

**T.C.**  
**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SICAK SU KAZANLARINDA KULLANILAN**  
**TRANSMİSYON MİLLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ahmet Er Rufai YURTCU**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ**

**HAZİRAN 2020**

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SICAK SU KAZANLARINDA KULLANILAN  
TRANSMİSYON MİLLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ahmet Er Rufai YURTCU  
(13617180202)**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ**

**HAZİRAN 2020**

## TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca ilgisini, bilgisini esirgemeyen, tecrübelerini her zaman aktarmaya çalışan, yoğun çalışma temposuna rağmen her türlü destek ve yardımda bulunan saygıdeğer danışmanım ve hocam Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ'ye;

Deney numunelerinin hazırlanmasında desteğini ve emeğini esirgemeyen Çetin Cıvata A.Ş. ve Mimsan Grup personellerine;

SEM görüntülerinin hazırlanmasındaki desteklerinden dolayı İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Birimi'ne;

ve bugünlere gelmemde bana desteğini maddi ve manevi olarak hiçbir zaman esirgemeyen aileme;

teşekkürlerimi sunarım.

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Sıcak Su Kazanlarında Kullanılan Transmisyon Millerinin İyileştirilmesi “başlıklı bu çalışmada bilimsel, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek herhangi bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yönetimine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ahmet Er Rufai YURTCU



## İÇİNDEKİLER

<b>TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ONUR SÖZÜ</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2.LİTERATÜR ÖZETLERİ</b> .....	<b>3</b>
<b>3.GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>5</b>
3.1.Sıcak Su Kazan Tanımı.....	5
3.2.Kazan Temel Parçaları.....	5
3.2.1. Külhan (Ocak) .....	5
3.2.2. Aynalar .....	5
3.2.3. Alev-Duman Boruları .....	5
3.2.4. Zarf (Gövde) .....	6
3.2.5. Kapak.....	6
3.2.6. Davlumbaz.....	6
3.3.Çeliğin Tanımı .....	6
3.4.Transmisyon Çelikleri.....	7
<b>4.ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ</b> .....	<b>8</b>
4.1.Çeliğe Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri .....	10
4.1.1. Yumuşatma tavlaması.....	10
4.1.2. Normalizasyon tavlaması.....	10
4.1.3. Küreselleştirme tavlaması.....	11
4.1.4. Gerilim giderme tavlaması .....	12
4.1.5. Su verme sertleştirme.....	13
4.1.6. Yeniden kristalleştirme tavlaması.....	15
<b>5.DENEY NUMUNESİ VE HAZIRLANMASI</b> .....	<b>16</b>
5.1.Numune Tipi ve Özellikleri .....	16

5.2. Deney Numunesinin Tanımlanması .....	16
5.3. Deney Numunelerinin Ölçülendirilmesi.....	17
5.4. Kaynaklı Birleştirmeye Maruz Bırakılmayan Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	19
5.5. Farklı Açılarda Kesilerek Kaynaklı Birleştirmeye Tabi Tutulan Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	23
5.5.1.Hazırlanan numunelerin ısıtılma tabi tutulması.....	24
5.5.2.Açılı kesilen numunelerin kaynakla birleştirilmesi.....	26
<b>6.ÇEKME DENEYİ</b> .....	<b>28</b>
6.1. Numunelerin Çekme Deneyine Tabi Tutulması.....	28
6.2. Numunelerin SEM Görüntüleri .....	41
6.3. Farklı Açılarda Kesilen ve Sonrasında Farklı Kaynak Türleriyle Birleştirilen Millerin Mekanik Teste Tabi Tutulması.....	46
6.3.1.Aynı açıda kesim yapılan millerden, aynı kaynak türüne sahip olanların, farklı ısıtılma işlemlerinin kıyaslanması .....	47
6.3.2.Aynı derece kesim yapılan millerden, aynı tip ısıtılma işlem uygulanan numunelerin, farklı kaynakların kıyası .....	59
6.3.3.Aynı kaynak türüne sahip olanların, aynı tip ısıtılma işlem uygulanan numunelerin, farklı derecelerinin kıyaslanması .....	71
<b>7.SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>76</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>77</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>87</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Gaz Yakıtlı Kazan Enine Kesiti.....	6
Şekil 4.1: Sıcaklık-Zaman Grafiği .....	8
Şekil 4.3: Demir Karbon Denge Diyagramı.....	9
Şekil 4.3 : %0,2 C içeren çeliğin iç yapısında tavlama işlemi sırasında meydana gelen değişimlerin bir şematik gösterimi .....	10
Şekil 4.4: Alaşımız çelikler için yumuşatma, normalizasyon, küreselleştirme ve sertleştirme işlemlerinde tavlama sıcaklık aralıkları .....	12
Şekil 4.5: Martenzitik dönüşüm sırasında ostenitin YMK yapılı birim hücrelerinden martenzitin HMK yapılı birim hücresinin oluşumu .....	13
Şekil 4.6 : Martenzit yüzde oranının sıcaklığa göre değişimini gösteren eğri .....	14
Şekil 5.1: Deney Numunesi (önce) .....	17
Şekil 5.2: Deney Numunesi (sonra) .....	17
Şekil 5.3: Torna tezgahında numunelerin hazırlanması.....	19
Şekil 5.4: Torna tezgahında hazırlanan 10,12 ve 14 mm numune örneği.....	20
Şekil 5.5: Isıl işlem fırını.....	21
Şekil 5.6: Lazer sıcaklık ölçüm cihazı ile numune sıcaklık kontrolü .....	21
Şekil 5.7: Isıl işleme uğrayan numunelerin sıcaklık-zaman grafiği .....	22
Şekil 5.8: Isıl işlem sonrası hava soğumaya bırakılan numuneler .....	23
Şekil 5.9: Numunelerin Kaynak Operatörü Tarafından Birleştirilmesi .....	24
Şekil 5.9. Numunelerin Isıl İşleme Tabi Tutulduğu Fırın .....	25
Şekil 5.10 Numunelerin Kaynak Operatörü Tarafından Birleştirilmesi .....	27
Şekil 6.1: Çekme deneyi cihazı.....	29
Şekil 6.2: Hazırlanan 10,12 ve 14 mm numuneler.....	30
Şekil 6.3: Cihaza bağlanan 10,12 ve 14 mm numuneler.....	30
Şekil 6.4. Cihazda kopan ısılsız 10,12 ve 14 mm numuneler.....	31
Şekil 6.5. 30 dakika hava soğutmalı ve 30 dakika su soğutmalı kopan 10,12 ve 14 mm numuneler .....	31
Şekil 6.6. 60 dakika hava soğutmalı ve 60 dakika su soğutmalı kopan 10,12 ve 14 mm numuneler .....	32
Şekil 6.7. Isıl işlemsiz 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	32
Şekil 6.8. 30 dakika ısılsız, hava soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	33

<b>Şekil 6.9:</b> 30 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	33
<b>Şekil 6.10:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, hava soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	34
<b>Şekil 6.11:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	34
<b>Şekil 6.12:</b> ısıtma işlemli 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	35
<b>Şekil 6.13:</b> 30 dakika ısıtma işlemli, hava soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	35
<b>Şekil 6.14:</b> 30 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	36
<b>Şekil 6.15:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, hava soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	36
<b>Şekil 6.16:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	37
<b>Şekil 6.17:</b> ısıtma işlemli 14 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	37
<b>Şekil 6.18:</b> 30 dakika ısıtma işlemli, hava soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	38
<b>Şekil 6.19:</b> 30 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	38
<b>Şekil 6.20:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, hava soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	39
<b>Şekil 6.21:</b> 60 dakika ısıtma işlemli, su soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	39
<b>Şekil 6.22.</b> 10 mm ısıtma işlemli numunelerin SEM görüntüleri .....	42
<b>Şekil 6.23.</b> 12 mm ısıtma işlemli numunelerin SEM görüntüleri .....	42
<b>Şekil 6.24.</b> 14 mm ısıtma işlemli numunelerin SEM görüntüleri .....	43
<b>Şekil 6.25.</b> 10 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	43
<b>Şekil 6.26.</b> 12 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	44
<b>Şekil 6.27.</b> 14 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	44
<b>Şekil 6.28.</b> 12 mm 30 dakika su soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	45
<b>Şekil 6.29.</b> 12 mm 60 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	45
<b>Şekil 6.30.</b> 12 mm 60 dakika su soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri .....	46
<b>Şekil 6.31 :</b> Açılı kesilen numunelerin deney sonrası görünümü.....	47



<b>Şekil 6.32:</b> 0° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune .....	48
<b>Şekil 6.33:</b> 0° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune .....	49
<b>Şekil 6.34:</b> 15° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune .....	50
<b>Şekil 6.35:</b> 15° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune .....	51
<b>Şekil 6.36:</b> 30° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune .....	52
<b>Şekil 6.37:</b> 30° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune .....	53
<b>Şekil 6.38 :</b> 45° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune .....	54
<b>Şekil 6.39:</b> 45° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune .....	56
<b>Şekil 6.40:</b> 60° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune .....	57
<b>Şekil 6.41:</b> 60° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune .....	58
<b>Şekil 6.42:</b> 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	59
<b>Şekil 6.43:</b> 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	60
<b>Şekil 6.44:</b> 30° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	61
<b>Şekil 6.45:</b> 45° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	62
<b>Şekil 6.46:</b> 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	63
<b>Şekil 6.47:</b> 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısı işlemsiz numuneler .....	64
<b>Şekil 6.48:</b> 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısı işlemsiz numuneler .....	65
<b>Şekil 6.49:</b> 30° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısı işlemsiz numuneler .....	66
<b>Şekil 6.50:</b> 45° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısı işlemsiz numuneler .....	67
<b>Şekil 6.51:</b> 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısı işlemsiz numuneler .....	68
<b>Şekil 6.52:</b> 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler .....	69
<b>Şekil 6.53:</b> 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler .....	69
<b>Şekil 6.54:</b> 30° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler .....	70
<b>Şekil 6.55:</b> 45° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler .....	70
<b>Şekil 6.56:</b> 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler .....	71
<b>Şekil 6.57:</b> Farklı derecede kesilerek ısı işlem sonrası TIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	72
<b>Şekil 6.58:</b> Farklı derecede kesilerek ısı işlem sonrası MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	72
<b>Şekil 6.59:</b> Farklı derecede kesilerek ısı işlem uygulanmadan TIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	73
<b>Şekil 6.60:</b> Farklı derecede kesilerek ısı işlem uygulanmadan MIG kaynağıyla birleşen numuneler .....	73

<b>Şekil 6.61:</b> Farklı derecede kesilerek TIG kaynağıyla birleşmeden sonra ısıtıl işlem uygulanan numuneler.....	74
<b>Şekil 6.62:</b> Farklı derecede kesilerek MIG kaynağıyla birleşmeden sonra ısıtıl işlem uygulanan numuneler.....	75



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 4.1:</b> C oranına göre bazı çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulan ve normalize edilen durumlardaki mekanik özellikleri [16].....	11
<b>Çizelge 5.1:</b> Milin kimyasal özellikleri [10] .....	16
<b>Çizelge 5.2:</b> Milin Mekanik Özellikleri [10].....	16
<b>Çizelge 5.3:</b> Silindirik deney numunesi boyutları [18] .....	19
<b>Çizelge 5.4:</b> Isıl işlem adetleri.....	20
<b>Çizelge 5.5:</b> 60 dk ısıtma işlem süreli, hava soğutmalı numuneler.....	22
<b>Çizelge 5.6:</b> 60 dk ısıtma işlem süreli, su soğutmalı numuneler .....	22
<b>Çizelge 5.7:</b> 30 dk ısıtma işlem süreli, hava soğutmalı numuneler.....	22
<b>Çizelge 5.8:</b> 30 dk ısıtma işlem süreli, su soğutmalı numuneler .....	22
<b>Çizelge 5.9 :</b> Isıl İşlem Fırınının Proses Grafiği .....	25
<b>Çizelge 6.1.</b> Isıl işlemsiz numunelere ait elde edilen veriler.....	40
<b>Çizelge 6.2.</b> 30 dakika hava soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler .....	40
<b>Çizelge 6.3.</b> 30 dakika su soğutmalı numunelere ait elde edilen mekanik veriler .....	40
<b>Çizelge 6.4.</b> 60 dakika hava soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler .....	41
<b>Çizelge 6.5.</b> 60 dakika su soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler .....	41
<b>Çizelge 6.6.</b> SEM görüntüleri alınan numuneler .....	41

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR

<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>mg</b>	Miligram
<b>mm</b>	Milimetre
<b>N</b>	Newton
<b>Pa</b>	Pascal
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope
°	Derece

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SICAK SU KAZANLARINDA KULLANILAN TRANSMİSYON MİLLERİNİN İYİLEŞTİRLMESİ

Ahmet Er Rufai YURTCU

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

88+ x sayfa

2020

Danışman: Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ

Kazanlarda mekanik verimin iyileştirilmesi konusunda, artan malzeme maliyetleri ve çevresel kaygılar yüzünden, her geçen gün mühendislere daha büyük görev düşmektedir. Isıl mukavemet hesaplamalarına göre oluşturulan kazan malzemelerinin et kalınlıkları, kullanılan transmisyon millerinin dizilimleri sonucu oluşturduğu mekanik dayanıma göre belirlenir. Bu yüzden millerin kendi mekanik özellikleri kesin olarak bilinmeli ve maksimum düzeyde ısıl mukavemeti sağlayıp minimum maliyeti oluşturacak şekilde tasarlanarak kazana yerleştirilmelidir.

Bu çalışma kapsamında kazanlarda kullanılan transmisyon millerinin mekanik özellikleri ısıl işlem uygulanarak iyileştirilmesi gözlemlenip, çekme deneyi vasıtasıyla belirlenecektir. Çıkan bu sonuçların kazan parçaları üzerine monte edilen millerin mukavemet hesaplamaları yapılarak daha güvenilir kazan tasarımı yapılacaktır.

Hazırlanan deney numuneleri üç grup altında toplayabiliriz. Isıl işlem uygulanmamış numuneler, Kısmi süre ısıl işlem uygulananlar ve uzun süre ısıl işlem uygulananlardır. 20 mm çaptaki numuneler 10,12 ve 14 mm çapa torna tezgâhında düşürülmüş ve her bir çaptan 3'er adet hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarındaki çekme deneyi cihazında testlere tabi tutulmuştur.

Bu numunelere ek olarak beş farklı açıda kesim yapıp, MIG ve TIG kaynak metoduyla birleştirme yapılarak çekme deneyini yapılmıştır. Y ekseninde 0,15,30,45 ve 60 açılarda kesilen numunelere yapılan üç farklı deney şu şekildedir. İlk olarak kesilen millere direk olarak kaynak yapılmıştır, millere ısıl işlem uygulandıktan sonra kaynak yapılmıştır ve millere kaynak yapıldıktan sonra ısıl işlem uygulanmıştır. Bu deney gruplarının çekme deneyi sonuçları gözlemlenmiştir.

Yapılan çekme deneyleri sonucunda malzemelerin çekme, akma ve kopma mukavemetleri, uzamaları bulunarak ısıl işlemin malzeme üzerine etkisi belirlenmiştir. Bu iyileştirmeler sonucunda kazan tasarımında kullanılan millerin güvenilirliği arttırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Kazan, Transmisyon Mili, Çekme Deneyi, Isıl İşlem

## ABSTRACT

Master Thesis

### IMPROVEMENT OF TRANSMISSION SHAFTS USED IN HOT WATER BOILERS

Ahmet Er Rufai YURTCU

Inonu University

Institute Of Science  
Department of Mechanical Engineering

88+ x pages

2020

Supervisor: Doç. Dr. İsmail Yasin SÜLÜ

In improving the mechanical efficiency of the boilers, due to the increasing material costs and environmental concerns, the engineers are taking on more and more duties. The wall thicknesses of the boiler materials formed according to the thermal strength calculations are determined according to the mechanical strength formed by the alignment of the transmission shafts used. Therefore, the mechanical properties of the shafts must be known precisely and designed to provide maximum thermal resistance and to create minimum cost.

Within the scope of this project, the mechanical properties of the transmission shafts used in boilers will be observed to be improved by heat treatment and determined by the tensile test.

More reliable boiler design will be made by making the strength calculations of the shafts mounted on the boiler parts of these results. The prepared test samples consist of three group, samples that have not been treated with heat treatment, partial time heat treatment applied, long term heat treatment applied.

Samples of 20 mm diameter were reduced to 10,12 and 14 mm diameter with lathe and 3 pieces of each diameter were prepared. Prepared samples were tested in the tensile tester in Inonu University Mechanical Engineering laboratory.

In addition to these samples, cutting was done at five different angles and assembled with metal inert gas welding and tungsten inert gas welding method and subjected to tensile testing. The three different experiments performed on the samples cut in the Y-axis at 0,15,30,45 and 60 angles are as follows. Firstly, welding was done directly to the shafts that were cut, Welding has been done after applying heat treatment to the shafts and heat treatment was applied to the shafts after welding. The tensile test results of these experimental groups were observed

As a result of tensile tests, tensile, yield and tensile strength and elongation of the materials were identified, the effect of heat treatment on the material was determined. As a result of these improvements, the reliability of the shafts used in boiler design has been increased.

