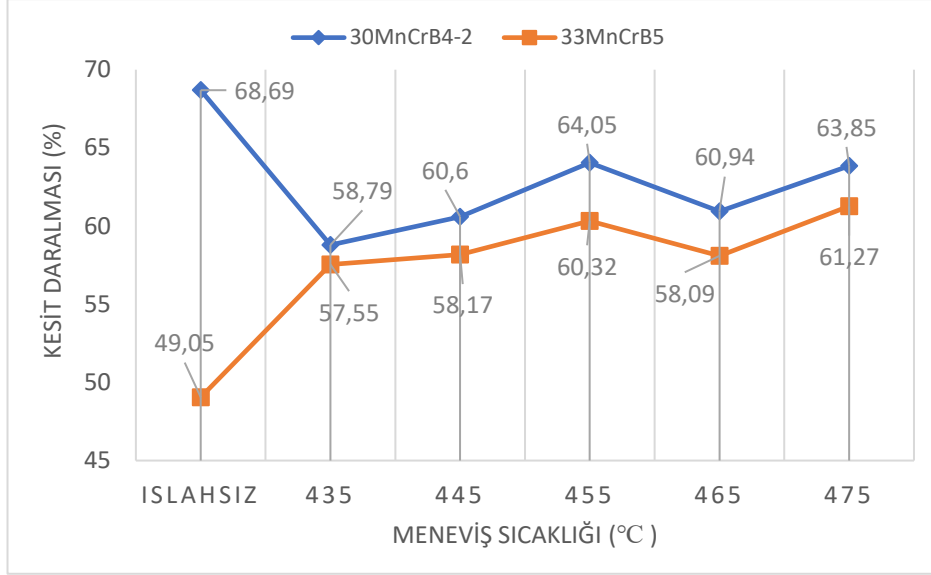
**Şekil 4.2.** Meneviş Sıcaklığı ve Akma Mukavemetleri İlişkisi

Şekil 4.2. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş akma mukavemeti değerlerine yer verilmiştir. Akma mukavemetlerinde meneviş sıcaklığı yükseldikçe azalma yaşanmıştır. 33MnCrB5 çeliği dört farklı meneviş sıcaklığında da min.940Mpa akma değerinin üzerinde geldiği için 10.9 kalitesine uygun çıkmıştır. 30MnCrB4-2 çeliği ise sadece 435 ve 445 derece meneviş sıcaklıklarında uygun değerleri vermiştir. Meneviş sıcaklığı arttıkça istenen değerden sapma olduğu gözlemlenmiştir.



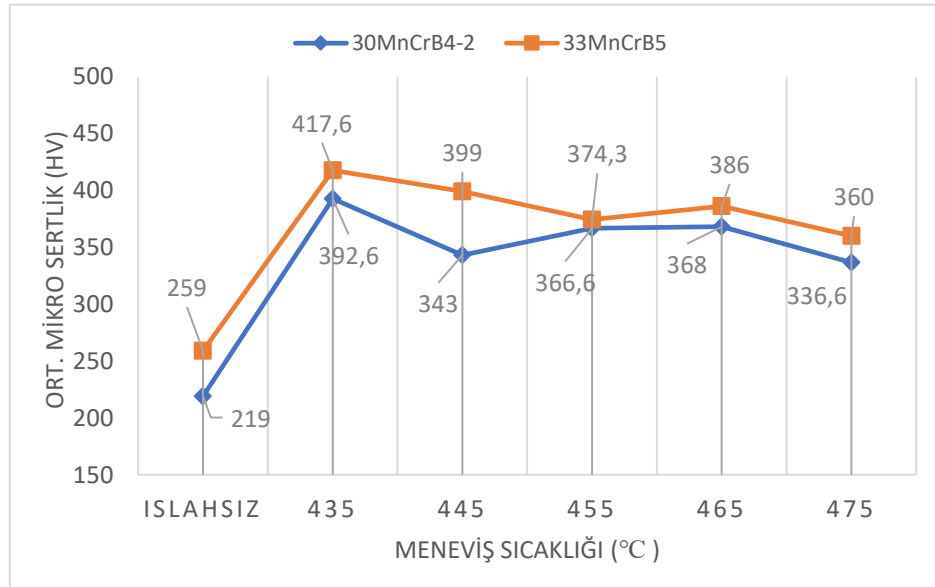
**Şekil 4.3.** Meneviş Sıcaklığı ve Kopma Uzamalarının İlişkisi

Şekil 4.3. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş kopma uzamaları değerlerine yer verilmiştir. Kopma uzamalarında meneviş sıcaklıklarına göre dengesiz bir ilerleme görülmüştür. 30MnCrB4-2 çeliğinin ıslahsız kopması %22,02 gelmiş ve ısıtma işlem sonrası yüksek düşme yaşanmıştır. Meneviş sıcaklıklarında ise 30MnCrB4-2 çeliği meneviş sıcaklığı arttıkça uzama değerleri artmış, 33MnCrB5 çeliğinin ise 455 dereceden sonra düzenli düşüş yaşadığı görülmüştür. Her iki malzemenin de uzama değerleri %9 dan fazla gelerek istenen şartı sağlamıştır.



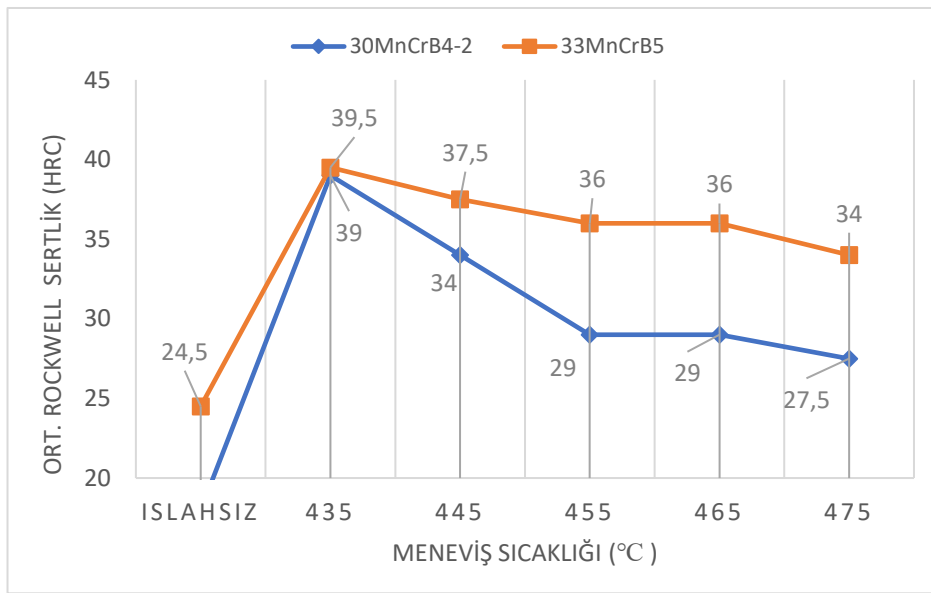
**Şekil 4.4.** Meneviş Sıcaklığı ve Kesit Daralması İlişkisi

Şekil 4.4. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş kesit daralması değerlerine yer verilmiştir. Kesit daralması değerleri de uzama değerlerine kıyasla benzer bir tablo ortaya çıkarmıştır. Islahsız olarak 30MnCrB4-2 çeliğinin kesit daralması %68,69 çıkmışken ilk meneviş sonucuna göre %10 düşmüş ve meneviş sıcaklığı arttıkça kesit daralması da artmıştır. 33MnCrB5 çeliği ise ıslahsız iken %49,05 çıkmış ve meneviş ile birlikte sıcaklık arttıkça kesit daralması değerleri de artmıştır. 10.9 Kalite gerekliliği olan min. %49 şartı ise her iki malzeme için uygun çıkmıştır.