**KEYWORDS:** Boiler, Transmission Shaft, Tensile Test, Heat Treatment

## 1. GİRİŞ

Dünya tarihine bakıldığında kazan vasıtasıyla ısınma çok eski dönemlere dayanmaktadır. M.Ö. 1. ve 2. Yüzyıllarda Efes Antik kentinde kullanıldığına rastlanmaktadır. Çanakkale Biga'daki arkeolojik kazılarda MÖ700'lü yıllarda Parion antik kentindeki bir villada kalorifer tesisatı olduğuna rastlanmıştır. Ağrı Doğubayazıt'taki İshak Paşa Sarayında da kalorifer kazanı ve merkezi ısıtma sistemiyle çevrildiğine şahit olunmaktadır. Buharlı ısıtma sistemlerine baktığımızda bu sistemin ilerletilmesiyle 1830'lu yıllara denk gelmektedir. 1863 yılında J.Hason ve R.Briggs, 1872'de ise Nelson H. Döküm radyatörler ve kalorifer tesisatları konusunda hatırı sayılır ilerlemeler kaydederek günümüze ışık tutmuşlardır. Bu gelişmeler o dönemlerde görülmüş olmasına rağmen 20. yüzyıla kadar pek kullanılmadığını görüyoruz. Bu dönemden sonra insan hayatındaki rahata ve konfora düşkünlük radyatörlerin ve kalorifer tesisat sisteminin gelişmesine neden oldu. Bütün bu sistemler endüstriyel devrimle beraber daha da ilerleme gösterdi. 21. yüzyılın başlarındaysa, radyatörün ve merkezi ısıtma sistemlerinin popüler olmaya başladığı, ilerlemelerin kaydedilmesinin gerektiği dönem haline geldi [1].

Teknolojik ilerlemeler tüm mühendislik sistemlerinde olduğu gibi kalorifer kazanlarında da önemli ölçüde gerçekleşmiştir. Özellikle son 30 yılda ülkemizde de yerli ve milli sermayelerle birçok firma kazan üretimi gerçekleştirmekte ve çağın ihtiyacına göre ürünlerini tasarlamaktadır. Bu firmaların her biri kendi bünyesinde Ar-Ge ve Ür-Ge birimleri oluşturmuş ve yeni tasarımlara yelkenlerini açmıştır.

Kazan tasarımı yapılırken biz mühendislerin dikkat etmesi gereken birçok parametre vardır. Bu parametreler; ihtiyaca göre kapasite belirleme, yakıt türüne göre kazan içyapısını oluşturma, kapasiteye göre külhan(ocak) ve zarf(gövde) çapı belirleme vs. gibi konulardır. Bunlardan önemli bir konu da kazan parçalarının ısıl mukavemet hesaplamalarıdır. Basınca maruz kalan tüm kazan parçalarının mukavemet hesaplamaları kazanın özellikleri bakımından Türk Standartları Enstitüsü'nün açıkladığı hangi standarda uygunsa, belirtilen standartta (TS EN 12953-3 gibi) yer alan formüllere göre yapılması gerekmektedir.

EN 12953'de yer alan kazan parçalarının tüm formülleri, bu parçaların belli bir dayanım noktasının oluşturulması gerektiğini söylemektedir. Parçalara koyulan her bir dayanım noktası kazana bir mukavemet sağlayacaktır. Bu noktaların üç tanesinden geçen bir çember formülde bayrak çapı olarak adlandırılmaktadır. Kazan tasarımının büyük ölçütlerinden biri olan, bayrak çapını oluşturan dayanım noktaları, bazen bir bulondan (Transmisyon Mili), bazen uzun sac levhadan, bazense özel tasarlanmış çelik malzemelerden oluşturulabilir.

Yapılan bu tez çalışmasında bayrak çapını oluşturan transmisyon millerinin iyileştirilmesi konusu üzerinedir. İyileştirilmenin gerçekleştirilmesinde ilk etapta üç farklı çapta miller hazırlanmıştır. Hazırlanan millere ısıl işlemler uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış millerle çekme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan çekme deneyi neticesinde millerde ısıl işlem uygulanan numunelerle diğerleri arasında mekanik iyileşmeler kıyaslanmıştır. Meydana gelen iyileştirmeler formüllerde ne derece katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca ısıl işlemin uygulanması ve soğuma türlerine göre de oluşan farklılıklar

kıyaslanmıştır. Çekme deneyi numuneleri oluşturulurken de TS EN ISO 6892-1 standardı referans alınmıştır.

Bu numunelere ek olarak yine standartlara uygun formda hazırlanan 14 mm numunelere beş farklı açıda kesim yapıp, MIG ve TIG kaynak yöntemleriyle birleştirme yapılarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Y ekseninde 0,15,30,45 ve 60 derecede kesilen numunelere yapılan üç farklı deneyi şu şekilde izah edecek olursak; ilk olarak kesilen miller herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmadan birleştirilmiştir. İkinci olarak ise millere ısıtma işlemi uygulandıktan sonra kaynak yapılmıştır ve son olarak da millere kaynak yapıldıktan sonra ısıtma işlemi uygulanmıştır. Oluşturulan bu numuneler için çekme deneyi yapılmış ve sonuçları grafiklerle detaylıca açıklanıp mukayese edilmiştir.





## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Sinan Köksal N, Uzkut M. ve Sadık Ünlü B. tarafından [2] farklı oranlarda karbon ihtiva eden çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıtma işlemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, farklı karbon oranlarına göre çelikler için su verme işleminden hemen sonra 100, 200, 400 ve 600°C sıcaklıklarda bulunan yapıya temperleme işlemi uygulanmıştır. Bunun neticesinde ise malzemedeki meydana gelen mekanik özelliklerin farklı durumları, değişimleri araştırılmıştır.

Uzkut M. ve Özdemir İ. [3] farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi üzerine bir araştırma yapmıştır. Isıtma hızlarındaki farklılıklara göre çeliklerin sahip oldukları mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır.

Çelik D. [4] SAE 4340 çeliğinde ısıtma işlem parametrelerinin yorulma ve mikro yapı üzerine etkisi çalışmasında, SAE 4340 ıslah çeliğinin yorulma ömrüne ısıtma işlemlerinin etkisi araştırılmıştır. Makine elemanlarının, yorulma sonucu uğradıkları hasar; yüzey sertleştirme yöntemleri ile yüzeyde sert bir tabaka oluşumu ile engellenebilir. Deneysel çalışmalar sonucunda, 300 °C sıcaklıkta temperleme işleminden sonra, yağda soğutulan numunelerin, havada soğutulan numunelere göre yorulma ömrünün daha yüksek ve %12 oranında bir artışın olduğu görülmüştür.

Çökelek M. [5] ıslah çeliklerinin ısıtma işlem parametrelerinin yorulma limitine etkisi araştırılmış, su verme sonrasında çekmenin ve akmanın durumuna göre yorulma numuneleri incelemeye tabi tutmuştur. Isıtma işlem parametrelerinin belirlenmesinde malzemenin yorulma ömrü etkili olmuştur ve bu yolla malzeme maliyetinde azalmaya gidilmiştir. Bu çalışmada malzemelerin yorulma ömrü açısından en uygun ısıtma işlem parametreleri belirlenerek malzeme israfını önlemek amaçlanmıştır.

Gülgen İ. [6] İş makinelerinin tırnakları üretiminde kullanılan az alaşımlı çeliklerin ısıtma işlemi çalışmasında iş makineleri tırnakları üretiminde kullanılan SAE/AISI 4340 çeliklerinin, yüksek sertleşebilmesi ve kazandıkları sertlikle beraber tokluklarında önemli bir düşüş olmaması irdelenmiştir. Döküm, dövme ya da herhangi bir üretim yöntemi ile imal edilen tırnaklar, gerekli mekanik özellikleri, ısıtma işlem vasıtasıyla kazanırlar. Kullanım yerindeki ömrü ise uygulanacak ısıtma işlem türüne göre belirlenir. Bu çalışmada SAE/AISI 4340 çeliği, aynı tipteki numunelere farklı ısıtma işlem şartları uygulanarak mekanik özelliklerdeki farklılıklar incelenmiştir.

Seçil E. [7] Çeliklerin ısıtma işlem altında gösterdiği yapısal değişikliklerin taramalı elektron mikroskopu (sem) ve mössbauer spektroskopisi incelenmesi” çalışmasında 1137 tipi çelikte gözlemlenen faz dönüşümlerindeki yapısal ve manyetik özelliklerini fiziksel yöntemler kullanarak incelenmiştir. Uygulanan ısıtma işlemler sonucunda iğne yapılı ve difüzyon alt bainite yapıya geçtiği gözlemlenmiştir.

Uygun, A. V. [8] P91 çeliği ile farklı metallerin kaynağı ve uygulanan ısıtma işlemlerinin mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması yapılmış, P91 çeliği ile (P1) karbon çeliği, P11 çeliği ve P22 çelikleri olarak seçilen farklı metallerin kaynaklarında ve ısıtma işlem farklı şartlardaki mekanik davranışları incelenmiştir. Bu malzemelerin özgün ısıtma işlem tutma sıcaklıklarında bırakılarak, P91-P22, P91-P11 ve P91-P1 malzeme çiftlerine kaynak

sonrası sırasıyla 760°C, 735°C ve 700°C sıcaklıklarda; 1 saat, 2 saat ve 3 saat tutulmuştur. Deney numuneleri standartlarda belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır. Çekme deneyleri neticesinde en yüksek çekme dayanımı; 760°C'de ısıl işlemi gerçekleştirilen ve 1 saat süreyle tutulan P91-P22 malzeme çiftinde görülmüştür. Numunelerde bükme sonrası hasar tolerans değeri olan 3,17 mm. aşılmamıştır; yalnızca 735°C'de ısıl işlemi gerçekleştirilen ve 1 saat süreyle tutulan P91-P11 malzeme çifti deney numunesinde 6,33 mm hasar gözlemlenmiştir. Ortalama sertlik değerleri içerisindeki en yüksek sertlik değeri P91-P22 malzeme çiftinde ölçülmüştür. Test numunelerinden elde edilen ortalama sertlik ve çekme dayanımlarına, bükme davranışlarına bakıldığında optimum ısıl işlem tutma süresinin, her malzeme çifti için 2 saat olduğu görülmüştür. Optimum ısıl işlem şartında ısıl işlem görmüş malzeme çiftlerine ait deney numunelerinin kaynak, kaynak-HAZ ve ana malzeme kısımlarının mikro yapıları ayrıca incelenmiştir.



### 3. GENEL BİLGİLER

#### 3.1.Sıcak Su Kazan Tanımı

Yüzeylerinin bir tarafı ısı alan içerisinde su bulunan diğer tarafında ısı veren bir yakıtın kullanılması neticesinde oluşan alev ve duman gazlarının dolaştığı, boruları ve yanma hücresi bulunan kapalı sistemle çalışan atmosfer basıncına doymuş ve buhar sıcaklığı olan 100°C'nin altında sıcak su üreten basınçlı haznelere, sıcak su kazanı denilir [9]. Isıtılan sıcak su tesisatta bulunan sirkülasyon pompası vasıtasıyla radyatörlere ulaştırılır ve burada ısınıp bıraktıktan sonra tekrar kazan içerisine gönderilir. Tesisattan dönen soğuk su kazana girer ve ısıyı yükseltip tekrar sisteme gönderilir. Bu işlem döngüsel bir şekilde gerçekleştirilir.

Kazanlarda yakıt olarak doğalgaz, motorin, LPG, fueloil veya bazı katı yakıtlar (odun, kömür, talaş, pirina vs.) kullanılabilir. Isınma ihtiyacının bulunduğu bölgeye göre bu yakıt türleri de değişmektedir. Müşterilerin dünya genelindeki yakıt kullanım farklılıkları kazan tasarımında da değişikliklere sebep olmaktadır. Kullanılacak her bir yakıt türüne göre farklı tasarımlar yapmak gerekmektedir. Bu yakıtların alt ısı değerine göre kapasite ihtiyacını karşılayacak şekilde ocak mesafesi bırakmak gerekecektir. Tasarımcı bu kriterlerin her birini dikkate alarak optimum düzeyde tasarımını gerçekleştirmek zorundadır.

#### 3.2.Kazan Temel Parçaları

##### 3.2.1. Külhan (Ocak)

Sıcak su kazanlarındaki en önemli yapılardan biridir. Yanmanın gerçekleştiği bölüm olarak tanımlanır. Kazanın yakıt türüne göre külhanın yapısı değişebilir. Genel olarak silindirik halde olan külhan bazı katı yakıtlı kat kaloriferlerinde yarı silindirik formda da tasarlanabilir. Kazanın ısı kapasitesine göre, en az bir saatlik yakıtı karşılayabilecek şekilde külhan hacmi oluşturulmalıdır.

##### 3.2.2. Aynalar

Kazanda tüm ana parçaların bağlı olduğu temel yapılardan biridir. Külhan, zarf, duman boruları, kapaklar gibi parçaların bağlantıları ayna üzerine yapılır. Alevle ve tesisat suyuyla teması bulunduğu için kazanın ısıtma yüzey alanını oluşturan bir parçadır. Isıl mukavemetini sağlamak amacıyla ayna üzerinde transmisyon milleri vasıtasıyla dayanım noktaları oluşturulur. Seçilen bayrak çapına göre bu çapı geçmeyecek şekilde dayanım noktaları dizilir.

##### 3.2.3. Alev-Duman Boruları

Kazanda ocak ve gövde arasında bulunan, ısıtma yüzey alanının en büyük kısmını oluşturan yapıdır. Kazan için seçilen borular sıradan tesisat borusu değil, standarttaki EN 10217-2'de geçen P235GH kalite kazan borusu olmalıdır. Bunun yerine talebe binaen ve maliyetli EN 10216-2 çelik çekme kazan borusu da kullanılabilir.

### 3.2.4. Zarf (Gövde)

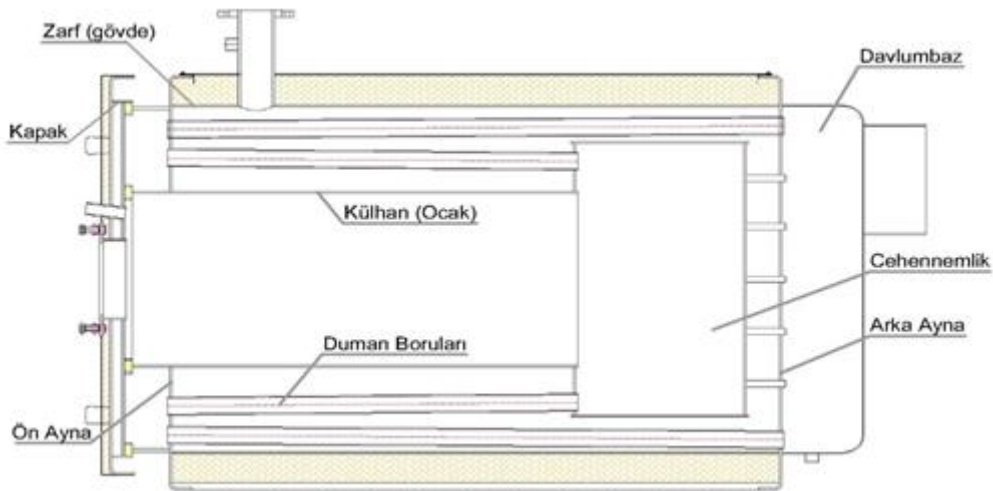
Aynalar arasında bulunan, külhan ve duman borularını çepeçevre sarıp tesisat suyunu kazanda tutan yapıdır. Tesisattaki akışkan olan su külhan ile zarf arasındaki tüm alanda bulunur. Gövde üzerinde iki adet tesisat giriş çıkış için borulu flanşlı bir yapı bulunur. Tesisat dönüş suyu bazen ayna üzerinden de gövdeye aktarılabilir. Emniyet ventili, basınç göstergesi, hava alma gibi çıkışlar zarf üzerine monte edilir. Külhanın yapısına göre silindirik veya yarı silindirik olabilir.

### 3.2.5. Kapak

Bazen su sirkülasyonlu, bazense beton kaplı olarak tasarlanan kazan kapakları ön ayna üzerine monte edilen bir yapıdır. Katı yakıtlı kazanlarda yakıt yüklemenin yapıldığı, kazan bakımı sırasında temizlik için açılıp gerekli işlemlerin yapıldığı olmazsa olmaz kazan elemanıdır. Sıvı ve gaz yakıtlı kazanlar için brülör kapak üzerine monte edilir. Katı yakıtlılarda ise yükleme ve kül alma işlemi kapak vasıtasıyla gerçekleştirilir. Kazan kapağının en büyük görevi dumanın diğer geçişlere aktarılmasıdır. Su sirkülasyonlu kapaklarda basınca direnç oluşturmak adına dayanım noktaları konulur. Kapak et kalınlığı hesabı yine belirlenen bayrak çapına göre yapılır.

### 3.2.6. Davlumbaz

Dumanın kazanda son olarak bulunduğu yapıdır. Tüm yüzeyleri dolanan duman ısısının aktarabildiğini aktarıp burada toplanarak bacadan sevk edilir. Kazan üzerinde arka aynaya montajı yapılır. Üzerinde silindirik veya kare yapıda baca bağlantı çıkışı bulunur. Bu yapı alanı kazan kapasitesine göre hesaplanır.



Şekil 3.1: Gaz Yakıtlı Kazan Enine Kesiti

## 3.3.Çeliğin Tanımı

Fe ve C alaşımından meydana gelen elik, C ile beraber farklı yapıda alaşım ve elementleri barındırmaktadır. Çeliğin diğer maddelerden farklı ynu kimyasal bileşimiyle beraber çeliğin kendi iyapısıdır. Çeliğin içyapısına farklı veya istenilen oranlarda alaşım elementleri eklenebilir, üzerine uygulanan işlemlerle değişik özellikte bir yapı elde edilebilir.[10].

Çelikleri zellikleri dolayısıyla tasnif etmek/tanımlamak mümkündür. Çelikleri alaşımlı ve alaşımsız olarak ikiye ayırabiliriz. Alaşımsız olan çelikler; karbon, demir ve mangandan oluşur. Bunlara ek silisyum, fosfor ve kükürt gibi elementlerde her ne kadar yer alsalarda çeliğin esas olan yapısını oluşurmazlar. Alaşımlı elikler ise karbon ve manganın haricinde, çeliğin talep edilen özelliklerine katkıda bulunacak şekilde nikel, krom, vanadyum, molibden ve wolfram vs. elementleri bulundurur [10].

Çeliklerin temel özelliklerine bakıldığında;

- Çelikler ısıl işleme duyarlıdırlar. Çeliğin mekanik özelliğinin iyileştirilmesi veya istenilen özelliklerin katılması (sertleştirme, yumuşatma, korozyon direncini arttırma vs.) .
- Çeliklerin şekillendirilmek istenildiğinde de ısıl işlem uygulanabilir (haddeme, presleme, dövme gibi özellikler katılır).
- Kimyasal yapısı ve içyapısı uygun olan çelikler için haddeme, presleme gibi işlemler uygulanarak soğuk olarak da işlenebilir.
- eliklere torna tezgahında uygulanan işlemlerle şekilsel ve yüzeysel iyileştirilmeler yapılabilir .
- Kimyasal yapı olarak kaynak işlemine de uygun özelliktedirler .
- Çeliklerin sahip olduğu özelliklere binaen değişik yöntemler vasıtasıyla metal kaplanma, emaye uygulama, boyanma ve plastikler ile kaplanmaya yatkın hale gelir [10].

### 3.4.Transmisyon elikleri

Genel yapı çeliklerinin yaklaşık 25° C de farklı kalıplardan geirilmeyle elde edilen çeliklere soğuk çekme veya transmisyon çeliği denilir. Bu işlemlerdeki gaye akma ve çekme mukavemetini arttırmaktır. Sıcak haddelenen sac inceltirilip mekanik özellikleri iyileştirilerek, oda sıcaklığında haddeme uygulanmaktadır. Bu işlemi gören çelikler ise soğuk haddelenmiş çeliklerdir [10].

St37-2, St44-2, SAE 1008, SAE 1010, vb. kalitedeki malzemeler transmisyon çeliği grubuna dahil edilebilir. Bu malzemelerin soğuk ekilenleri ticari isim olarak “transmisyon çeliği” diye adlandırılır. Bu elikler düşük oranda karbon bileşimi sayesinde yüksek kaynak kabiliyetindedir. Bu anlamda kullanımını kolaylaştığından tercih edilmektedir. Bununla beraber, talaş kırılmasında otomat çeliği seviyesinde performans göstermediğinden işlem süresi uzamaktadır. Tercih edilme sebebi genellikle otomat çeliğine kıyasla ekonomik olmasıdır [10].

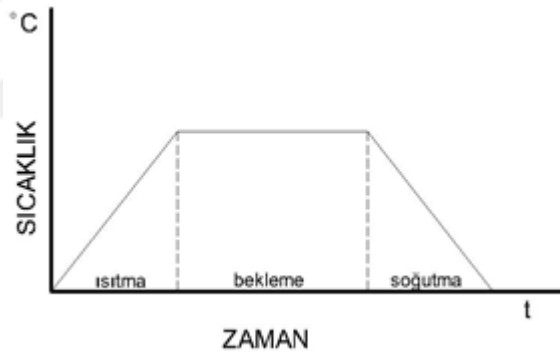
Kazan parçası olarak da kullanılan bu çelikler yüksek kaynak kabiliyetine sahip olması, yüksek dayanım göstermesi vb. zelliklerinden dolayı tercih sebebidir. Kazanlarda tercih edilen St-37 eliği olan S235JR kalitedeki mile ısıl işlem vasıtasıyla mekanik özelliklerinde iyileştirmeye gideceğiz.

#### 4. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMLERİ

Gelişen teknolojiyle beraber birçok alanda kullanılan çeliklerin ısı işlemleri de ayrı bir önem kazanmıştır. Malzemeye eğer artı bir özellik kazandırılmak isteniyorsa bu konuda kullanılan en önemli yöntemlerden biri ısı işlemdir. Isıl işlemle çeliğe en mükemmel özellikler katılabilir. Bu bağlamda malzemenin mekanik özellikleri imalat esnası durumları için ve daha sonrası için bazı yollarla değiştirilebilir.

Isıl işlem; malzeme veya iç yapısını değiştirmek, malzemeye değişik özellikler katmak dahilinde belirlenen sıcaklık-zaman diliminde uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerinin bütünüdür [11]. Yani belli özellikler elde etmek amacıyla malzemenin katılma noktası altında uygulanan ısıtma ve soğutma işlemidir. Bir diğer ifadeyle ısı işlem; katı halde bulunan alaşımlara veya metallere iyi özellikler katmak için bir veya birkaç kere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemidir. Bu işlemler sırasında, ortamın etkisiyle çeliğin kimyasal bileşimi değişir [12].

Isıl işlem aşamaları üç temel gruptan meydana gelmektedir. Bunlar ısıtma, bekletme ve soğutma aşamalarıdır [11]. Bu üç yöntem tüm ısı işlem safhalarında geçerlidir. Fakat bu işlemlerin zamanlaması ise uygulanan ısı işlemin türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Isıl çevrim; ısıtma, bu sıcaklıkta bekletme ve son olarak soğutma safhalarından meydana gelir. Bekletme süresi yaklaşık olarak 1 saat/inch'dir [13].



Şekil 4.1: Sıcaklık-Zaman Grafiği [13]

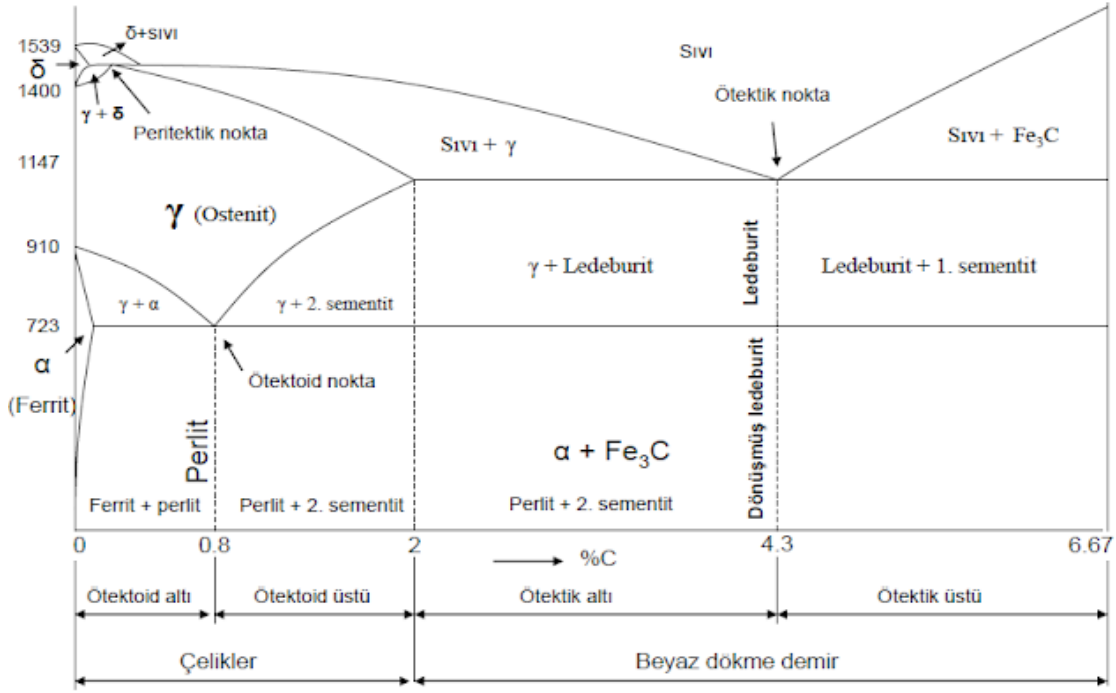
Çeliklerdeki ısı işleme ostenitleştirmeye başlanılır. Ostenitleştirme şöyle gerçekleşmektedir; çeliğin alt seviyedeki sıcaklık eğrisinin üzerindeki bir sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılarak yapısının da ostenite dönüşmesidir

1-Ötektoid altı çelikler genellikle (%C < 0,8)

2-Ötektoid üstü çelikler ise (%C > 0,8)

Çelikler üzerinde gerçekleştirilen temel ısı işlemler ostenit fazının dönüşümüyle ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel özellikleriyle beraber mekanik özelliklerine de tesir etmektedir. Başka bir deyişle çeliğin fiziksel ve mekanik yapısı, içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısı özelliklerine direkt bağlıdır.

Çeliklerin ısı işlemlerini anlayıp değerlendirmek için Demir-Karbon denge diyagramının bilinmesi gerekmektedir (Şekil 3).



Şekil 4.3: Demir Karbon Denge Diyagramı [11]

Demir-Karbon diyagramındaki % 2'lik oranda C bileşimine kadar olan bölüm çelik kısmıdır. Belli bir karbon bileşimine sahip çelikte elde edilmesi istenen 13 yapı, farklı ısıl işlemler için çeliği Demir- Karbon diyagramının çelik kısmındaki değişik sıcaklık bölgelerine çıkarmak ve bir süre bu şekilde bekletmek ve uygun ortamda soğutmak suretiyle meydana getirilir [14].

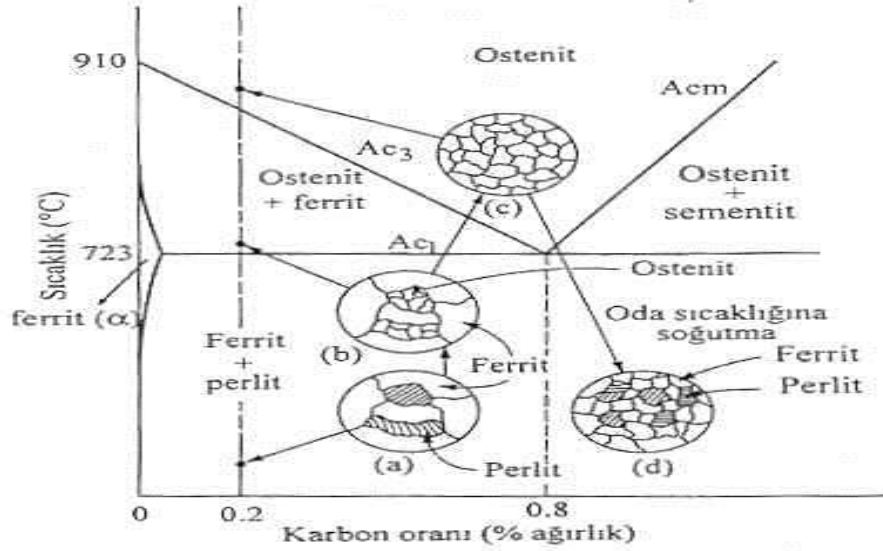
Çeliğe uygulanan ısıl işlemin başlıca amaçları şunlardır [14];

- İçyapısında oluşan gerginliklerin giderilmesi
- Torna tezgahında uygulanan talaş kaldırma işleminin kolaylaşması
- Meydana gelen yapı bozukluklarını ve gerginlikleri ortadan kaldırma
- Sertliğini ve direnci artırma
- Sert yapıda olan malzemeyi yumuşatma
- Kimyasal yapıdaki maddelerin olumsuz özelliklerine ve diğer farklı etkenlere olan karşı direnci ve dayanıklılığı artırma
- Ani olarak uygulanan darbe ve mekanik titreşimlere karşı direnci yüksek tutma
- Elektriksel olarak iletimi artırma ve manyetik özellikleri yüksek tutma
- Kimyasal alaşımı değiştirme
- Malzemenin korozyona karşı ve ısıya karşı olan direncini artırma
- İçyapısındaki kristal kafes geometrisini değiştirme

## 4.1. Çeliğe Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri

### 4.1.1. Yumuşatma tavlaması

Yumuşatma tavlama; sertliği azaltmak, talaş kaldırmayı kolaylaştırmak ve döküm ve dövme parçalarındaki gerilmeleri ortadan kaldırmak amacıyla ötektoid altı çelikleri  $Ac_3$ , ötektoid üstü çelikleri de  $Ac_1$  çizelgeleri üzerindeki belirli sıcaklıklara kadar ısıtıp, içyapılarını ostenite döndürdükten hemen sonra fırın içerisinde tutarak soğutulmasıdır. Yumuşatma tavlama işleminin amacı, karbon oranının düşük olduğu çeliklerde (%0,4 C oranından küçük) soğuk şekillendirmenin, yüksek karbon içeren çeliklerdeyse (%0,4 C oranından büyük) talaşlı imalat yöntemini kolaylaştırmaktır [15].



Şekil 4.3 : %0,2 C içeren çeliğin iç yapısında tavlama işlemi sırasında meydana gelen değişimlerin bir şematik gösterimi[16]

### 4.1.2. Normalizasyon tavlaması

Genelde manasıyla içerisindeki tane yapısını küçültmek, homojen manada bir içyapı elde edip ve yüksek oranda mekanik özellikleri sağlamlaştırmak amacıyla ötektoid altı çelikleri  $Ac_3$  çizgisinde ve ötektoid üstü çelikleri ise  $Ac_m$  dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 30-50 °C ve üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, kalınlığa göre otuz dakika ile bir buçuk saat tutulur ve tavlandıktan sonra fırının dış ortamında kendi halinde sakin havada soğutulmasına normalizasyon tavlama denilir [15].

Normalizasyon tavlama işleminin yapılmasının belirli amaçları;

- Malzeme içerisindeki tane yapısını küçültmek,
- Homojen manada bir iç yapı elde etmek,
- Ötektoid üstü çelikler için tane sınırlarındaki oluşan karbür ağını dağıtmak,
- Çeliklere ait işleme özelliklerini sağlamlaştırmak,



e) Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla yumuşatma tavına tabi tutulan çeliklerin mukavemetlerini artırmak olarak da ifade edilebilir. Bundan dolayı normalizasyon tavlama, çeliklere uygulanan en son ısı işlem olmalıdır [15].

Ferrit yumuşak ve sementit çok sert fazdır. Normalize edilmiş çeliğin yapısında bulunan sementit katmanlarının yakın veya sık olarak dizilmeleri dolayısıyla çeliğin sertliğini artırır. Bundan dolayı, normalize edilmiş çeliğin mukavemeti, yumuşatma tavına tabi tutulanlara göre diğer çeliklerin değerlerinden yüksek olur [15].

Yumuşatma tavına tutulan ötektoid üstü çeliklerin, ve onların yapısında oluşan sementit ağının, çeliklerin mukavemetini düşürdüğü görülmektedir. Normalizasyon tavlama, ötektoid üstü çeliklerdeki sementit ağının parçalanmasını giderilmesini sağlar. Bu nedenle, normalize edilen çeliklerin direncinde artış görülmektedir [15].

Normalizasyon tavlama, parçanın havada soğutulması dolayısıyla yüksek soğuma hızı elde edilmektedir. Soğuma hızı arttıkça ostenitin dönüşüm sıcaklığı düşer ve bunun sonucunda ince perlit elde edilir [15].

**Çizelge 4.1: C oranına göre bazı çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulan ve normalize edilen durumlardaki mekanik özellikleri [16]**

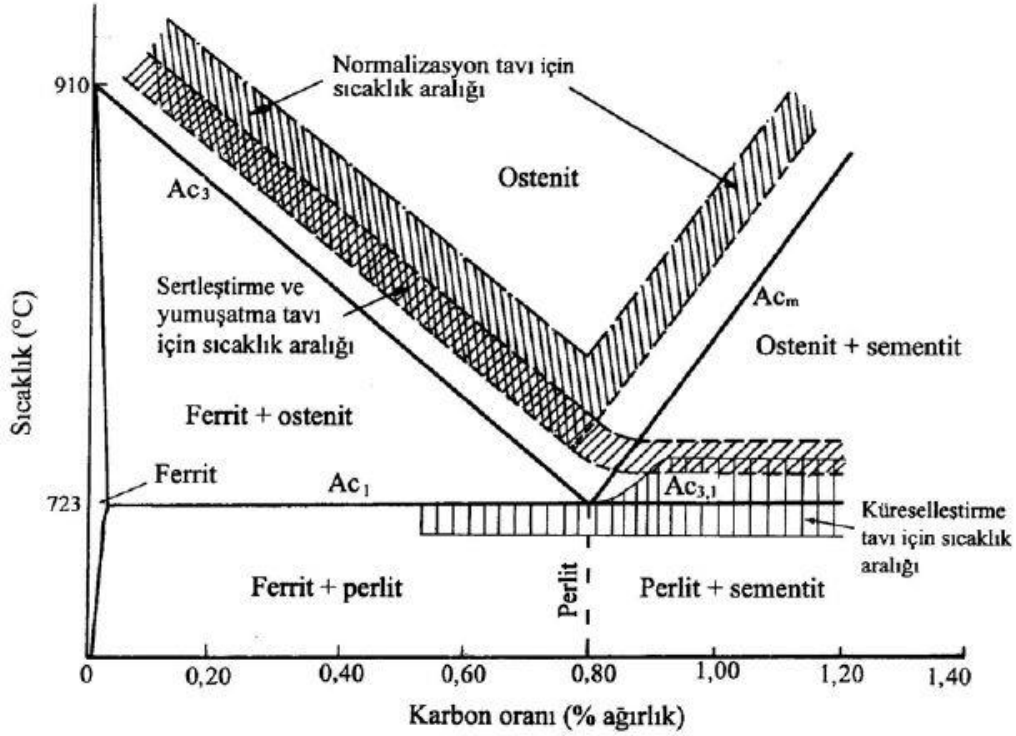
İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma Tavlama	0.01	124	283	47	90
	0.20	148	407	37	115
	0.40	303	517	30	145
	0.60	338	667	23	190
	0.80	359	793	15	220
	1.00	359	745	22	195
	1.20	352	703	24	200
	1.40	345	683	19	215
Normalizasyon Tavlama	0.01	179	310	45	90
	0.20	310	441	35	120
	0.40	352	586	27	165
	0.60	414	752	19	220
	0.80	483	924	13	260
	1.00	690	1048	7	295
	1.20	690	1055	3	315
	1.40	662	1021	1	300

#### 4.1.3. Küreselleştirme tavlama

Küreselleştirme tavlama, çelikleri Ac<sub>1</sub> sıcaklığındaki çizgisi etrafında bir süre tuttukten sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel bir şekil haline dönüştürülmesi işlemlerinden oluşur. Ostenitleştirme işleminden sonra kontrollü soğutma işlemi gerçekleştirilebilir. Yumuşatma tavlama işleminde, sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması dolayısıyla işleme pek

uygun halde değildir. Bu tür çelikler için işlenmeyi kolaylaştırmak ve ayrıca sünekliğini de artırmak için küreselleştirme tavlaması yapılır [16].