**Şekil 4.5.** Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Mikro Sertlik Değerleri İlişkisi

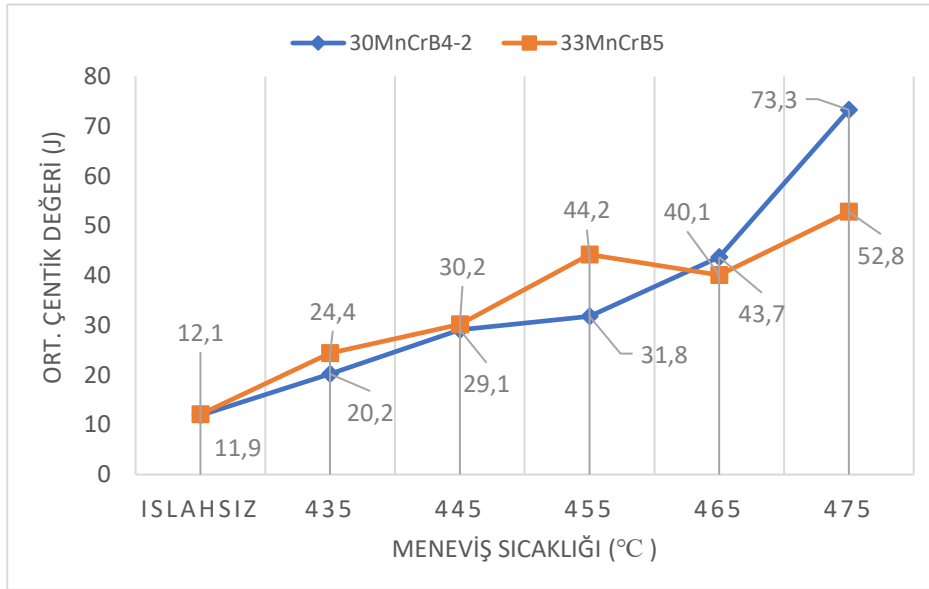
Şekil 4.5. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş ortalama mikro sertlik değerlerine yer verilmiştir. Sertlik değerleri her iki malzeme içinde ıslahsız olarak çok düşük çıkmışken 435 derece de ise en yüksek değeri yakalamıştır. Meneviş sıcaklığı arttıkça 33MnCrB5 çeliğinin mikro sertlik değerlerinde düzenli azalma yaşanmıştır. 30MnCrB4-2 çeliğinde ise 445 derece de kritik düşme yaşanmışken 465 dereceden sonra ise azalmaya başlamıştır. 10.9 gerekliliği olan 320-380 HV sertlik değeri ise 33MnCrB5 çeliğinde 455, 465 ve 475 sıcaklığında kurtarmış iken 30MnCrB4-2 çeliğinde ise 445, 455, 465 ve 475 sıcaklıklarında kurtarmıştır.



Şekil 4.6. Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Rockwell Sertlik Değerleri İlişkisi

Şekil 4.6. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş ortalama Rockwell sertlik değerlerine yer verilmiştir. Sertlik değerleri ıslahsız 33MnCrB5 çeliğinde 24,5 HRC ölçülebilmışken 30MnCrB4-2 çeliğinde ise çıkan değer HRC olarak düşük çıktığı için (90-92 HRB) tabloda yer verilmemiştir. Sertlik değeri standart gereği 20,3 HRC altında ise HRB cinsinden ölçülür. Mikro sertlik verilerine kıyasla benzer bir tablo ortaya çıkmıştır. 33MnCrB5 çeliği 435 derece meneviş sıcaklığında 39,5 HRC ile en yüksek sertlik çıkmış iken meneviş sıcaklığı arttıkça sertlik değerleri düşmüştür. Aynı durum 30MnCrB5 çeliğinde de görülmüştür. 435 derecede en yüksek sertlik değeri yakalanmışken sıcaklık arttıkça sertlik değerleri düşmüştür. 10.9 standardının istemiş olduğu 32-39 HRC sertlik değerleri 30MnCrB4-2 çeliğinde 435 ve 445 derece de

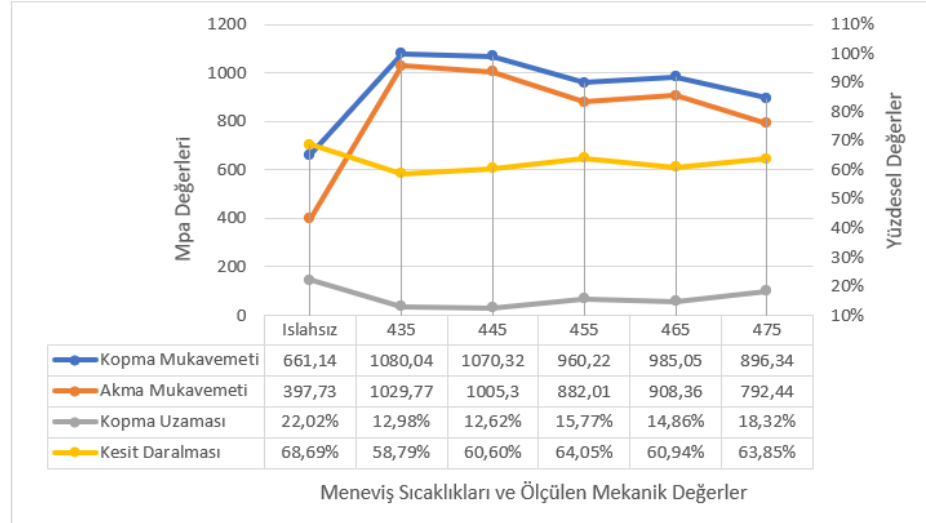
sağlanmışken 33MnCrB5 çeliğinde ise 445, 455, 465 ve 475 derece sıcaklıklarda uygun olduğu görülmüştür.



. Şekil 4.7. Meneviş Sıcaklığı ve Ortalama Çentik Değerleri İlişkisi

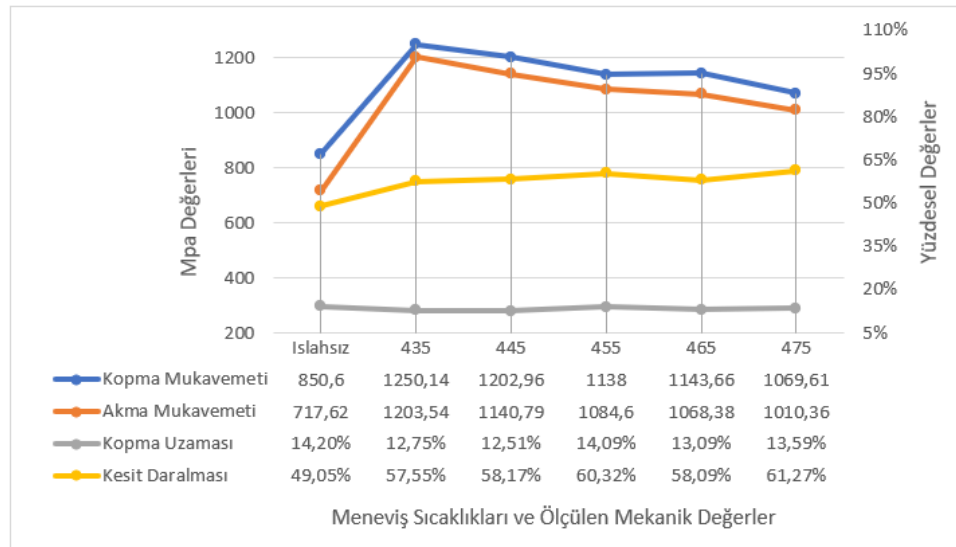
Şekil 4.7. de aynı meneviş sıcaklıklarında elde edilmiş ve -20 derecede çentik testi sonuçları yer verilmiştir. Elde edilen veriler meneviş sıcaklığı arttıkça çentik değerlerinin arttığını göstermiştir. 465 derece 33MnCrB5 çeliğinde küçük bir düşüş yaşanmış iken 30MnCrB4-2 çeliğinde düzenli artış gözlemlenmiştir. 10.9 kalite gerekliliği olan -20 de min. 27J çentik test şartı ise 445, 455, 465 ve 475 derecelerde uygun çıkmıştır.

Her iki malzeme için farklı meneviş sıcaklıklarında ortaya çıkan mekanik değerleri Şekil 4.8. ve Şekil 4.9. da gösterilmiştir. Genel grafikler incelendiğinde meneviş sıcaklıklarının artması ile çekme, akma ve sertlik değerlerinde düşüş yaşanırken kopma uzaması ve kesit daralmasında düzenli artış olduğu görülmüştür.