Yüksek sıcaklıktaki tavlama işlemi sonucunda çeliğin içerisindeki perlitik yapı ile sementit ağı parçalanarak dağılmaya neden olur. Küreselleştirme tavlaması neticesinde, ferritik bir matris ile bunun içerisinde dağılmış durumda bulunan küre biçimindeki karbürlerden meydana gelen içyapı elde edilir. Küreselleştirme tavlaması neticesinde çeliğin sertliğinde azalma, sünekliğinde ise artma meydana gelmiş olur. Bu işlemin gerçekleşmesi sonucunda, ötektoid üstündeki çelikler için kullanıma uygun hale gelmiş diyebiliriz [16].



**Şekil 4.4:** Alaşımsız çelikler için yumuşatma, normalizasyon, küreselleştirme ve sertleştirme işlemlerinde tavlama sıcaklık aralıkları [17]

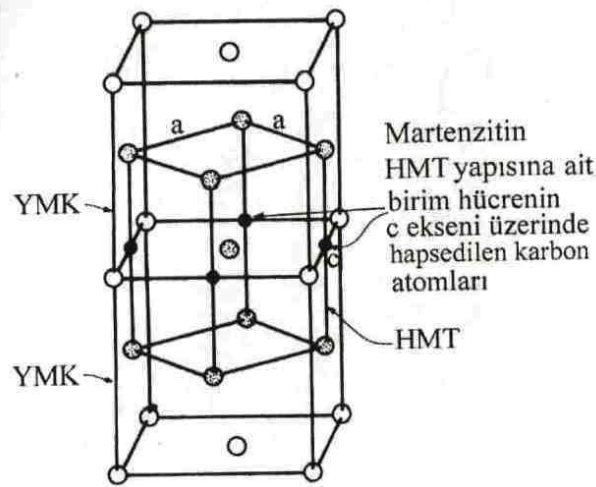
#### 4.1.4. Gerilim giderme tavlaması

Çelik parçaların imalatı esnasında oluşan çeşitli gerilimleri azaltmak amaçlı ferritik fazda yapılan bir işlem olup uygulama dereceleri 500-680°C arasındadır. Çelik bu işlem esnasında yaklaşık 0,5-1 saat tutulur. Kaynak, dövme, soğuk şekillendirme, yoğun talaş kaldırılmış parçalarda oluşan gerilimler homojen ısıtım ve homojen soğutma ile minimuma indirilir [15].

Sertleştirme işlemine tabi tutulacak parçalarda nihai ölçülere gelmeden yapılan gerilim giderme tavlaması, sertleştirme operasyonunda oluşacak deformasyonları ve çatlama risklerini minimuma indirir. Kaynak yapılmış, döküm ile üretilmiş parçalar için gerilim giderme operasyonu ölçüsel stabilite açısından ilk önemli adımdır [15].

#### 4.1.5. Su verme sertleştirmesi

Çelikler tavlama işleminin icra edilmesiyle, yavaş olarak veya orta seviyede soğutulduğunda, ostenit içerisindeki çözünmüş yapıda yer alan karbonlar difüzyon gerçekleşmesiyle ostenit yapıdan ayrışır. Eğer ki soğuma hızı arttırıldığındaysa, içerisindeki karbonlar difüzyon vasıtası ile katı çözeltiden ayrılmaya zaman bulamazlar. Bu yapıdaki demir atomları karbon atomlarının çözelti içerisinde hapsedilmeleri nedeniyle farklı bir yapıyı oluştururlar. Hızlı soğumanın gerçekleşmesi sonucunda oluşan bu şekle “martenzit” adı verilir. Martenzit karbonla aşırı doyrulmuş yapıdaki hacim merkezli tetragonal (HMT) geometrisine sahip katı çözeltidir [16].



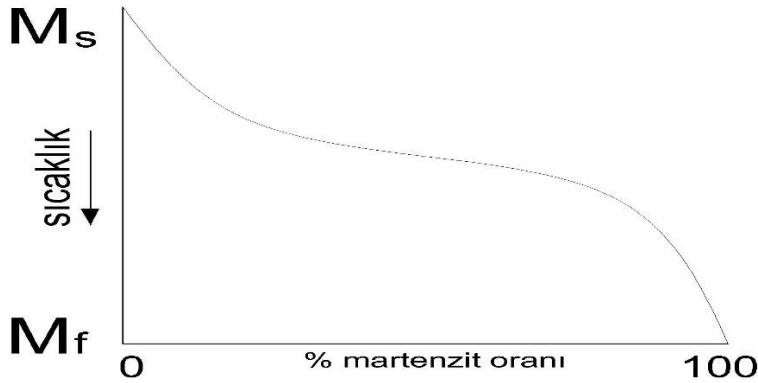
**Şekil 4.5:** Martenzitik dönüşüm sırasında ostenitin YMK yapıli birim hücrelerinden martenzitin HMK yapıli birim hücrenin oluşumu [16].

Malzemeye su verme işleminin gerçekleşmesinin ardından oluşan martenzit mikroskopta bakıldığında dikensi bir yapıda olduğu gözlemlenir ve bazen saman demetini andıran yapıdaymış gibi bir izlenim sergiler. Çeliklerin sahip olduğu bu martenzitik yapı belirsiz bir halde ve soluktur. Bu sebepten ötürü kolay kolay ayırt edilemezler. Çeliklerin yüksek karbonlu yapılarında da kalıntı ostenit martenzitin iğneye veya dikenimsi biçimindeki yapısı belirgin bir görünüm oluştururlar [16].

Martenzitik dönüşümün gerçekleşmesi sadece soğuma esnasında oluşur. Zamandan bağımsız olan bu dönüşüm sıcaklığın azaltılmasıyla meydana gelir. Martenzitik yapının sahip olduğu en önemli özelliği, aşırı miktarda sert faz olmasıdır. Çeliklerde, sementitten sonra en sert faz, martenzittir. Yüksek sertliklerinin oluşturduğu bu değerleri, yalnızca yeterli bir oranda ki karbon alaşımlı çeliklerde elde edilir [16].

Martenzit çok yüksek bir sertliğe sahiptir. Martenzitin sertliğindeki sahip olunan bu değer, kafes yapısında oluşan distorsiyon ve çarpıtılmış olmasıdır. Martenzitin atomsal dolgu faktörünün ostenitin atomsal faktöründen düşük olması martenzitik dönüşüm sırasında çelikte bir miktar hacimsel büyümeye neden olur. İfade edilen hacimsel büyüme matris yapısını plastik deformasyona uğratabilecek gerilmeler oluşturur. Yani martenzitin oluşumu esnasında ortaya çıkan hacim olarak gerçekleşen büyüme yüksek seviyede gerilmeler oluşturup çeliklerin matris yapısındaki fazla miktarda çarpılmasına veya deformasyon bölgesindeki plastik şekil değişimine sebep olurlar. Su verilen çeliklerin

sertlik ve mukavemetini arttırabilmesi için kafes yapısının çapılmasıyla dislokasyon hareketinin gerçekleşmesi gerekir [16].



Şekil 4.6 : Martenzit yüzde oranının sıcaklığa göre değişimini gösteren eğri [16]

$M_s$ : Martenzitik dönüşümün başlangıç sıcaklığı

$M_f$ : Martenzitik dönüşümün bitiş sıcaklığı

Martenzit dönüşümünün özellikleri;

- Martenzitik dönüşümün difüzyonsuz bir şekilde olması, dönüşüm sırasındaki malzemenin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişim meydana gelmemesine neden olur. Ostenit fazının bu dönüşümü ikili kayma mekanizmasının gerçekleşmesiyle aniden kafes yapısını değiştirir.
- Martenzitik dönüşüm sadece soğuma esnasında meydana gelir. Bundan dolayı dönüşüm zamanlamayla ilgili olmayıp yalnızca sıcaklığın azalmasıyla ilgilidir. Bu tür dönüşüme atermal dönüşüm denir. Dönüşüm sırasında oluşan martenzitin oranı, azalan sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmez. Dönüşümün başlangıç aşamasında az miktarda martenzit oluşur, sonradan martenzit oranı hızlı bir şekilde artar ve dönüşümün sonuna doğru bu oran tekrar azalır.
- Soğuma hızını değiştirmekle bir alaşımın  $M_s$  sıcaklığı değiştirilemediği gibi martenzitik dönüşümde engellenemez. Martenzitik dönüşüme ait sıcaklık aralığı alaşımın bir karaktéristiği olup, soğuma hızının artırılması ile değiştirilemez.  $M_s$  sıcaklığı yalnız alaşımın kimyasal bileşime bağlıdır. Çeliklerin  $M_s$  sıcaklığını belirlemek için bazı bağıntılar geliştirilmiştir. Bütün alaşım elementlerinin ostenit içerisinde çözünmeleri anında;

$$M_s (^{\circ}C) = 561 - (474x\%C) - (33x\%Mn) - (17x\%Ni) - (17x\%Cr) - (21x\%Mo)$$

Yüksek-orta alaşımlı çeliklerdeyse;

$$M_s (^{\circ}C) = 550 - (350x\%C) - (40x\%Mn) - (20x\%Cr) - (17x\%Ni) - (8x\%W) - (10x\%Mo) - (35x\%V)$$

- Martenzit her ne kadar oda sıcaklığında veya buna yakın sıcaklıklarda ölçülemeyecek kadar uzun bir süre dönüşüme uğramadan kalabilirse de gerçekten kararlı bir faz değildir. Martenzit, kararsız ostenit ile ferrit ve sementit karışımından oluşan kararlı yapı arasında yer alan geçiş fazı olarak kabul edilir.

- Martenzitin özelliği sert bir faz olmasıdır. Çünkü eliklerde sementitten sonra ki en sert faz martenzittir. Yüksek sertlik oranıyla ancak yeterli karbon içeren çeliklerden elde edilir. Yani su verme işleminden sonra elde edilen sertlik değeri çeliğin karbon oranına bağlıdır [16].

#### 4.1.6. Yeniden kristalleştirme tavlaması

Yeniden kristalleştirme tavlaması çeliklere ve soğuk işlem görmüş metallere uygulanır. Bu tavlama metalde faz değişikliğine gitmeden yeni tanelerin çekirdeklenmesiyle beraber büyümesi sağlanır. Soğuk çekilmeye tabi tutulmuş parçalarda oluşan ağır plastik deformasyon sonucu meydana gelen hasarları düzeltmek için uygulanan bir ısıl işlemdir. Tavlama işlemi, sertleştirilmiş veya soğuk işlem görmüş çeliklerde, yeni ferrit tanecikleri oluşturmak için yapıyı yeniden kristalleştirdiğinde etkili olur [15].

Soğuk haddelenmiş yalın karbonlu çelikler, ilk aşamada kısmen ya da tamamen yeniden kristalleşmiş mikroyapı kazanmaları (i gerilimler alınır) sağlanır ve sonuç olarak yeniden kristalleşme (mukavemet azalır ve süneklilik artar) elde edilir [15].

Oluşan tane büyüklüğü önceden yapılmış soğuk şekillendirme oranına bağlıdır. Bu oran büyükse ince tane, az ise iri taneler oluşur. Yeni tanenin büyüklüğünde tav sıcaklığı da önem arzeder. Bu tavlama çeliklerde genellikle 650-750 °C arasında 1-1.5 saat süreyle tutularak yapılır [15].

## 5. DENEY NUMUNESİ VE HAZIRLANMASI

### 5.1. Numune Tipi ve Özellikleri

Deney numunesi olarak, tez konumda da belirttiğim transmisyon milleri hazırlanmıştır. Bu miller St37 çeliği olan DIN normunda eski adıyla RSt 37-2 olarak belirtilen, yeni isimlendirmede ise S235JRG2 olarak tanımlanan soğuk çekilmiş genel yapı çeliğidir. Hascometal'den temin edilen transmisyon millerinin tamamı 20 mm çaptadır. Torna tezgahında bu miller 10,12 ve 14 mm çapa düşürülerek ISO standardında belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır.

Deney numunemizin tedarikçisi olan Hasçelik'den alınan kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir.

**Çizelge 5.1:** Milin kimyasal özellikleri [10]

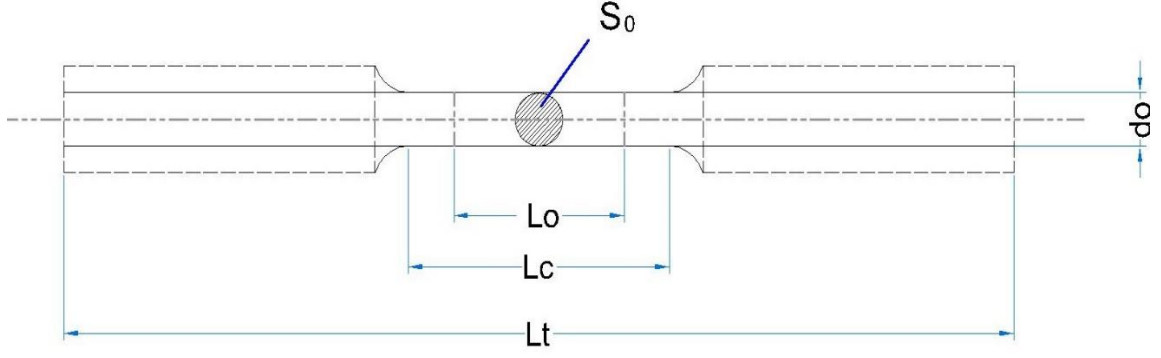
Pota Analizi	Max
C	0,17
Mn	1,4
P	0,045
S	0,045
N	0,009
Al	-

**Çizelge 5.2:** Milin Mekanik Özellikleri [10]

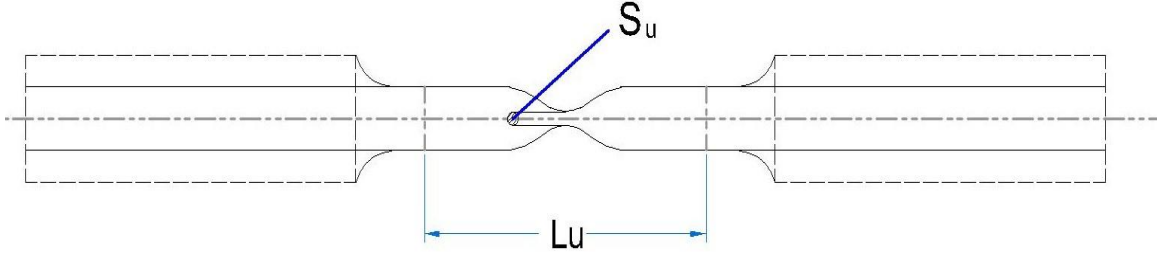
Malzeme No	DIN (Eski)	DIN (Yeni)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (>Mpa)	Kopma Uzaması (>%)
1.0038	RSt 37-2	S235JRG2	510	235	26

### 5.2. Deney Numunesinin Tanımlanması

Deney numunesi olarak belirlediğimiz 20 mm çaptaki milimiz TS EN ISO 6892-1 standardında belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır. Standartta belirtilen numune ölçü formülleri mile işlenmiştir.



Şekil 5.1: Deney Numunesi (önce) [18]



Şekil 5.2: Deney Numunesi (sonra) [18]

Açıklamalar;

$d_0$ : Yuvarlak kesitli deney parçasının ilk gövde çapı

$L_c$ : Gövde uzunluğudur

$L_0$ : İlk ölçü uzunluğudur

$L_t$ : Deney parçasının toplam uzunluğudur

$L_u$ : Kopmadan sonraki ölçü uzunluğudur

$S_0$ : Gövdenin kesit alanı gösterir

$S_u$ : Kopmadan sonraki en küçük kesit alanı gösterir [18].

### 5.3. Deney Numunelerinin Ölçülendirilmesi

Numunelerimizin ölçülendirilmesinde TS EN ISO 6892'deki formüllerden yararlanılmıştır. Bu standarda göre numune ölçülendirilmesi şu şekilde tarif edilmiştir;

“Genel olarak, bir deney parçası işlenmelidir. Bunun ardından gövde, deney cihazının kavrama çenelerine kavrama uçlarına bir kavisle bağlanmalı ve kavrama uçlarıyla bağlantılı gövde arasındaki geçiş kısmı orantısının azami yarıçapı aşağıdaki gibi olmalıdır.

- a) 0,75 do, do gövde çapı;
- b) Diğer deney numuneleri için ise 12 mm [18].

Farklı durumlar için gerektiğinde, profiller, çubuklar, vb. işlenmeden de kullanılabilir. Deney parçasının kopacak olan kesiti daire, kare, dikdörtgen veya özel durumlarda başka bir şekilde de olabilir. Dikdörtgen kesitli deney parçalarında, genişliğin kalınlığa oranı 8:1'i geçmemelidir.

İşlenmiş haldeki silindirik deney parçasının gövde çapı 3 mm'den küçük olmamalıdır [18].