SERTLİK (HV)	219	392,6	343	366,6	368	336,6
SERTLİK (HRC)	18	39	34	29	29	27,5
DARBE DEĞERİ (J)	11,9	20,2	29,1	31,8	43,7	73,3

Şekil 4.8. 30MnCrB4-2 Malzemesine Ait Test Sonucu Değerleri



SERTLİK (HV)	259	417,6	399	374,3	386	360
SERTLİK (HRC)	24,5	39,5	37,5	36	36	34
DARBE DEĞERİ (J)	12,1	24,4	30,2	44,2	40,1	52,8

Şekil 4.9. 33MnCrB5 Malzemesine Ait Test Sonucu Değerleri

### 4.3. Mikro Yapı Görüntülerinin Değerlendirilmesi

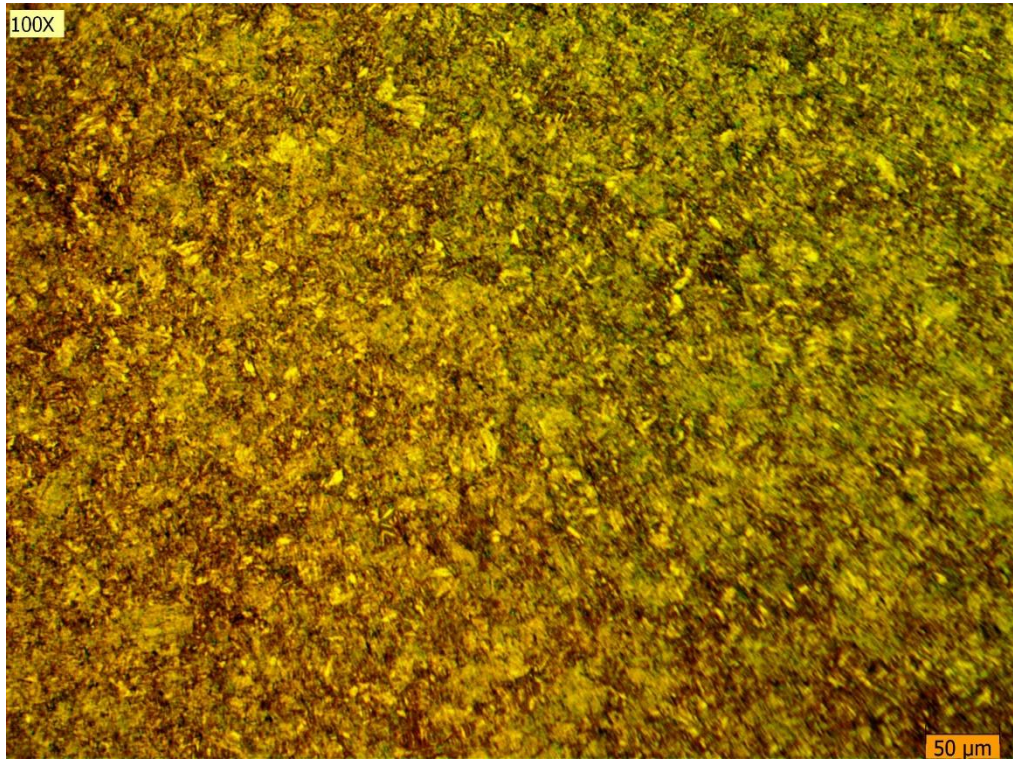
30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerine 860 °C de tavlama işleminde sonra farklı sıcaklıklarda meneviş uygulanmıştır. Uygulama sonrasında her parça için numuneler hazırlanmış ve mikroskop altında 100X zoom ile iç yapıları incelenmiştir.

Mikroskoptan alınan görüntüler sırası ile Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14., Şekil 4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20.,- ve Şekil 4.21.,'de gösterilmiştir. Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.,'de ise ıslahsız olan numunenin mikro yapısı gösterilmiştir. Genel olarak görüntüler ve yapılar incelendiğinde görseller üzerinde hafif siyah olarak görülen bölgeler martenzit, hafif açık turuncu renkli bölgeler beyrit ve beyazımsı olarak görülen bölgeler ise ferrit yapılarıdır. Islahsız alınan görüntüde ise martenzit yapıya sahip olmadığı görülmüştür. Görselde de görüleceği üzere tane yapıları düzenli olarak dağılmıştır ve homojen bir yapı söz konusudur. ISO 898-1 standardının gerekliliği olan %90 martenzit yapı tüm numunelerde sağlanmıştır.

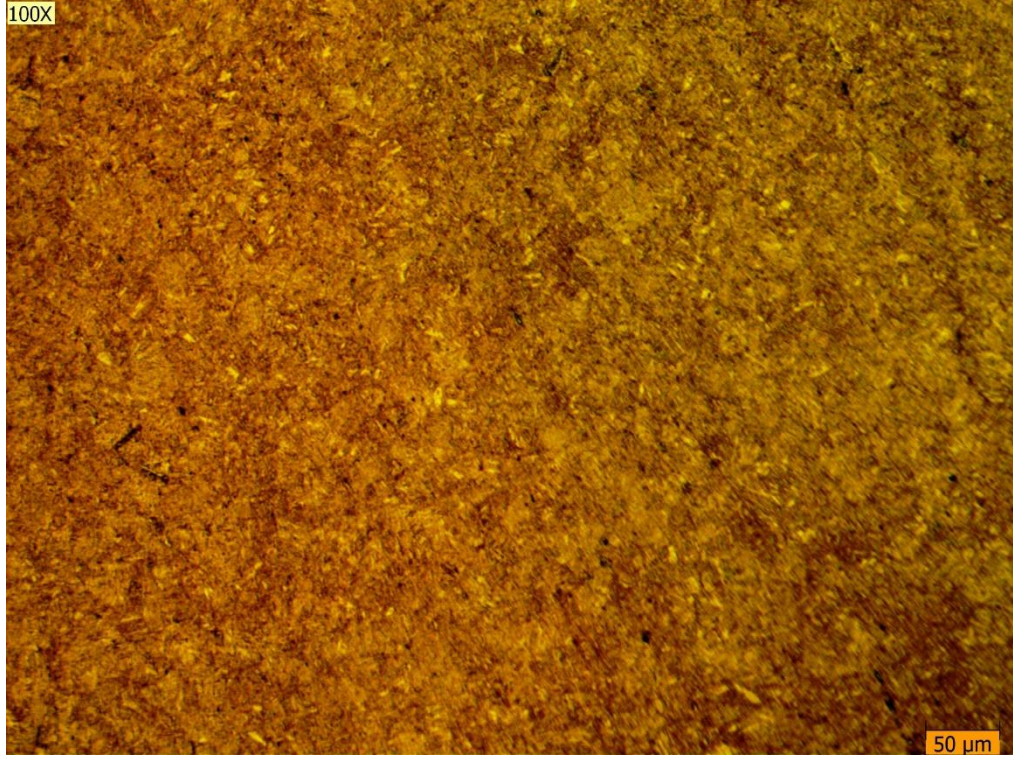
ASTM E112 standardına göre malzemenin tane boyutları 7-8 olarak görülmektedir. Bu değer aralığı malzemenin yapısının uygun olduğunu göstermektedir. Bağlantı elemanlarının tane yapı aralığı 5-8 olarak istenmektedir. Tane yapılarının 5 ve altında olması malzemenin daha kırılğan yapıya sahip olduğunu gösterir (Aktaş,2012:50-55). Bağlantı elemanlarında ki en kritik elemanlardan biri olan cıvataların yorulma ömürlerini kısaltacak ve bu da cıvatanın kullanım süresi azaltacaktır. 8 ve üzeri olması ise malzemenin daha esnek olmasını sağlayacaktır ve bu durumda bağlantı elemanları için istenmeyen durumdur.



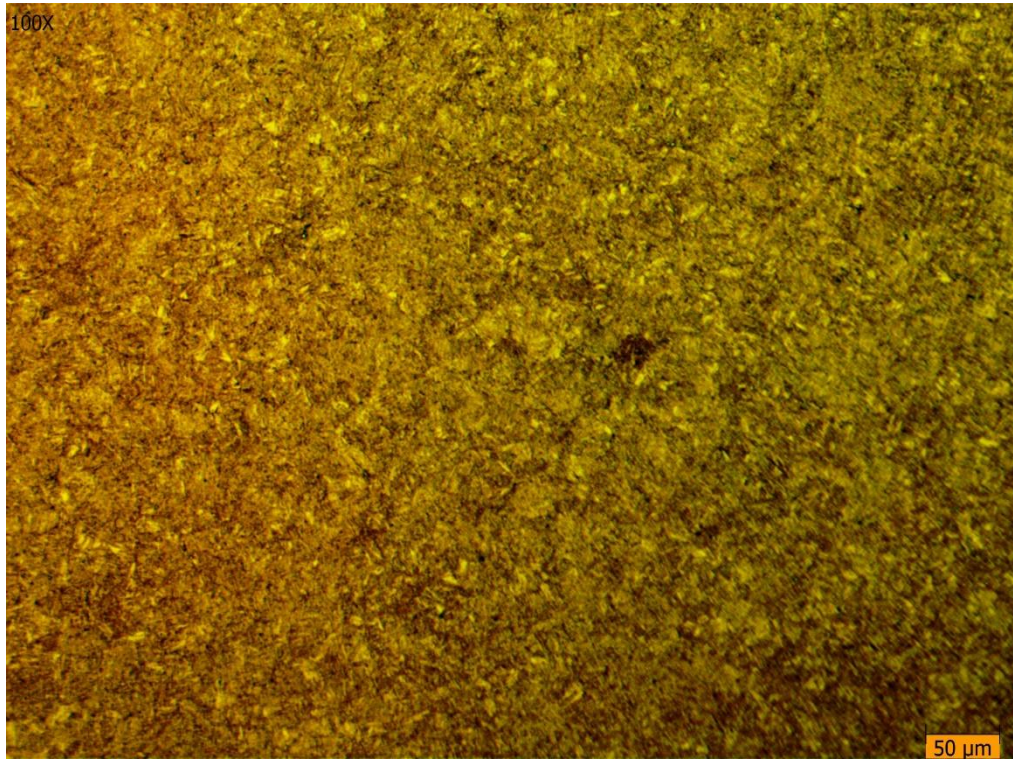
**Şekil 4.10.** 435°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı



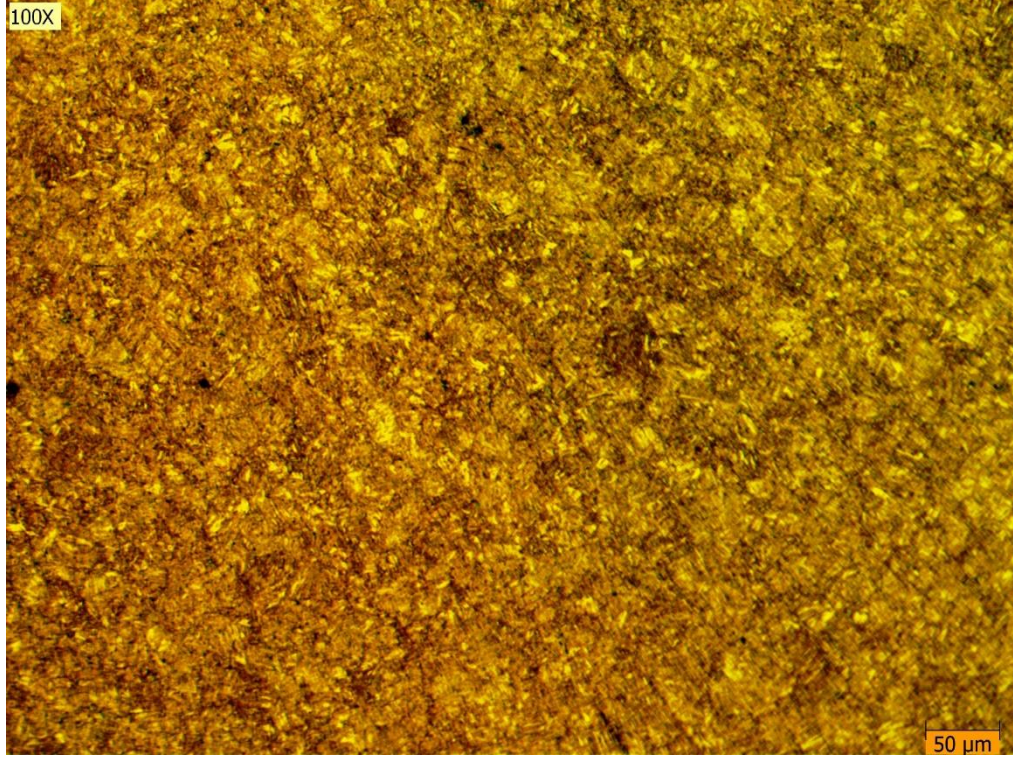
**Şekil 4.11.** 445°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı



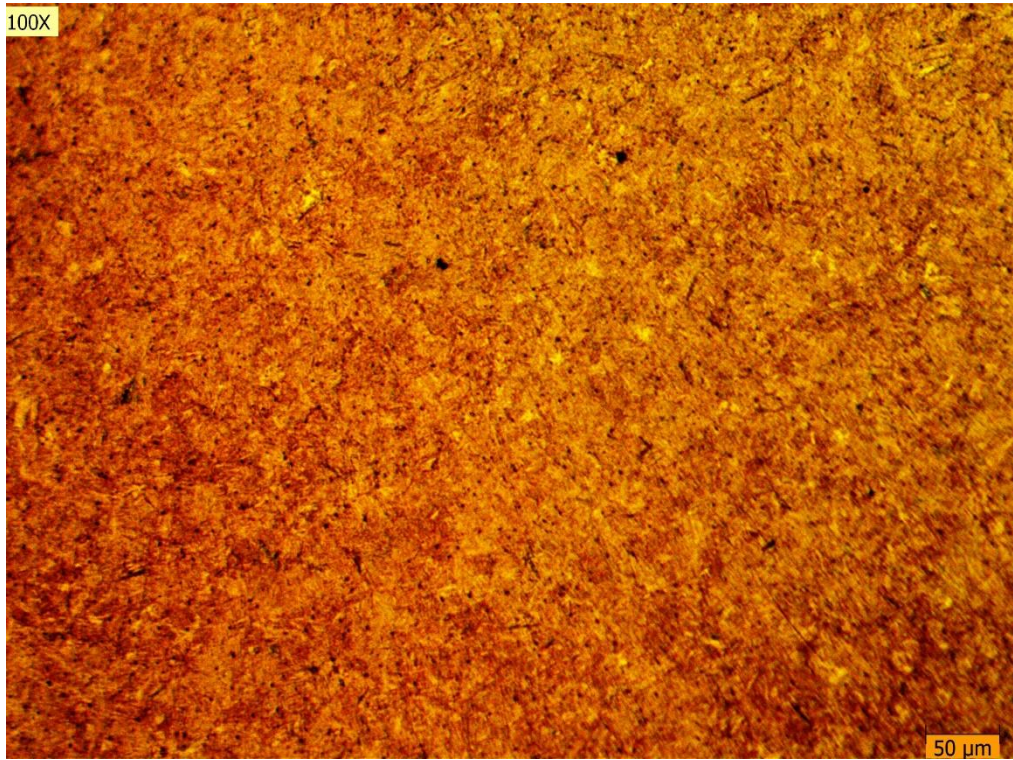
**Şekil 4.12.** 455°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı



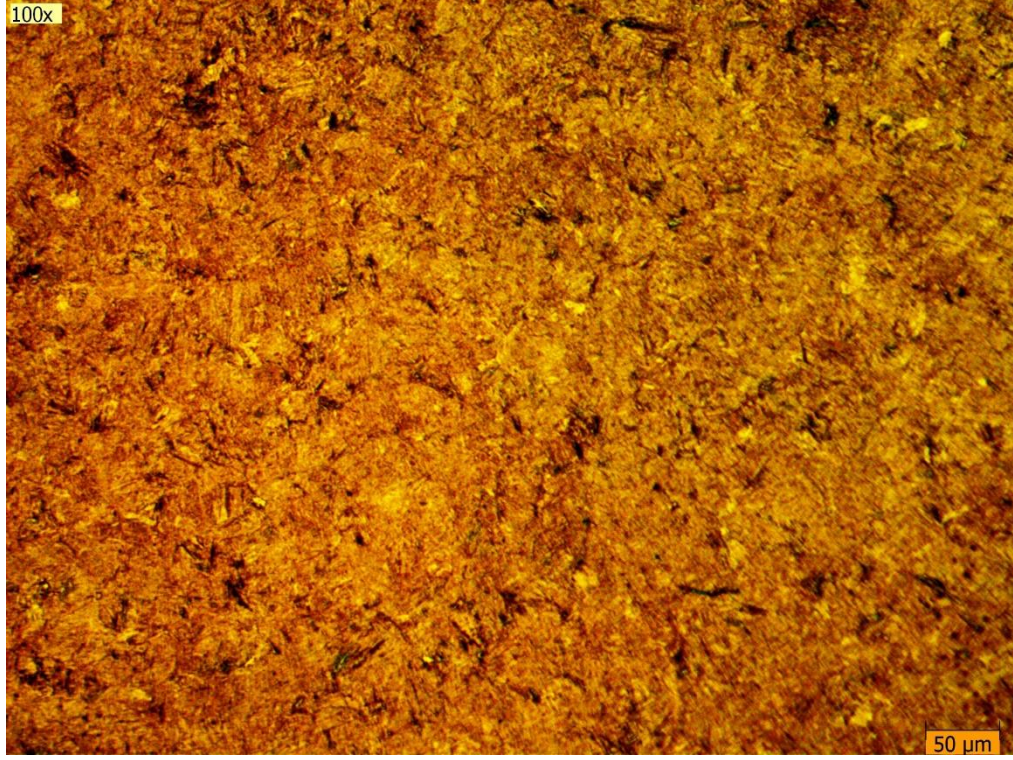
**Şekil 4.13.** 465°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı



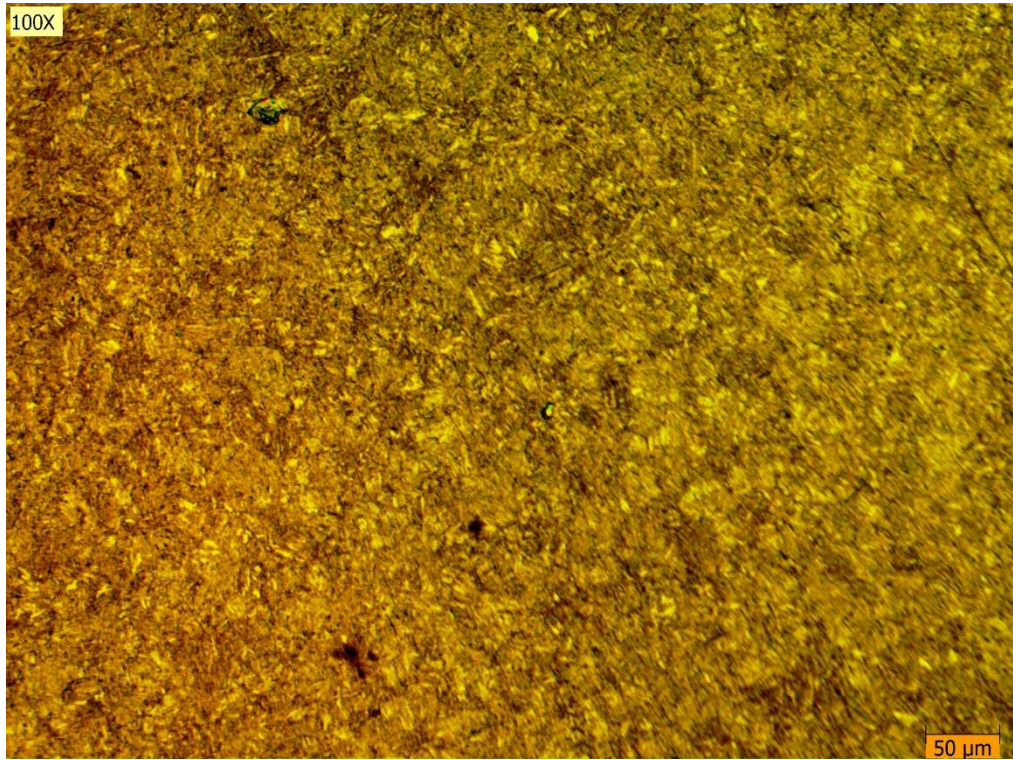
**Şekil 4.14.** 475°C de Meneviş Yapılmış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı



**Şekil 4.15.** 435°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



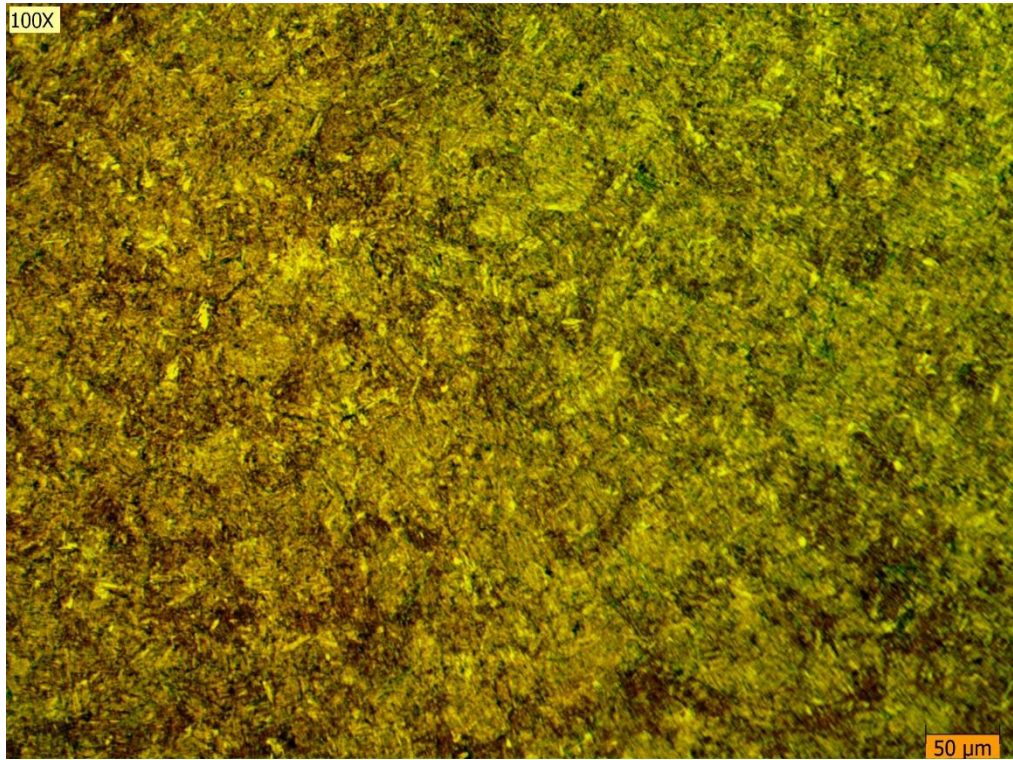
**Şekil 4.16.** 445°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



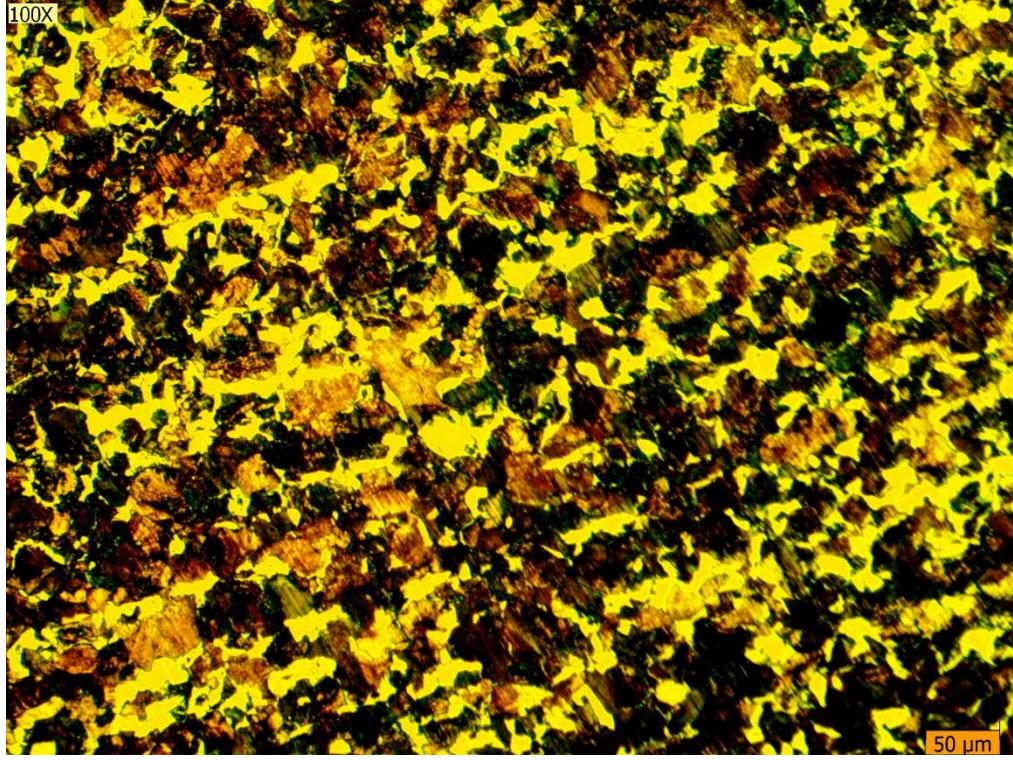
**Şekil 4.17.** 455°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