İşlenen parçalar için;

Gövde uzunluğu, Lc minimum;

a) Silindirik deney parçaları için  $L_o + (d_o/2)$ ;

b) Diğer deney parçaları için  $L_o + \sqrt{S_o}$

Anlaşmazlık durumunda, yeterli malzeme varsa, deney parçasının tipine bağlı olarak,  $L_o+2d_o$  veya  $L_o+2\sqrt{S_o}$  uzunluğu kullanılmalıdır.

$L_o=k \times \sqrt{S_o}$  (1)  $k = 5,65$ 'e eşittir.

Toplam uzunluk:  $L_t > L_c + 2d$  veya  $4d$  den küçük olmamalıdır.” [18]

Bu bağlamda yukarıda verilen formüllere göre;

$d_o = 10$  mm için;

$$R_1 = 0.75 d_o = 0.75 \times 10 = 7.5 \text{ mm}$$

$$S_o = \pi \cdot d_o^2/4 = \pi \cdot 10^2/4 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$L_o = k \cdot (S_o)^{1/2} = 5,65 \cdot (78,54)^{1/2} = 50 \text{ mm}$$

$$L_c = L_o + (d_o/2) = 50 + 10/2 = 55 \text{ mm}$$

$d_o = 12$  mm için;

$$R_2 = 0.75 d_o = 0.75 \times 12 = 9 \text{ mm}$$

$$S_o = \pi \cdot d_o^2/4 = \pi \cdot 12^2/4 = 113,09 \text{ mm}^2$$

$$L_o = k \cdot (S_o)^{1/2} = 5,65 \cdot (113,09)^{1/2} = 60 \text{ mm}$$

$$L_c = L_o + (d_o/2) = 60 + 12/2 = 66 \text{ mm}$$

$d_o = 14$  mm için;

$$R_3 = 0.75 d_o = 0.75 \times 14 = 10.5 \text{ mm}$$

$$S_o = \pi \cdot d_o^2/4 = \pi \cdot 14^2/4 = 153,94 \text{ mm}^2$$

$$L_o = k \cdot (S_o)^{1/2} = 5,65 \cdot (153,94)^{1/2} = 70 \text{ mm}$$

$$L_c = L_o + (d_o/2) = 70 + 14/2 = 77 \text{ mm}$$

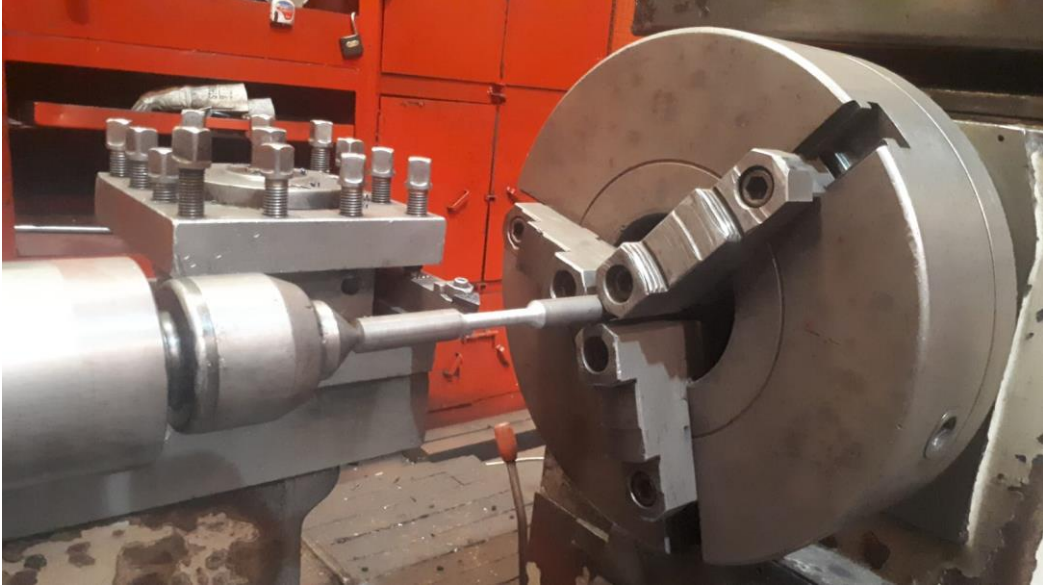


**Çizelge 5.3:** Silindirik deney numunesi boyutları [18]

Orantı Katsayısı	Çap d mm	İlk Ölçü Uzunluğu $L_o = k\sqrt{S_o}$ mm	En Küçük Gövde Uzunluğu $L_c$ mm	Min. Toplam Uzunluk $L_t > L_c + 2d$ mm
5,65	10	50	55	>75
	12	60	66	>90
	14	70	77	>105

#### **5.4. Kaynaklı Birleştirmeye Maruz Bırakılmayan Deney Numunelerinin Hazırlanması**

Bu grupta yer alan deney numunesi olarak belirlediğimiz millerimizin 10,12 ve 14 mm çapa düşürülme işlemleri MİMSAN GRUP firması bünyesinde bulunan torna tezgahında yapılmıştır. Numuneler ISO 6892 standardında belirtilen formüllere göre yukarıda yapılan işlemler neticesindeki ölçüler esas alınarak hazırlanmıştır.



**Şekil 5.3:** Torna tezgahında numunelerin hazırlanması



**Şekil 5.4:** Torna tezgahında hazırlanan 10,12 ve 14 mm numune örneği

**Çizelge 5.4:** Isıl işlem adetleri

Numune Çapları (mm)	Isıl İşlemsiz Numuneler	30 Dakika Isıl İşlem Hava Soğutma	30 Dakika Isıl İşlem Su Soğutma	60 Dakika Isıl İşlem Hava Soğutma	60 Dakika Isıl İşlem Su Soğutma
10	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet
12	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet
14	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet	3 adet

Hazırlanan deney numunelerimiz ısıtılma maruz bırakılmak üzere Çetin Cıvata fabrikasına götürülmüştür. Burada laboratuvar tipi mini ısıtılma fırınında yukarıda belirtilen süre ve soğutma işlemlerine tabi tutulmuştur. Toplamda 36 adet numune ısıtılma işlemi görmüştür.



**Şekil 5.5:** Isıl işlem fırını

Isıl işlem fırınımız laboratuvar tipi elektrikli fırın olup maksimum 1050 °C sıcaklığa ulaşabilmektedir. Isıl işlem için set ettiğimiz 700 °C'ye fırın ulaşınca numuneleri maşa yardımıyla fırına yerleştirdim. Numuneler fırın içerisinde yaklaşık 670 °C ye ulaşınca tutma süresine geçtim. Her bir numuneyi belirlenen süreye göre fırında beklettim. Isıl işleme tabi tutulan numuneler hava soğutma ve su soğutma işlemlerine tabi tutulmuştur.



**Şekil 5.6:** Lazer sıcaklık ölçüm cihazı ile numune sıcaklık kontrolü

**Çizelge 5.5:** 60 dk ısıtma işlemi süreli, hava soğutmalı numuneler

DENEY GRUBU	MİL ÇAPI	MİL ADEDİ	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	FIRINDA TUTMA SÜRESİ
GRUP1	10	3	560 C (15 DK)	610 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK
GRUP1	12	3	560 C (15 DK)	610 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK
GRUP1	14	3	560 C (15 DK)	610 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK

**Çizelge 5.6:** 60 dk ısıtma işlemi süreli, su soğutmalı numuneler

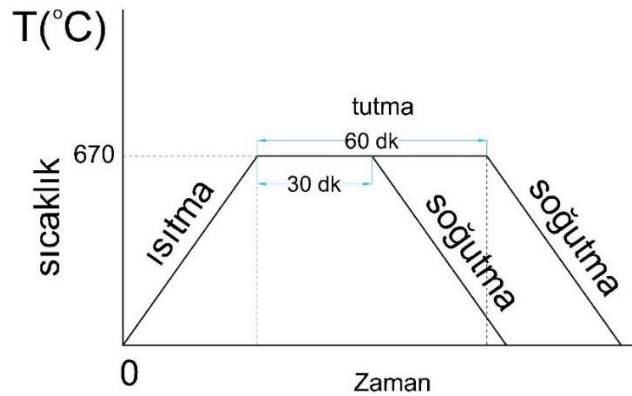
DENEY GRUBU	MİL ÇAPI	MİL ADEDİ	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	FIRINDA TUTMA SÜRESİ
GRUP2	10	3	450 C (10 DK)	590 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK
GRUP2	12	3	450 C (10 DK)	590 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK
GRUP2	14	3	450 C (10 DK)	590 C (20 DK)	670 C (30 DK)	60 DK

**Çizelge 5.7:** 30 dk ısıtma işlemi süreli, hava soğutmalı numuneler

DENEY GRUBU	MİL ÇAPI	MİL ADEDİ	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	FIRINDA TUTMA SÜRESİ
GRUP3	10	3	450 C (10 DK)	615 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK
GRUP3	12	3	450 C (10 DK)	615 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK
GRUP3	14	3	450 C (10 DK)	615 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK

**Çizelge 5.8:** 30 dk ısıtma işlemi süreli, su soğutmalı numuneler

DENEY GRUBU	MİL ÇAPI	MİL ADEDİ	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	MALZEME SICAKLIĞI	FIRINDA TUTMA SÜRESİ
GRUP4	10	3	450 C (10 DK)	600 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK
GRUP4	12	3	450 C (10 DK)	600 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK
GRUP4	14	3	450 C (10 DK)	600 C (20 DK)	670 C (30 DK)	30 DK



**Şekil 5.7:** Isıtma işlemine uğrayan numunelerin sıcaklık-zaman grafiği

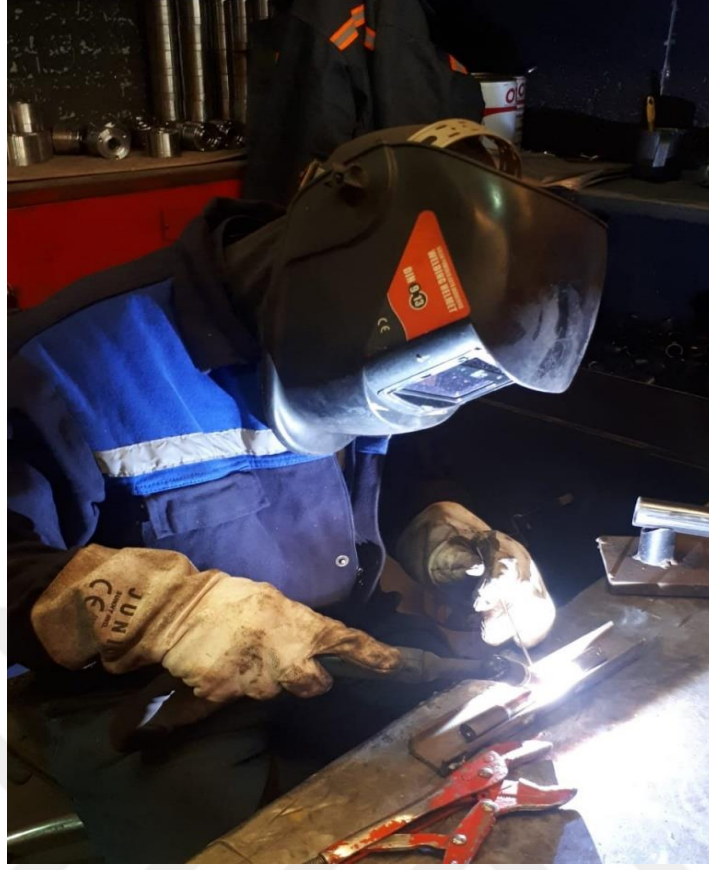


**Şekil 5.8:** Isıl işlem sonrası hava soğumaya bırakılan numuneler

### **5.5. Farklı Açılarda Kesilerek Kaynaklı Birleştirmeye Tabi Tutulan Deney Numunelerinin Hazırlanması**

İkinci aşama deney grubu olarak yine yukarıda özellikleri belirtilen, Hascometal'den temin edilen 20 mm çaptaki S235JRG2 soğuk çekilmiş milin 14 mm'ye düşürülmüş halidir. Bu miller öncelikle torna tezgahında, yukarıda standartlarda yer alan formüllerdeki uzunluklara göre işlenmiştir. İşlenen numunelerin hepsi beş adet farklı açılarda ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $60^\circ$ ) kesilmiştir.

Torna tezgahında işlenip testere de kesilerek hazırlanan numuneler üç farklı gruba ayrılarak kaynaklı birleştirme ve ısıl işleme tabi tutulmuştur. Bu aşamadaki millerden birinci grup miller ısıl işleme tabi tutulmamış, ikinci grup ise ısıl işleme tabi tutulduktan sonra kaynak yöntemiyle birleştirilmiş, üçüncü grup da kaynak ile birleştirildikten sonra ısıl işleme tabi tutulmuştur. Kaynak ile birleştirme ise gazaltı kaynak yöntemi (MIG) ve argon kaynak yöntemi (TIG) kullanılmıştır.



**Şekil 5.9:** Numunelerin Kaynak Operatörü Tarafından Birleştirilmesi

### **5.5.1. Hazırlanan numunelerin ısıtılma tabi tutulması**

Açılı kesim sonrası hazır hale gelen numunelerden bir kısmı ısıtılma tabi tutulmamıştır. Diğer numuneler ise bir grup kaynakla birleşme olmadan, diğer grup ise kaynaklı birleşime maruz bırakıldıktan sonra ısıtılma tabi tutulmuştur.

Isıtılma yine diğer numunelerin de ısıtılmasının yapıldığı Malatya ikinci organize sanayi bölgesinde yer alan Çetin Cıvata fabrikasına gidilmiştir. Daha önceki ısıtılma işlemde fabrika bünyesindeki küçük laboratuvar tipi deney fırını kullanılmıştı, bu sefer büyük çan tipi ısıtılma fırını kullanılmıştır.

Şekil 5.9 da görülen ısıtılma fırını atmosfer kontrollü olma özelliğine sahiptir. Bu fırın atmosfer basıncını ve gaz ortamını kontrol altına alabilme özelliğine sahiptir. İçerisinde vakumlama yapıp azot takviye edebilme özelliği sayesinde ısıtılma giren parçaların tamamının yüzeyinde oksidasyon engellenebilmektedir.

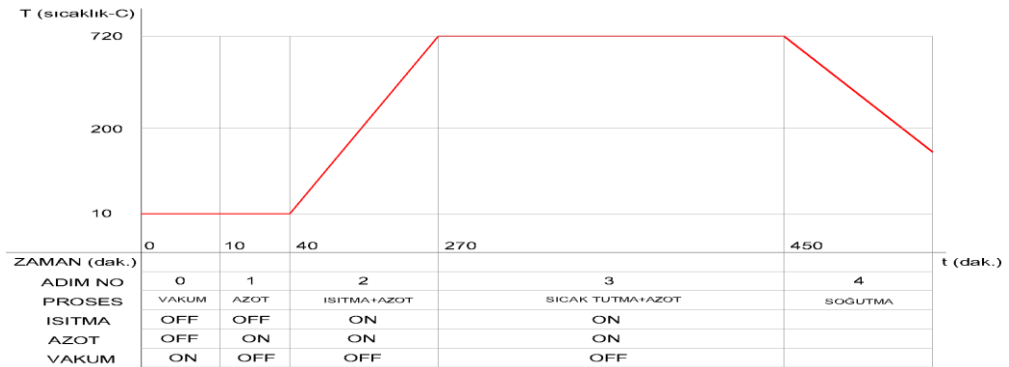
Numunelerimize ısıtılma tabi tutulacak bu fırında yeniden kristalleştirme (rekristalizasyon) tavı uygulanmıştır. Bu tavlama numunelerimizin de sahip olduğu soğuk çekilmiş malzemelere uygulanmaktadır. Metalde faz değişikliğine gitmeden yeni tanelerin çekirdeklenmesiyle beraber büyümesi sağlanır. Numunelerimizde ağır plastik deformasyon sonucu meydana gelen hasarları düzeltmek amaçlanmıştır. Yapılan bu tavlama işlemi

sayesinde, sertleştirilmiş veya soğuk işlem görmüş millerimizin, yeni ferrit tanecikleri oluşturarak, yapıyı yeniden kristalleştirmesine neden olur.



Şekil 5.9. Numunelerin Isıl İşleme Tabi Tutulduğu Fırın

Çizelge 5.9 : Isıl İşlem Fırınının Proses Grafiği



Isıl işleme için fırına alınan parçalara öncelikle vakumlama işlemi uygulanır. İçerideki oksijen dış kısıma alınarak yüksek sıcaklığa ulaşan ortam için malzeme yüzeylerinde alevle

buluşma engellenir. Vakumlama süreci yaklaşık 10 dakika sürer. Daha sonra yarım saatlik süre boyunca içeriye azot takviyesinde bulunulur. Bu işlemler tamamlandıktan sonra fırın sıcaklığı yaklaşık 230 dakikalık süre zarfında 720°C ye getirilir. Malzemeler bu sıcaklıkta 210 dakika boyunca tutulur ve ardından fırın kontrolüyle 200 °C ye düşüne kadar bekletilir. Tamamlanan bu işlemlerin ardından malzemeler dış ortama alınır. Tüm bu işlem süreci yaklaşık olarak 8 saat sürmektedir.