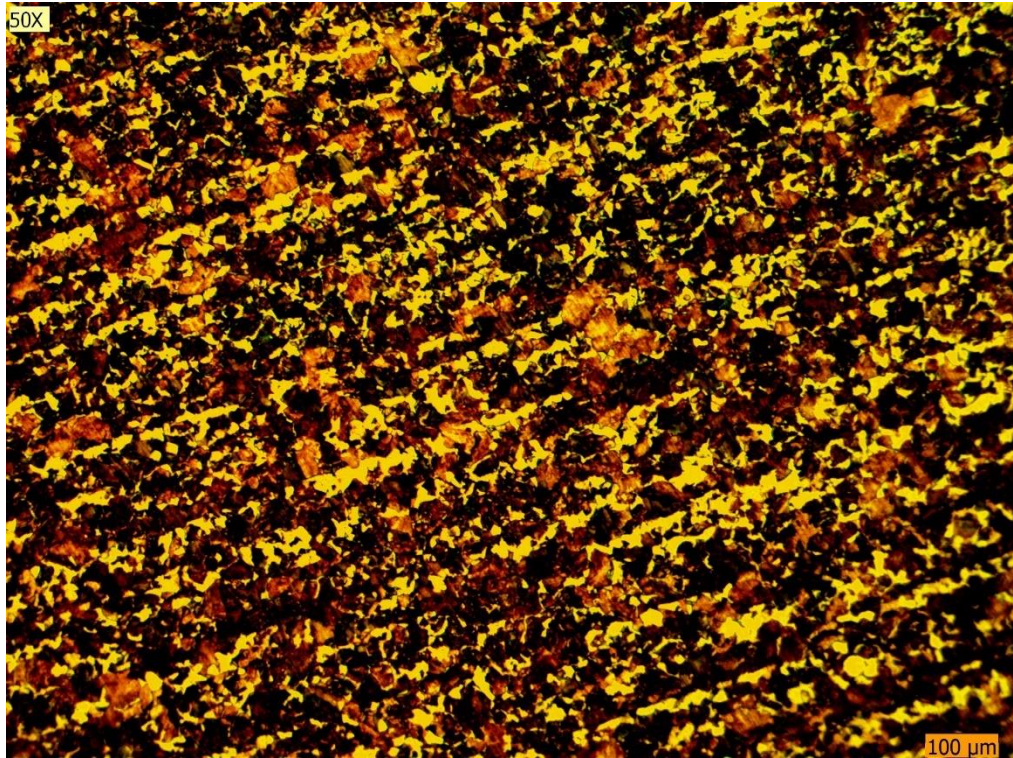
**Şekil 4.18.** 465°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



**Şekil 4.19.** 475°C de Meneviş Yapılmış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



Şekil 4.20. Islah Yapılmamış 30MnCrB4-2 Çeliğinin Mikro Yapısı



Şekil 4.21. Islah Yapılmamış 33MnCrB5 Çeliğinin Mikro Yapısı

## SONUÇ VE ÖNERİLER

30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 çeliklerine 860°C’de tavlama işlemi yapılmış ve su verme ortamı olarak yağda soğutma gerçekleştirilmiştir. Soğutma işleminden sonra ise beş farklı meneviş sıcaklıklarında meneviş yapılmıştır. Çeliklere ısıl işlem uygulanmamış olarak ve ısıl işlem sonrası mekanik değerini saptamak ve bağlantı elemanları standardı olan ISO 898-1’in içinde bulunan ve en çok kullanılan 10.9 kaliteye uygunluk karşılaştırması yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda;

1. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda tavlama işlemi ile sertleşen çeliklerin iç yapılarında oluşan gerilmelerin ve gevrekliğin giderilmesi için uygulanan meneviş prosesinde meneviş sıcaklıklarının artması ile malzeme yapısı yumuşadığı için çekme ve akma mukavemetlerinde düşüş olduğu görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı 435°C meneviş sıcaklığında 30MnCrB4-2 malzemesi 1080,04 Mpa ve 33MnCrB5 malzemesi 1250,14 Mpa olarak görülmüştür. En düşük değerler ise 475°C meneviş sıcaklığında 30MnCrB4-2 malzemesi 896,34 Mpa ve 33MnCrB5 malzemesi 1069,61 Mpa olduğu görülmüştür. 33MnCrB5 malzemesi için kopma ve akma mukavemeti tüm meneviş sıcaklığında 10.9 kalite için min.1040 Mpa kopma ve min. 940 Mpa akma şartını sağlayarak uygun çıkmıştır. 30MnCrB4-2 malzemesinin ise sadece 435°C ve 445°C’de hem akma hem de kopma mukavemetleri ISO 898-1 standardına göre uygun çıkmıştır.
2. En yüksek kopma uzaması her iki malzeme içinde ıslahsız numunede yüksek çıkmış iken en düşük değerler ise en düşük meneviş sıcaklığında ortaya çıkmıştır. 30MnCrB4-2 malzemesi için en yüksek değer %22,02 ve 33MnCrB5 malzemesi için %14,2 olarak görülmüştür. En düşük değerler ise 30MnCrB4-2 malzemesi için 445°C’de %12,62 ve 33MnCrB5 malzemesi için 445°C de %12,51 olarak görülmüştür. Malzemeler ısıl işlem ile sertleştirilmeden önce ham haldeyken en sünek ve yumuşak halde olurlar. Çıkan sonuçlar malzemenin genel yapı özellikleri ile uyumludur. Meneviş sıcaklıklarının artması malzeme yapısını yumuşattığı için mekanik değerleri düşerken süneklik göstergesi olan uzama ve kesit daralması değerleri yükselmiştir.
3. Kesit daralmasında ise 30MnCrB4-2 malzemesinin en yüksek değeri ıslahsız malzemede %68,69 olarak ölçülmüş iken en düşük değer ise en düşük meneviş sıcaklığı

olan 435°C’de %58,79 olarak ölçülmüştür. 33MnCrB5 malzemesi ise en yüksek 475°C’de %61,27 olarak ölçülmüş ve en düşük değerini ise ıslahsız olan numune de %49,05 olduğu görülmüştür. Kesit daralması ve kopma uzaması her iki malzeme için meneviş sıcaklığının artması ile düzenli artış göstermiştir. Bu sonuçlar yine yumuşak malzemeleri sünek olacağını doğrulamıştır. Kopma uzaması ve kesit daralması ISO 898-1 standardına uygun olarak min. %9 kopma uzaması ve min. %48 kesit daralması şartlarını sağlamış ve tüm meneviş sıcaklıklarında 10.9 kalitesine uygun çıkmıştır.

4. Yapılan Vickers mikro sertlik ve Rockwell sertlik testleri sonucunda çıkan değerler her iki malzeme için meneviş sıcaklıkları arttıkça düşme yaşandığı görülmüştür. Meneviş sıcaklığının artması ile malzemenin yumuşadığı ilkesiyle uyumlu bir sonuçtur. En yüksek sertlik değerleri her iki malzeme içinde 435°C’de iken en düşük değerler ise 475°C olduğu görülmüştür. Meneviş sıcaklığının artmasıyla malzeme yumuşamaya başlamış ve bu duruma uygun şekilde sertlik değerleri de düşmüştür. Mikro sertlik değerleri 33MnCrB5 malzemesinde 455°C ve 475°C’lerde 320-380HV aralığında gelmiş iken 30MnCrB4-2 malzemesinde ise 445°C, 455°C, 465°C, 475°C sıcaklıklarda 10.9 kalitesinin gerekliliği olan 320-380HV sertlik aralığında gelecek uygun çıkmıştır. Rockwell sertliğinde ise 33MnCrB5 malzemesi 435 °C hariç diğer sıcaklıklarda ISO 898-1 standardında ki 10.9 kalite gerekliliği olan 32-39 HRC aralık değerlerini sağlamışken 30MnCrB4-2 malzemesi ise sadece 435°C ve 445°C’de 32-39 HRC standart aralığına girmiştir.