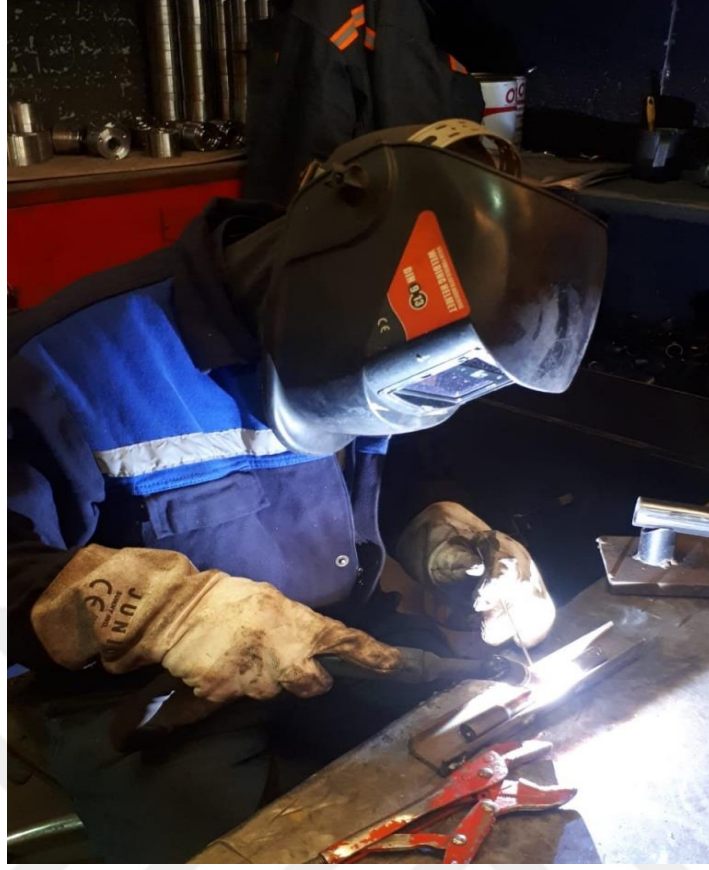
### **5.5.2. Açılı kesilen numunelerin kaynakla birleştirilmesi**

Torna tezgâhında hazırlanan numunelerimiz açılı kesime maruz bırakılmıştır. Isıl işlem öncesi ve sonrası birleştirme yapılacak olan millerimiz ise iki farklı kaynak türüyle birleştirilmiştir. Bunlar gazaltı ark kaynağı (MIG) ve tungsten ark kaynağı (TIG) yöntemleridir.

MIG kaynağıyla birleştirme, millerde kesilen açının etrafına kaynak eriğini doldurarak yapılmıştır. Bu işlemde ark, Argon, Helyum, CO veya çeşitli gaz karışımları gibi bir koruyucu gaz atmosferi altında meydana gelir. Kaynakta ergiyen elektrot, kaynak bölgesi içerisine bir nozul içerisinden otomatik olarak beslenir. MIG (Metal Inert Gaz) kaynağında, ark ergiyen bir tel elektrotla iş parçası arasında meydana gelir. Otomatik olarak beslenen bu elektrot aynı zamanda ergidiği için dolgu malzemesi görevini de görür. Asal gazların kullanımına ilave olarak genellikle dezoksidanlar mevcuttur ve oksidasyonu önlemede yardımcı olur. Argon ve helyum veya her ikisinin karışımı herhangi bir metal kaynağında kullanılabilmesine rağmen aslında demir dışı metallerin kaynağına uygundur. Çeliklerin kaynağında ise genellikle bir dezoksidan elektrot kullanmak şartıyla daha ucuz olan CO<sub>2</sub> yalnız kullanılabilir. Koruyucu gazlar elektrottan iş parçasına metal transferinin tabiatı üzerine önemli etkiye sahiptirler [19].

TIG kaynak yöntemiyle birleştirmede ise numuneler gazaltı kaynak yöntemiyle birleştirildiği gibi açılı kısımlardan ayrılan miller tungsten kaynak teli dolgusuyla tekrar birleştirilirler. Bu süreçte özel bir tutucu ile tutulan bir tungsten (ergimeyen) elektrot etrafındaki bir delikten kaynak bölgesine asal gaz gönderilir. Bu asal gaz ark ve ergimiş metal banyosu etrafında akar ve bölgeyi atmosferin etkisinden korur. Koruyucu gaz genellikle Ar veya He'dan biri veya her ikisinin karışımıdır. Tungsten elektrot, bu inert gazlardaki ark sıcaklığında ergimeydiğinden ark boyu sabit kalır ve böylece ark stabil ve devamlıdır. Elektrik özellikleri geliştirmek ve daha iyi elektron yayılımı sağlamak için tungsten elektrotlar bazen Toryum veya Zirkonyum ile alaşımlandırılır. Arkın başlamasını ve devamını sağlamak için yüksek AC veya DC kaynak voltajı ile yüksek frekans uygulanır. Elektrik parametrelerin düzenli kontrolü ile belli metaller için istenen ark kaynağı karakteristikleri elde edilebilir [19].





**Şekil 5.10** Numunelerin Kaynak Operatörü Tarafından Birleştirilmesi

## 6. ÇEKME DENEYİ

Malzemelerdeki şekil değişimini oluşması ve oluşan bu şekil değişiminin hangi kuvvette olduğunun bilinmesi mühendislik dalında önem arz eder. Malzemenin çalışabildiği ve şekillendirildiği durumları bilmek önemlidir, zira malzemedeki şekil değişimi ve bu şekil değiştirmeye neden olan kuvvet arasındaki bağıntıyı bilmek lazımdır.

Kuvvetin şekil değiştirmeye olan arasındaki bağıntının bilinmesi için yapılan çalışma çekme deneyidir. Bu deney vasıtasıyla malzemelerin üzerindeki statik yük altındaki meydana gelen elastik ve plastik durumlarının atanması, malzemedeki mekanik davranışlara göre tasnif edilmesi ve malzemenin seçimiyle yapılmaktadır. Bu deneylerde standartlardaki çekme numunelerinin dayanıklılık değerleri ölçülür. Sonuçlandırılan bu değerler karşılaştırılır ve malzemelere atanan mekanik özellikler yorumlanır. Çekme deneyinin yapılması ise standartlarda belirlenen durum ve şartlara göre oluşturulur [20].

Bu deneyin aslında yapılmasındaki en büyük gaye malzemenin dayanıklılığının ölçülmesidir. Malzemenin mukavemeti, malzemenin fiziksel şekil bozukluğuna uğraması için yüklenmesi gereken kuvvetle ya da malzemenin dayanabildiği en yüksek gerilme ile ölçülebilir. Ayrıca malzemenin parçalanmadan önce deforme olabilmesine olanak sağlayan şey malzemenin esnekliği ile de ilgilidir. Malzeme esnekliği malzeme içyapısıyla ilgiliyken, genelde kalite ve sertlik özellikleriyle de ilgilidir [21].

### 6.1. Numunelerin Çekme Deneyine Tabi Tutulması

Hazırlanan deney numuneleri İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan SHIMADZU marka 100 KN güce sahip çekme deneyi cihazında çekilmiştir. Numunelerin hepsi 1 mm/dk hızda çekildi.

Çekilen numunelerin sonuçlarına bakacak olursak, özellikle ısıtma işlem sonrası su soğutmalı numunelerde çekme dayanımı daha yüksektir. 30 dakika ve 60 dakika ısıtma işlem sonrasında su soğutmaya tabi tutulan numuneler için kopma uzaması değerleri aynı işlemler sonucu hava soğutmaya maruz kalan numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Deneyler sonucu kendiliğinden soğumaya bırakılan numunelerin çekme dayanımının su soğutmaya göre düşük olduğu, yüzde uzamasının ise daha yüksekte kaldığı ortaya konulmuştur.

Deney sonucunda bulunan veriler ve deney numunelerin kopma sonucu görünüşleri, detaylıca hem tablo halinde hem de kıyaslamalı bir şekilde grafikler yardımıyla aşağıda ortaya konmuştur.



**Şekil 6.1:** Çekme deneyi cihazı

Deney numunelerinin tamamı mil çapına bağlantısına uygun çeneye bağlanmıştır. Numuneler çekme için hazır hale geldiğinde bilgisayardan Trapezium yazılım programı açılmıştır. Gerekli kalibrasyon işlemlerinden sonra numunenin özellikleri ve boyutları girilip çekme deneyine başlanmıştır.



**Şekil 6.2:** Hazırlanan 10,12 ve 14 mm numuneler



**Şekil 6.3:** Cihaza bağlanan 10,12 ve 14 mm numuneler

Bağlanan numunelerin her biri çekilerek yazılım vasıtasıyla bilgisayar ortamında numunenin mekanik değerlerine ulaşılmıştır. Daha sonra bu veriler karşılıklı olarak kıyaslanmıştır.



**Şekil 6.4.** Cihazda kopan ısılsız 10,12 ve 14 mm numuneler

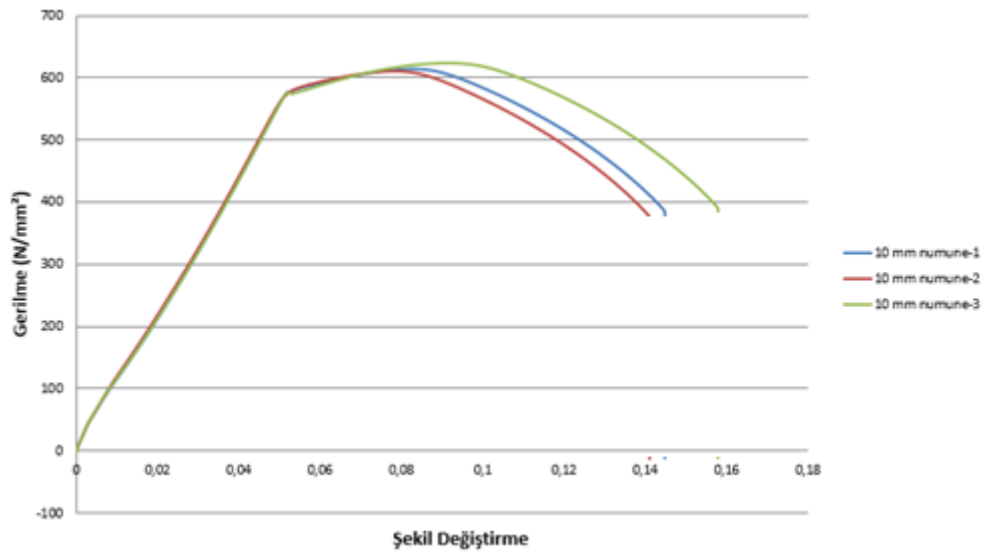


**Şekil 6.5.** 30 dakika hava soğutmalı ve 30 dakika su soğutmalı kopan 10,12 ve 14 mm numuneler

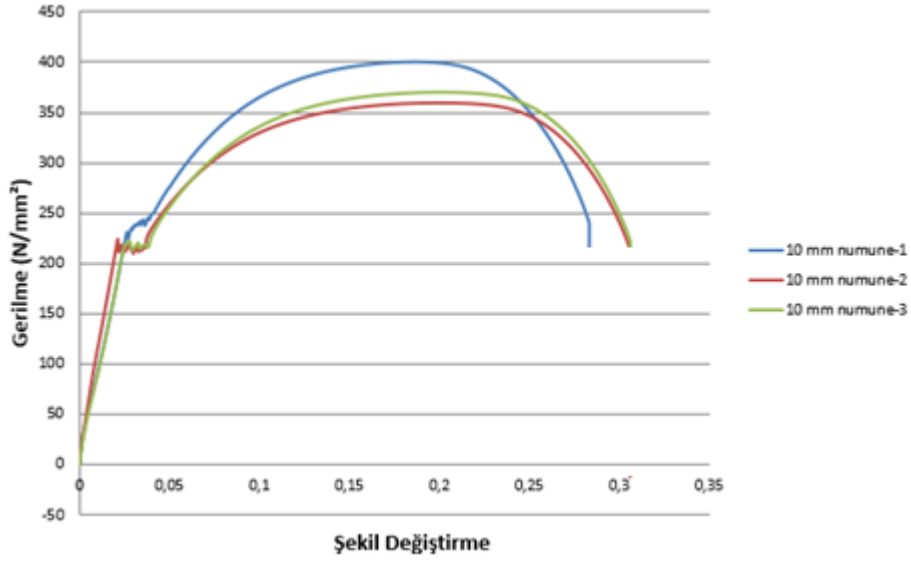


**Şekil 6.6.** 60 dakika hava soğutmalı ve 60 dakika su soğutmalı kopan 10,12 ve 14 mm numuneler

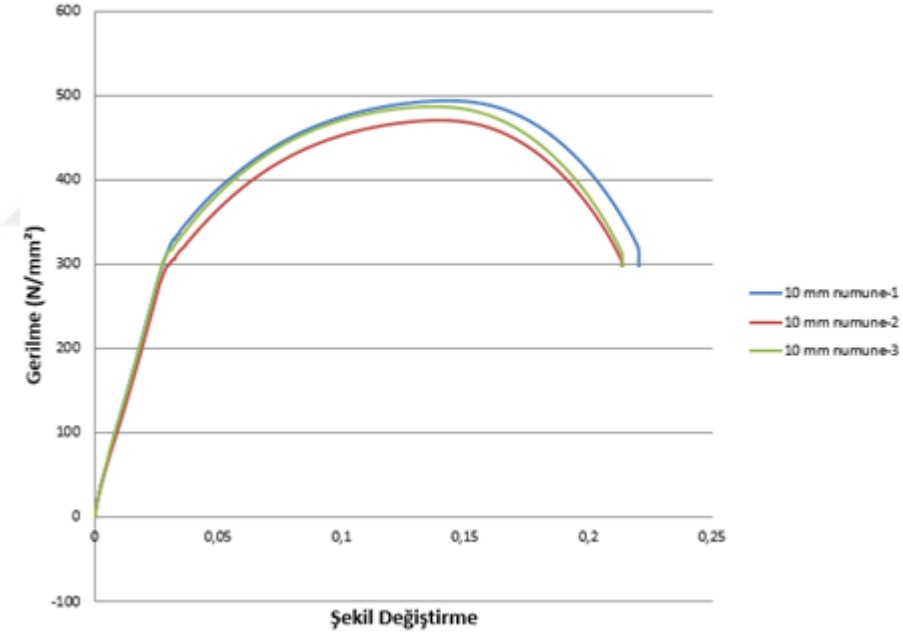
Deney sonucunda numunelerden elde edilen mekanik değerler tablo ve grafik haline getirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.



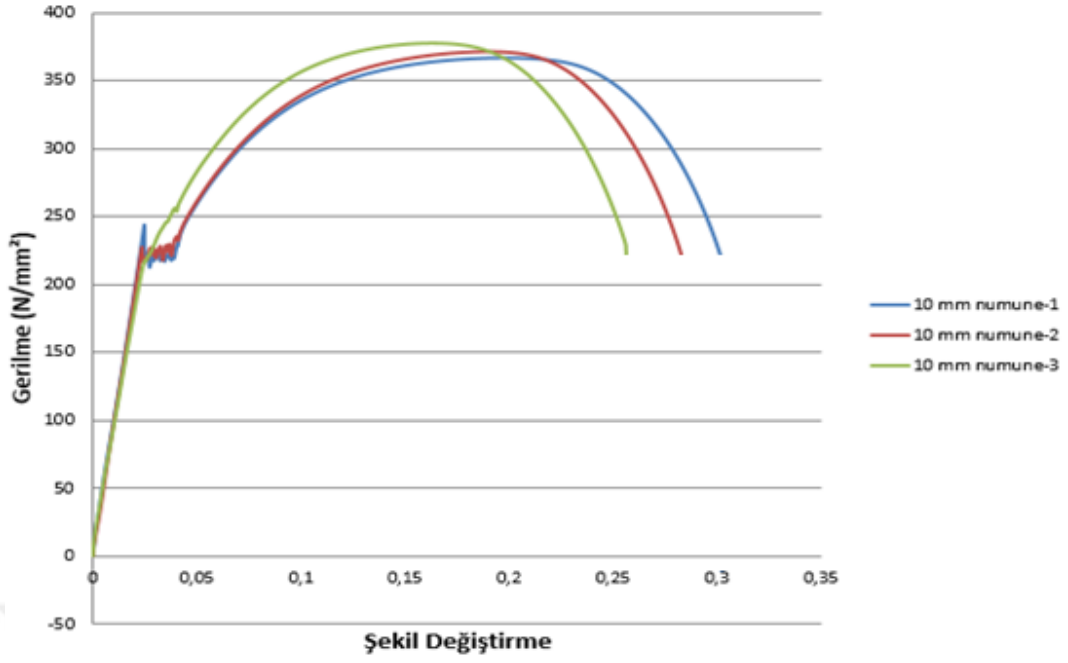
**Şekil 6.7.** Isıl işlemsiz 10 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



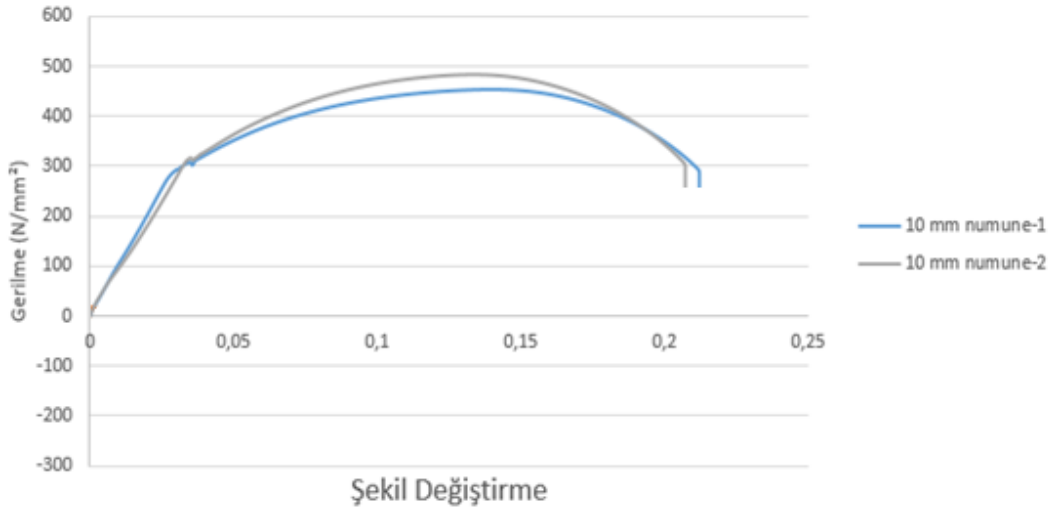
Şekil 6.8. 30 dakika ısıtılmış, hava soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



Şekil 6.9: 30 dakika ısıtılmış, su soğutmalı 10 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği

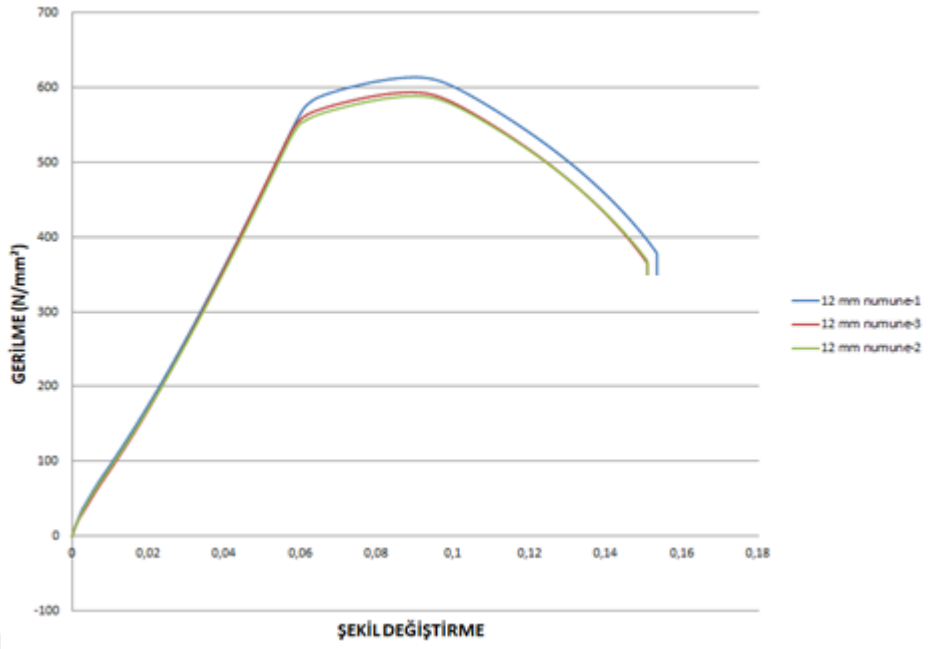


**Şekil 6.10:** 60 dakika ısıt işlemlı, hava sođutmalđ 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

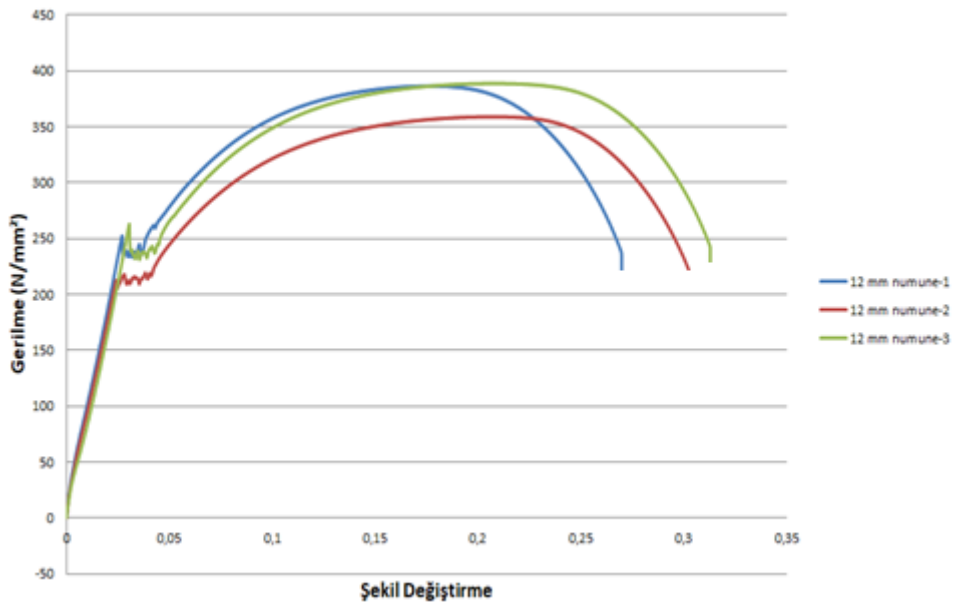


**Şekil 6.11:** 60 dakika ısıt işlemlı, su sođutmalđ 10 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği

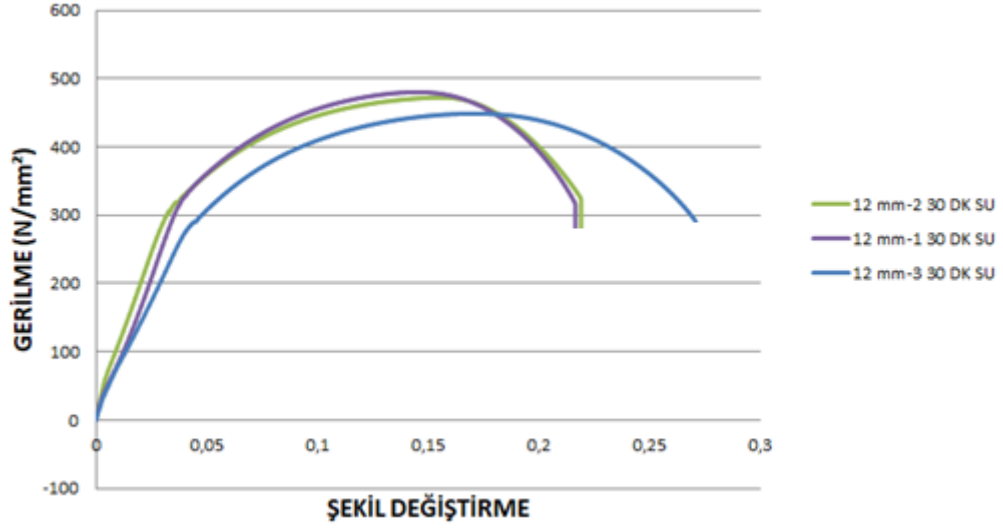




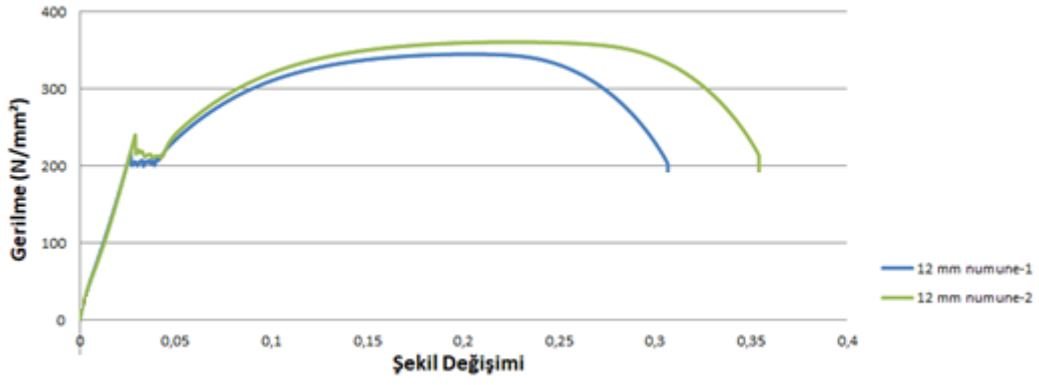
Şekil 6.12: ısı işlemsiz 12 mm numunelerin gerilme-şekil değıştirme grafiği



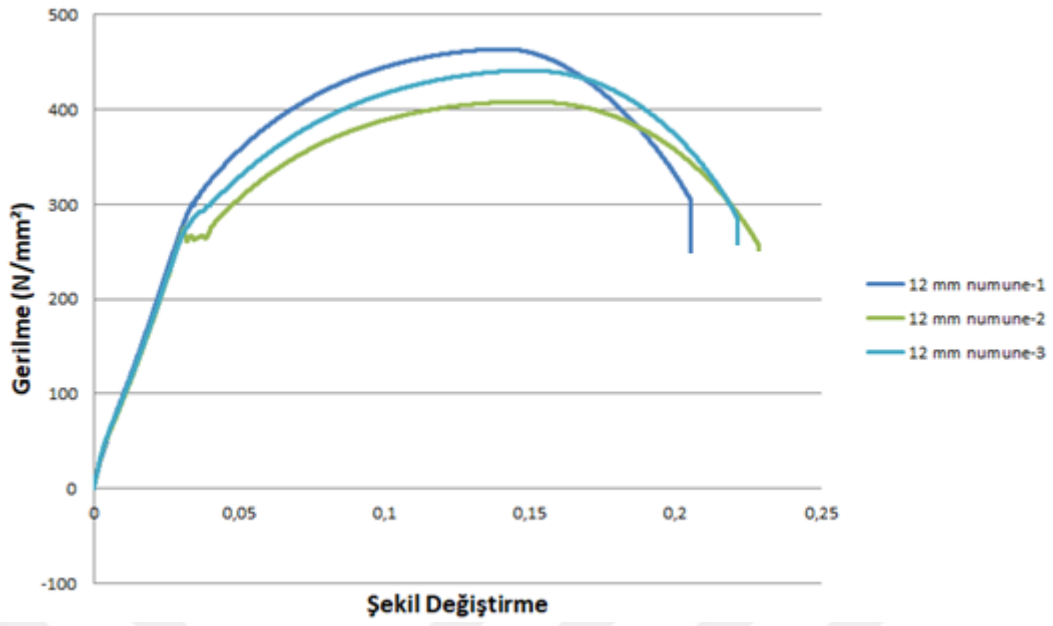
Şekil 6.13: 30 dakika ısı işlemlı, hava sođutmalđ 12 mm numunelerin gerilme-şekil değıştirme grafiği



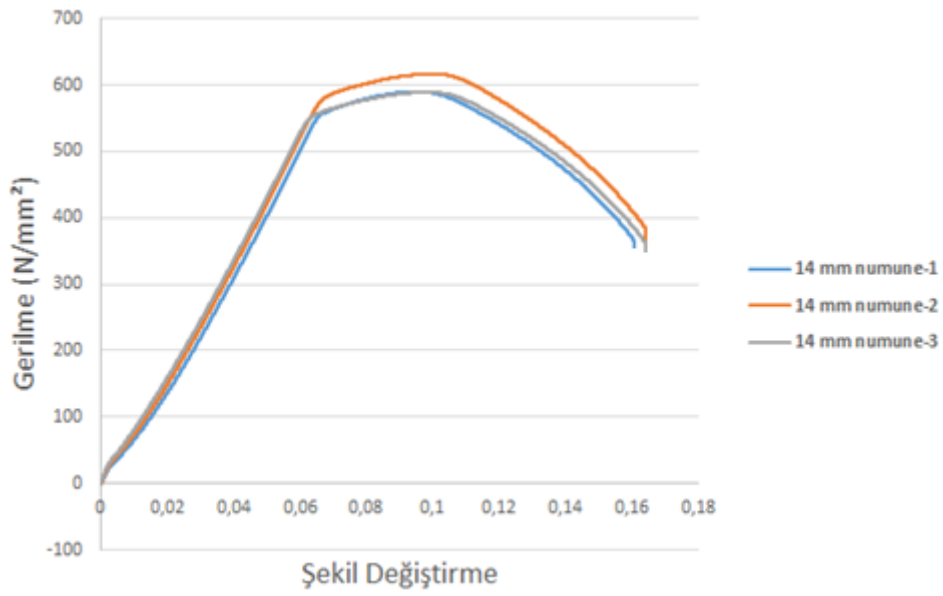
Şekil 6.14: 30 dakika ısıtılmış, su soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



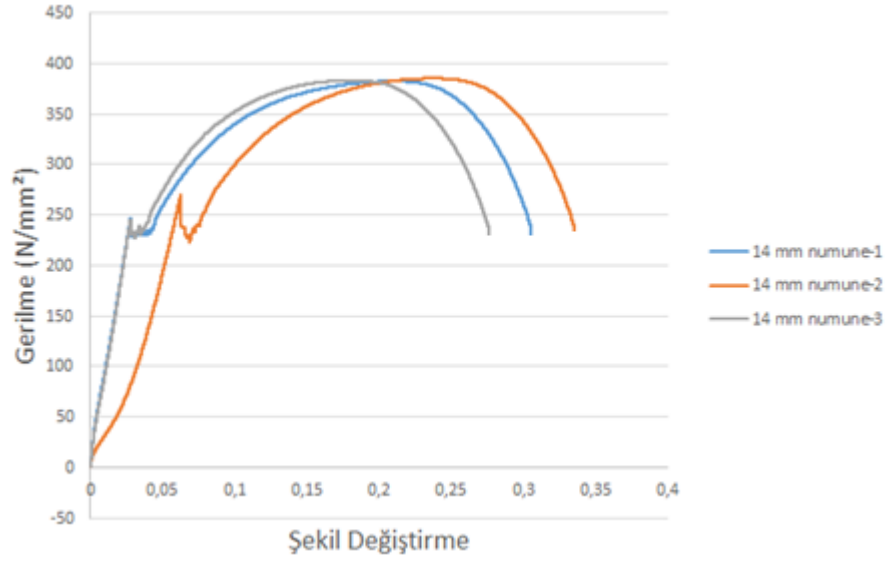
Şekil 6.15: 60 dakika ısıtılmış, hava soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafiği



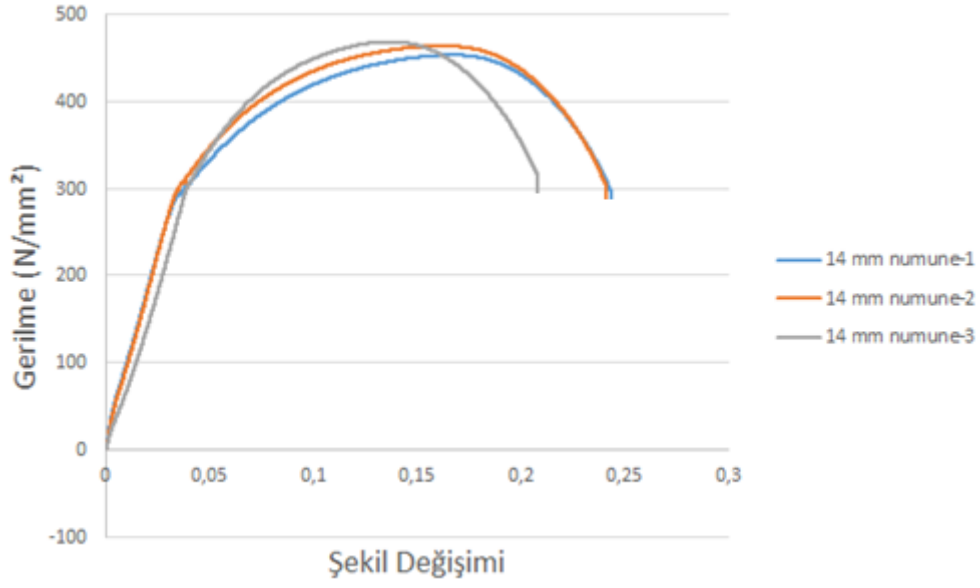
Şekil 6.16: 60 dakika ısıtılmış, su soğutmalı 12 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



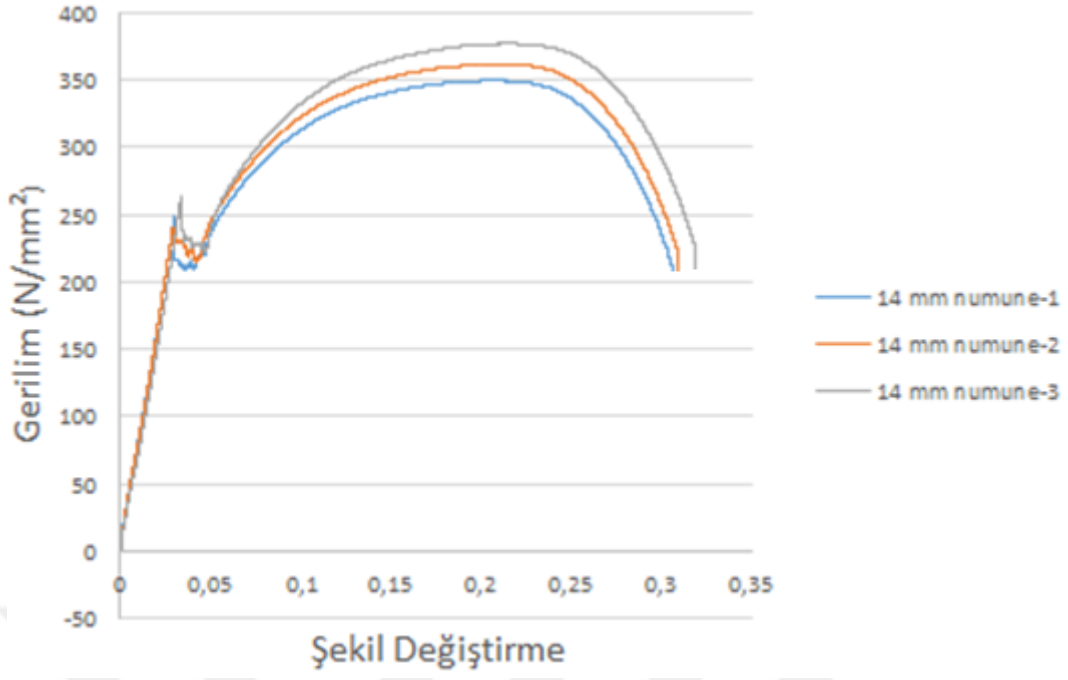
Şekil 6.17: Isıtılmamış 14 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



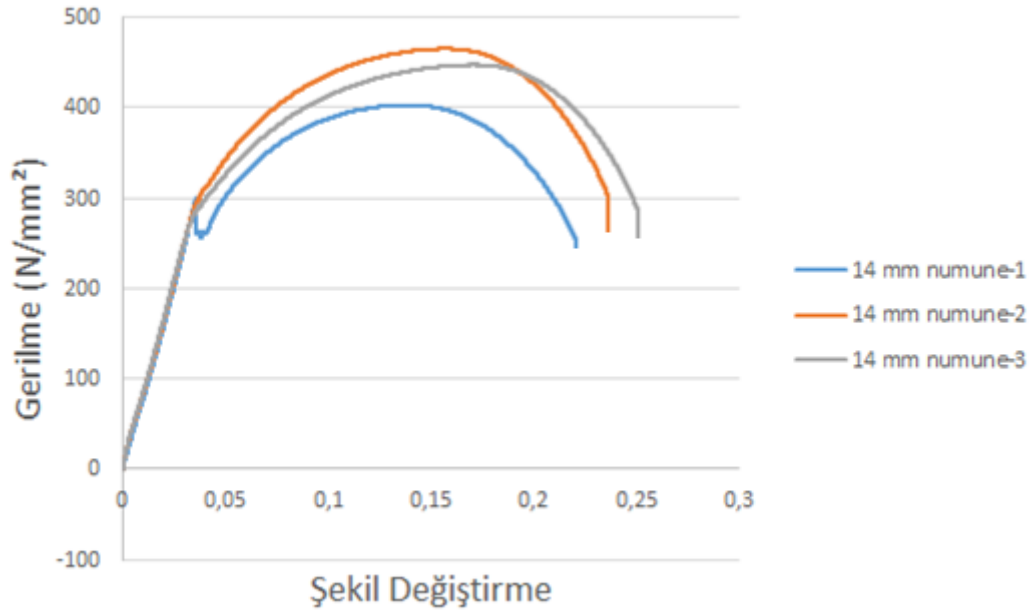
**Şekil 6.18:** 30 dakika ısıtılmış, hava soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



**Şekil 6.19:** 30 dakika ısıtılmış, su soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



**Şekil 6.20:** 60 dakika ısıtılmış, hava soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği



**Şekil 6.21:** 60 dakika ısıtılmış, su soğutmalı 14 mm numunelerin gerilme-şekil değişirme grafiği

Çekilen numunelerin her biri için alınan mekanik değerlerden çekme, akma dayanımı ve kopma uzaması aşağıdaki çizelgelerde yer almaktadır.