5. Yapılan çalışmada çentik darbe testinde ise tüm meneviş sıcaklıklarında darbe değeri (tokluk) düzenli artış göstermiştir. 435 °C’de ki çentik darbe testi sonuçları her iki malzeme içinde 10.9 kalitenin gereksinimi olan min. 27 Joule enerji değerinin altında kalmış iken diğer sıcaklıklarda ise tokluk değeri yükselmiştir. Her iki malzemedeki meneviş sıcaklığı arttıkça malzemenin kırılma esnasında absorbe ettiği tokluk enerjisinin yükseldiği görülmüştür.

6. Yapılan çalışmada ıslah edilen 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemelerinin 100x ile görüntülenen mikro yapı görüntülerinde homojen yapı olduğu görülmüştür. Tavlama prosesi ile malzeme yapısında yığılmalar oluşurken menevişleme ile malzeme yapısı homojen hale gelmiştir. Sertleştirme (tavlama) sonrası meneviş yapılan tüm malzemelerin yapılarının ISO 898-1 standardı gerekliliği olan %90 martenzit yapıda olduğu görülmüştür. Meneviş prosesi ile homojen hale gelen malzemedeki yapısında

ASTM E112 standardına göre tane boyutlarının da 7-8 aralığında olduğu görülmüştür. Martenzit yapı ve tane boyutu verileri malzemelerinde bağlantı elemanlarında kullanılabileceğini göstermektedir.

7. Yapılan bu çalışmada 33MnCrB5 malzemesinin ISO 898-1 standardının 10.9 kalite gereksinimleri yönünden değerlendirildiği 455°C ve 475°C meneviş sıcaklıklarında çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması, kesit daralması, sertlik değerleri ve çentik değerlerini sağladığı görülmüştür. Kopma mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması ve kesit daralması tüm sıcaklıklarda uygun çıkmışken sertlik ve çentik değerleri ise sadece 455°C ve 475°C sıcaklıklarında uygun çıkmıştır. Bu malzeme sadece 455°C ve 475°C meneviş sıcaklıklarında 10.9 kalitesi için kullanılabilir. 30MnCrB4-2 malzemesi ise tüm 10.9 kalite gereklilikleri olan çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması, kesit daralması, sertlik değerleri ve çentik değerlerini sadece 445°C meneviş sıcaklığında sağladığı görülmüştür.

Böylelikle Ø49 malzemenin imal edilecek 10.9 kalite bağlantı elemanları için 30MnCrB4-2 malzemesi 445°C meneviş sıcaklığı uygulanarak kullanılabilir. 30MnCrB4-2 malzemesi diğer ıslah çeliklerine alternatif malzeme olarak değerlendirilebilir. Literatürde en çok kullanılan ıslah çelikleri olan 42CrMo4 ve 41Cr4 gibi malzemelere alternatif olarak bu malzemenin kullanımı uygundur. 33MnCrB5 malzemesi ise 455°C ve 475°C meneviş sıcaklıklarında diğer ıslah çeliklerine alternatif olarak kullanılabilir.

Yapılan 2025 Mayıs ayı piyasa araştırmasından elde edilen verilere göre fiyat kıyaslaması yapıldığında 42CrMo4 malzemesi 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemelerinden 1 tonda yaklaşık 120€ daha pahalı olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan tez çalışması ile 10.9 kalite bağlantı elemanları için yeni ve daha ekonomik bir malzeme literatüre kazandırılmıştır.

Ø49mm malzemenin 10.9 kaliteyi sağlamayan 435°C, 445°C ve 465°C'lerde meneviş yapılan 33MnCrB5 malzemesinin daha düşük çaplarda ve farklı meneviş sıcaklıklarında, 435°C, 455°C, 465°C ve 475°C meneviş sıcaklıklarında 10.9 kaliteyi sağlamayan 30MnCrB4-2 malzemesinin düşük çaplarda ve farklı meneviş sıcaklıklarında testleri yapılarak mekanik değerlerinin sağlanıp sağlanmayacağı çalışması yapılabilir.

Tezde çalışılan 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 malzemelerinin ısıtma işlemi ile ISO

898-1 standardında öngörülen 8.8, 9.8 ve 12.9 kalitelerini sağlayıp sağlamadığı yönünde çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- Agrawal, B.K., (2008). Introduction to Engineering Materials. Tata McGraw-Hill, New Delhi, p.353.
- Akçelik, (2020, Kasım 5) Bor Elementlerinin Özelliği. 2 Şubat 2024 tarihinde <https://akcelik.com.tr/bor-elementinin-ozellikleri-gelecegin-enerji-kaynagi-mi/> adresinden erişildi.
- Akçelik, (2020, Kasım 5) Çentik Testi Nedir. 9 Mart 2024 tarihinde <https://akcelik.com.tr/centik-darbe-testi-tanimi-ve-uygulanmasi/> adresinden erişildi.
- Akduman, M., (2021). Düşük karbonlu ST37 yapı çeliğinin ısı işlem sonrası yapısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Karabük, s.33-198.
- Aksoy, T., (2019). Farklı oranlarda bor ilavesinin 4140 çeliğinin korozif aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Karabük, s.9.
- Aktaş, D., (2012). Metalik malzemelerde tane boyutunun pekleşme katsayısına etkisi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bartın, s.50-55.
- Alfa Metalurji, (2022) Sementasyon nedir. 1 Ekim 2024 tarihinde <https://www.aht.com.tr/index/Page/18/sementasyon> adresinden erişildi.
- Ashby, M. F. and Jones, D.R.H., (1998). Engineering Materials, 2nd ed., Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, p.125-132
- ASTM E415, (2021). Spark Atomik Emisyon Spektrometrisi ile Karbon ve Düşük Alaşımli Çelik Analizi için Standart Test Yöntemi, ABD, s.1-20
- ASTM E112, (2013). Ortalama tane boyutunun belirlenmesi için Standart Test Yöntemi, ABD, s.1-50
- Balıkçı, G., (2016). AISI 410 çeliğinin sıcak dövme karakteristiğinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, s.32.

- Bodycote, (2023 Nisan 10). Yeniden Kristalleştirme. 22 Ocak 2024 tarihinde <https://www.bodycote.com/tr/hizmetler/isil-islem/tavlama-normalizasyon/yeniden-kristallesme/> adresinden erişildi.
- Bozkurt, F., Çakır, F. H., ve Er. Ü., (2021). Investigation of the Tribological and Mechanical Properties of Boron Steels in Terms of Potential Usage in Agricultural Applications. *Politeknik Dergisi*, 24(2):431-438.
- Callister W. D., and Rethwisch D.G., (2014). Materials Science and Engineering. Quad GraSphics/Versailles, United State of America, p.370-390.
- Çalışkan, M., (1984). Isıl işlem ve çeliklerin sertleştirilmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.2.
- Çelik, D., (2018). SAE 4340 Çeliğinde ısıl işlem parametrelerinin yorulma ve mikro yapı üzerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta, s.11-17.
- Çelik, S., (2017). SAE/AISI 4140 Çeliğine uygulanan farklı ısıl işlemlerin mekanik özellikler üzerine etkisinin incelenmesi. On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Samsun, s.2-15.
- Çeltik, C., (2021). 41Cr4 çeliğinde ön ısıl işlem sonrası değişen başlangıç mikroyapısının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bursa, s.6.
- Çetinarslan, C.S., (1997). Sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliklerinin yorulma dayanımlarının deneysel olarak araştırılması. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Edirne, s.5.
- Cıvata Sunuları, (2018), Vidalı Bağlantılar, 5 Mart 2024 tarihinde <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Civata.pdf> adresinden erişildi.
- Demir, F., (2022). 32CrMoV12-10 Çeliğine uygulanan farklı ısıl işlem koşullarının mekanik özelliklere ve nitrürlemeye etkisinin incelenmesi. Çankırı Karatekin

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Çankırı, s.2-57.

Demirci, A.H., (2004). Mühendislik Malzemeleri. Aktüel Yayınları, İstanbul, s.245-252.

Dokuzlar, Ö. (2018). 36CrB4 ve 42CrMo4 Çeliklerde ısıtılma işleminin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Çankırı, s.9-43.

Erdoğan, Y. (2022). Cr-Mo Elementleri ile modifiye edilmiş 42CrMo4 ve 30MnB4 çeliklerde ısıtılma işleminin mekanik özelliklere etkisi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Mersin, s.2-52.

Elibüyük, U. ve Üçgül, İ., (2014). Rüzgar türbinleri, çeşitleri ve rüzgar enerjisi depolama yöntemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum e-Dergisi*, 2(3):1-14.

Gencer, S. K., (2020). Sertleştirme ısıtılma işlem yöntemlerinin AISI 4140 kalite çeliğin mekanik ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, s.5-20.

Güleç, Ş., ve Aran, A., (1995). Malzeme Bilgisi Cilt II. İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, s.25-45.

Güleken, S., (2023). DIN 41Cr4 ve 30MnB4 çeliklerinde menevişleme işleminin etkisinin incelenmesi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, s.47-171.

Güven bağlantı, (2021, Temmuz 10). Pul Çeşitleri. 5 Mart 2024 tarihinde <https://guvenbaglanti.com.tr/pul/> adresinden erişildi.

ISO 898-1, (2013). Bağlama elemanlarının mekanik özellikleri, karbon çeliği ve alaşımlı çelikten imal edilmiş- Bölüm 1: Belirtilen mukavemet sınıfına sahip cıvatalar, vidalar ve saplamalar- Normal diş ve ince hatveli diş, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-62.

ISO 6507-1, (2018). Metalik malzemeler- vickers sertlik deneyi- Bölüm 1: Deney metodu, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-46.

- ISO 6506-1, (2014). Metalik malzemeler- brinell sertlik deneyi- Bölüm 1: Deney metodu, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-19.
- ISO 6508-1, (2015). Metalik malzemeler- rockwell sertlik deneyi- Bölüm 1: Deney metodu (a,b,c,d,e,f,g,h,k,n,t skalaları), Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-26.
- ISO 683, (2019). Isıl işlemlerli çelikler, alaşımlı çelikler ve serbest kesim çelikler - Bölüm 1: Söndürme ve temperleme için alaşımsız çelikler, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-53.
- ISO 6892-1, (2016). Metalik malzemeler - Çekme deneyi - bölüm 1: Oda sıcaklığında deney metodu, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-57.
- ISO 148-1, (2017). Metalik malzemeler-Charpy vurma deneyi- Bölüm 1: Deney metodu, Uluslararası Standartlar Teşkilatı, İsviçre, s.1-57.
- Kadir, O., (2013). Ç-1040 Çeliklerinde ısıt işlemler ve kaynağın mekanik özelliklere olan etkilerinin incelenmesi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, s.38.
- Kara, M.K., (2014). Sürekli tavlama yöntemi ile yeni kalite bir emaye çeliği üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.9-20.
- Karaarslan, A. (2010). Mühendislik alaşımları için faz diyagramları. Literatür yayıncılık, İstanbul, s.30.
- Kaya, M.T., (2016). SAE 4140 (42CrMo4) ıslah çeliğinin bileşik gerilmeli yorulma davranışının incelenmesi. Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Yozgat, s.34.
- Kayral, S., (2014). Isıl işlemler görmüş 30MnB5 çeliğinin mekanik özelliklerinin ve çentik darbe geçiş sıcaklığının incelenmesi. *NWSA-Technological Applied Sciences*, Publication Number:2A0088:43-50.
- Keleş, D., (2012). Bir rüzgar türbini tasarımı ve geliştirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, s.12.

- Kesti, E., (2009). Ç-4140 çeliğinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya, s.7-86.
- Kımt, U., (2013). 30MnB4 Cıvata malzemesinin statik dayanım değerlerinin değişik ısı işlem türlerine göre deneysel incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.49-63.
- Küçükatalay, G.D., (2010). Cıvata-somun bağlantılı elemanlarda delikler arası mesafenin ve delik çapının çekme mukavemetine etkisi. Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.15.
- Meridyen Cıvata, (2019), Sertlik Testi Nedir, 10 Kasım 2024 tarihinde <https://www.meridyencivata.com/hakkimizda/kalite-politikasi/> adresinden erişildi.
- Metalreyonu, (2018, Mart 8), Brinell Sertlik Nedir. 5 Mart 2024 tarihinde <https://www.metalreyonu.com.tr/blog/sertlik-deney> adresinden erişildi.
- Özkader, M.Ç., (2015). Isıl işlemlerle AISI 4140 çeliğinin abrasiv aşınmasının araştırılması. Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.11-22.
- Özmen, Z.T., (2006). Cıvataların çekme dayanımlarına sıkma amaçlı uygulanan torkun etkileri ve gerilme-deformasyon ilişkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.25.
- Pınar, A., Buldur, A.D., ve Tuncer, T., (2020). Türkiye'deki rüzgar enerji santralleri dağılımının coğrafi perspektifle incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43):167-182.
- Sağlametal, (2019, Mart 5) Kimyasal Analiz Testi Nedir. 10 Aralık 2024 tarihinde [www.saglametal.com/tr/kimyasal-analiz-testi](http://www.saglametal.com/tr/kimyasal-analiz-testi) adresinden erişildi.
- Savaşkan, T., (2019). Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi. Papatya Bilim Yayıncılık, İstanbul, s.197-211.

- Savaşkan, T., (2007). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Celepler Matbaacılık, Trabzon, s.16-45.
- Seri, İ. H., (2016). Rüzgar türbini tasarım parametrelerinin incelenmesi ve türbin kanat tasarımlarının analiz edilmesi. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Hatay, s.6-10.
- Smith, W.F., and Hashemi, J., (2011). Foundations of Materials Science And Engineering. McGraw-Hill, New York, p.408-409.
- Tıraş, R., (2023). 4140 ıslah çeliğinin levha olarak üretilebilirliğinin incelenmesi ve geliştirilmesi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, s.28-33.
- Totten, G. E., (2007). Steel Heat Treatment Handbook. CRC Press, BocaRaton, Florida, s.10-20).
- Thelning, K.E., (1920). Steel and its heat treatment book. Butterworths, London, s.43.
- Outkumru, (2019, Ocak 25). The Effects of Alloying Elements. 10 Şubat 2024 tarihinde <https://www.outokumpu.com/en/expertise/stainless-basics/the-effects-of-alloying-elements> adresinden erişildi.
- Ulutan, M., (2007). AISI 4140 Çeliğinin yüzey sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Eskişehir, s.65.
- Usluhadde, (2021, Ocak 10). Çelik Malzeme Nedir. 9 Nisan 2024 tarihinde <https://www.uslularhadde.com/celik-malzeme-nedir> adresinden erişildi.
- Uysal, D., (2022). Rüzgar türbin santrali kritik bağlantı elemanlarının vida dışlarındaki mikro sertlik değerlerine imalat parametrelerinin etkilerinin incelenmesi. Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Mersin, s.1-42.
- Yavuzbarut, T., (2018). 8.8. Kalite sınıfındaki bağlantı elemanlarının mikro alaşımlı çelikler kullanılarak ısı işlemleriyle üretilmesi. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen

Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, s. 64-66.

Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Pakdil, M. ve Cakan, A., (2001). Mühendislik Malzemeleri I, MKU Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, İskenderun, s.180.

Yıldız, F., (2017). AISI 4140 Namlu çeliğinin yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışının incelenmesi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Bartın, s. 32-38.

Yıldız, Y., (2022). 5140 Alaşımından mamül cıvata üretiminde ısıl işlem parametrelerinin çeliğın mekanik özelliklere etkisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya, s.11.

Weber, (2022, Mayıs 5). Ankraj Nedir. 9 Nisan 2024 tarihinde <https://www.tr.weber/blog/ankraj/ankraj-nedir> adresinden erişildi.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Oğuzhan KAYA

**Doğum Tarihi** :

**E-mail** :

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
3,30/4	İmalat Mühendisliği / Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi	2013-2019
	Makine Mühendisliği /Yüksek Lisans	Tarsus Üniversitesi	2023-2025

**Görevler** :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Kaya O., (2025). 30MnCrB4-2 ve 33MnCrB5 ıslah çeliklerinde ısıtıl işlemin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (Yayınlanması için ilgili dergiye gönderilmiştir.)