**Çizelge 6.1.** Isıl işlemsiz numunelere ait elde edilen veriler

ISIL İŞLEMSİZ NUMUNELER	MİL ÇAPI (mm)	ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA KOPMA DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA UZAMA MİKTARI (mm) MAX
	10	615,9	382,6	10,22
	12	598,2	369,8	12,28
	14	598,6	370,7	14,94

**Çizelge 6.2.** 30 dakika hava soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler

30 DAKİKA HAVA SOĞUTMALI NUMUNELER	MİL ÇAPI (mm)	ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA KOPMA DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA UZAMA MİKTARI (mm) MAX
	10	376,6	224,1	20,62
	12	377,9	230,24	23,9
	14	383,7	235,7	28,01

**Çizelge 6.3.** 30 dakika su soğutmalı numunelere ait elde edilen mekanik veriler

30 DAKİKA SU SOĞUTMALI NUMUNELER	MİL ÇAPI (mm)	ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA KOPMA DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA UZAMA MİKTARI (mm) MAX
	10	483,7	309	14,92
	12	467	308,5	17,16
	14	462	302,9	21,17

**Çizelge 6.4.** 60 dakika hava soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler

60 DAKİKA HAVA SOĞUTMALI NUMUNELER	MİL ÇAPI (mm)	ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA KOPMA DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA UZAMA MİKTARI (mm) MAX
	10	371,8	219,4	19,40
	12	353	206	26,71
	14	362,8	218,2	28,56

**Çizelge 6.5.** 60 dakika su soğutmalı numunelere ait elde edilen veriler

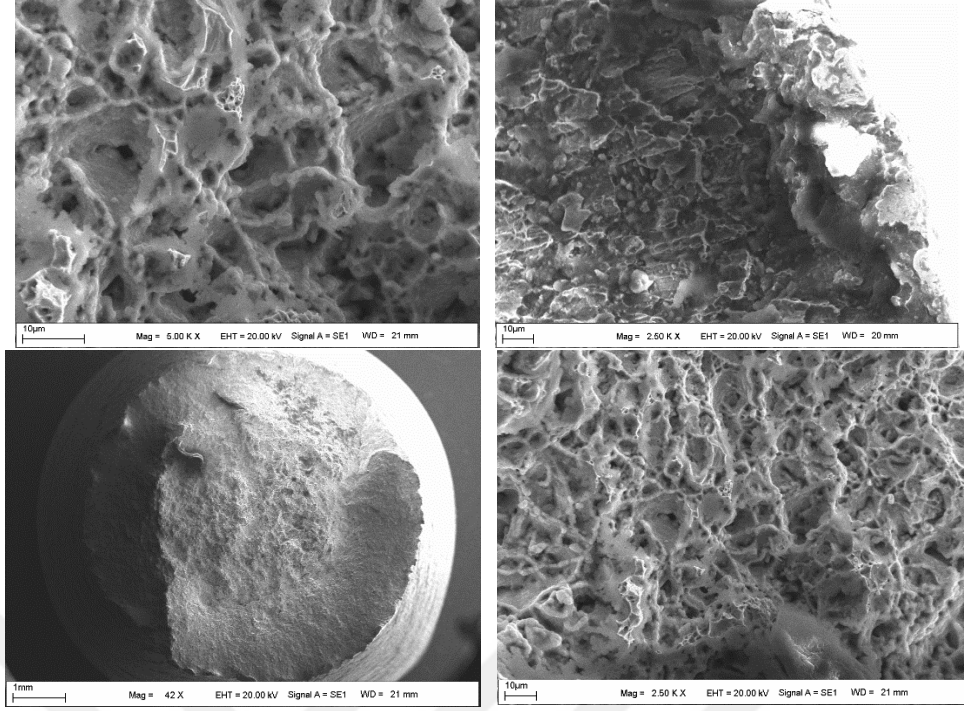
60 DAKİKA SU SOĞUTMALI NUMUNELER	MİL ÇAPI (mm)	ORTALAMA ÇEKME DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA KOPMA DAYANIMI (N/mm <sup>2</sup> ) (MAX)	ORTALAMA UZAMA MİKTARI (mm) MAX
	10	468,7	294,5	14,49
	12	437,6	280,8	17,68
	14	438,5	280,5	21,62

## 6.2. Numunelerin SEM Görüntüleri

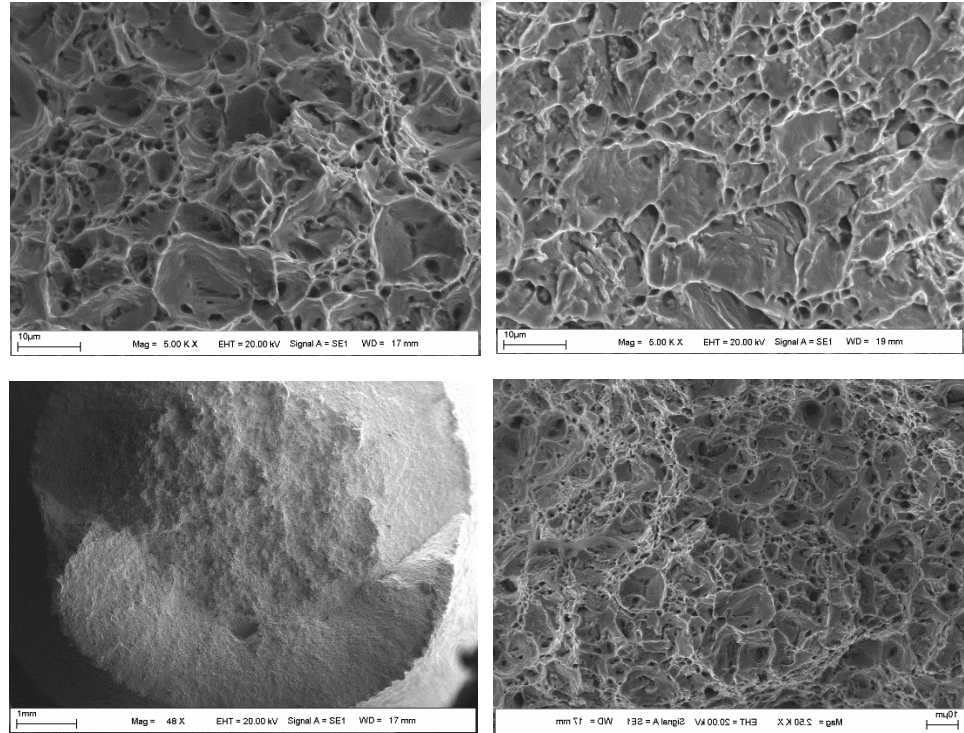
Kopan numunelerden aşağıdaki tabloda belirtilenlerin SEM görüntüleri İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Merkezi SEM-EDX laboratuvarında incelenmiştir.

**Çizelge 6.6.** SEM görüntüleri alınan numuneler

Numuneler (mm)	Isıl İşlemsiz Numuneler	30 Dakika Isıl İşlem Hava Soğutma	30 Dakika Isıl İşlem Su Soğutma	60 Dakika Isıl İşlem Hava Soğutma	60 Dakika Isıl İşlem Su Soğutma
10	Numune-2	Numune-2	-	-	-
12	Numune-2	Numune-2	Numune-1	Numune-2	Numune-1
14	Numune-3	Numune-2	-	-	-

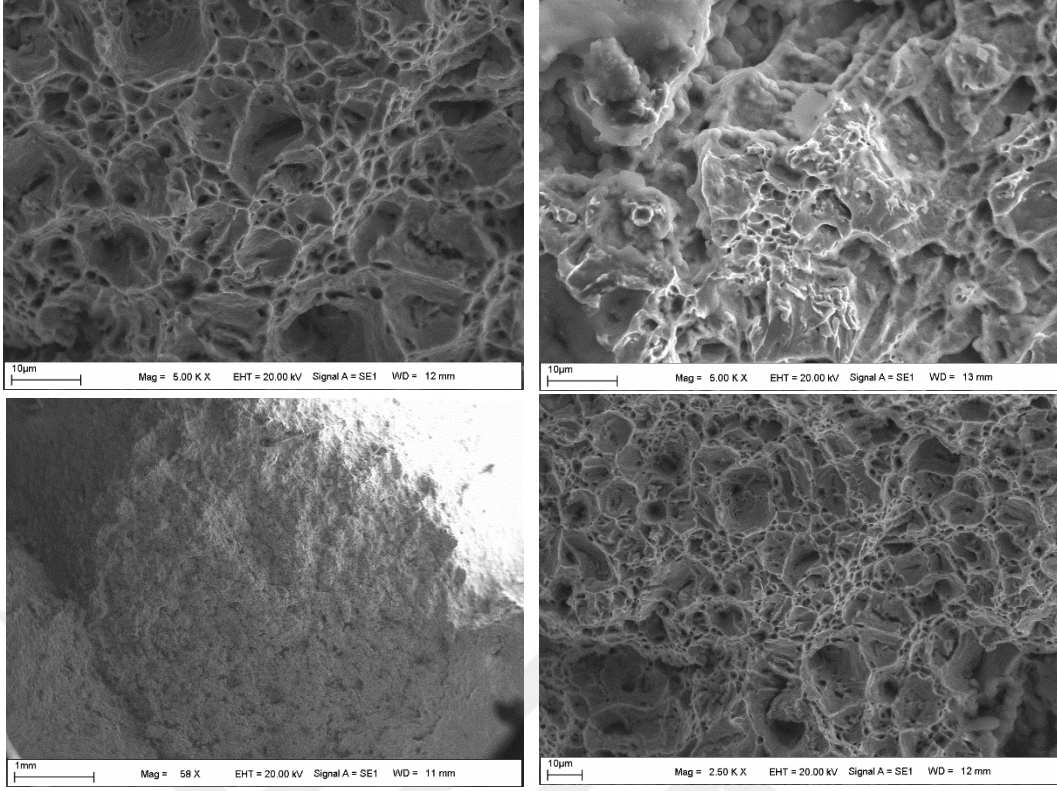


Şekil 6.22. 10 mm ısıtılmamış numunelerin SEM görüntüleri

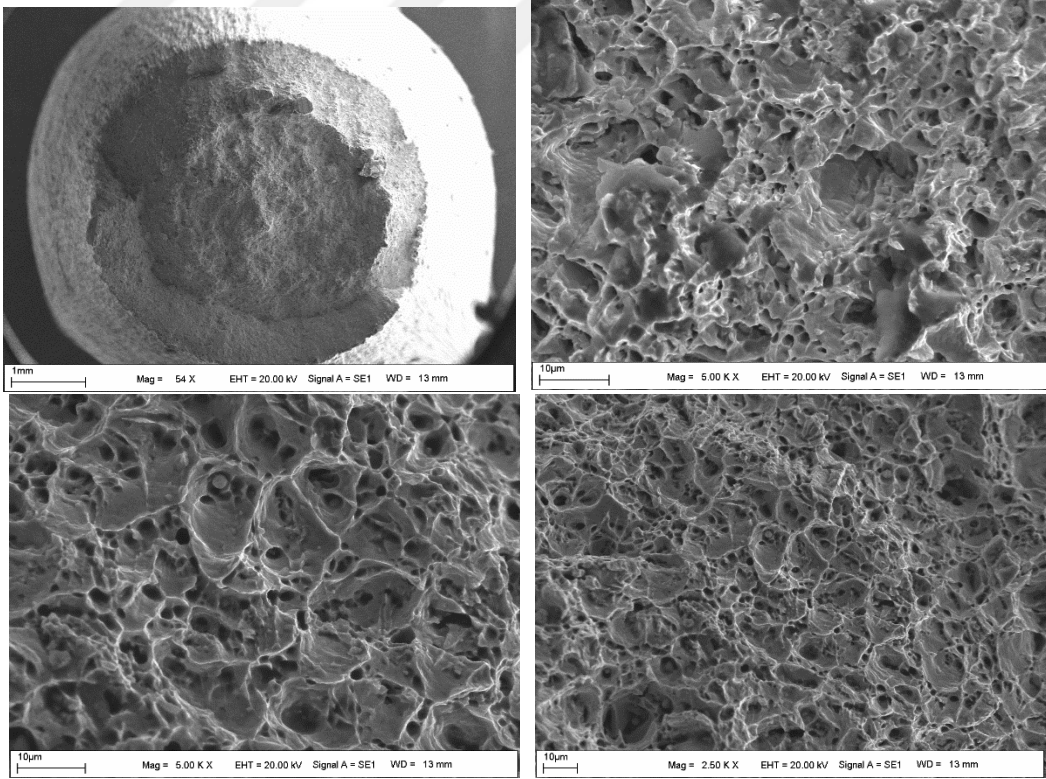


Şekil 6.23. 12 mm ısıtılmamış numunelerin SEM görüntüleri

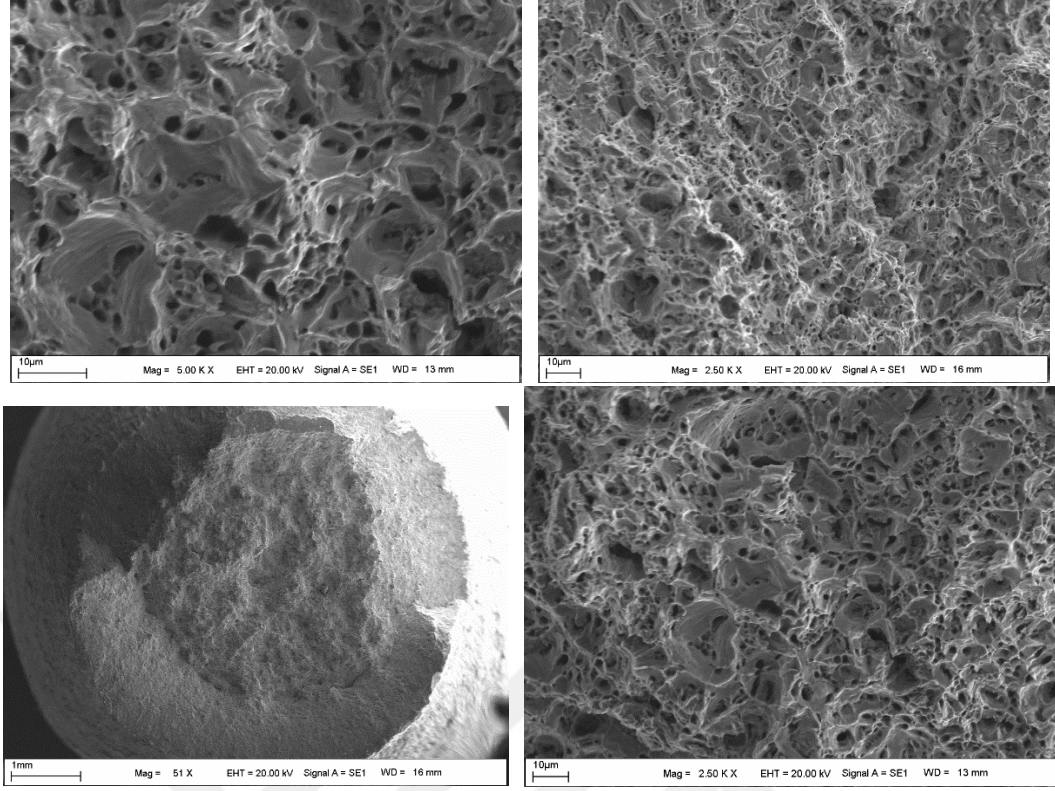




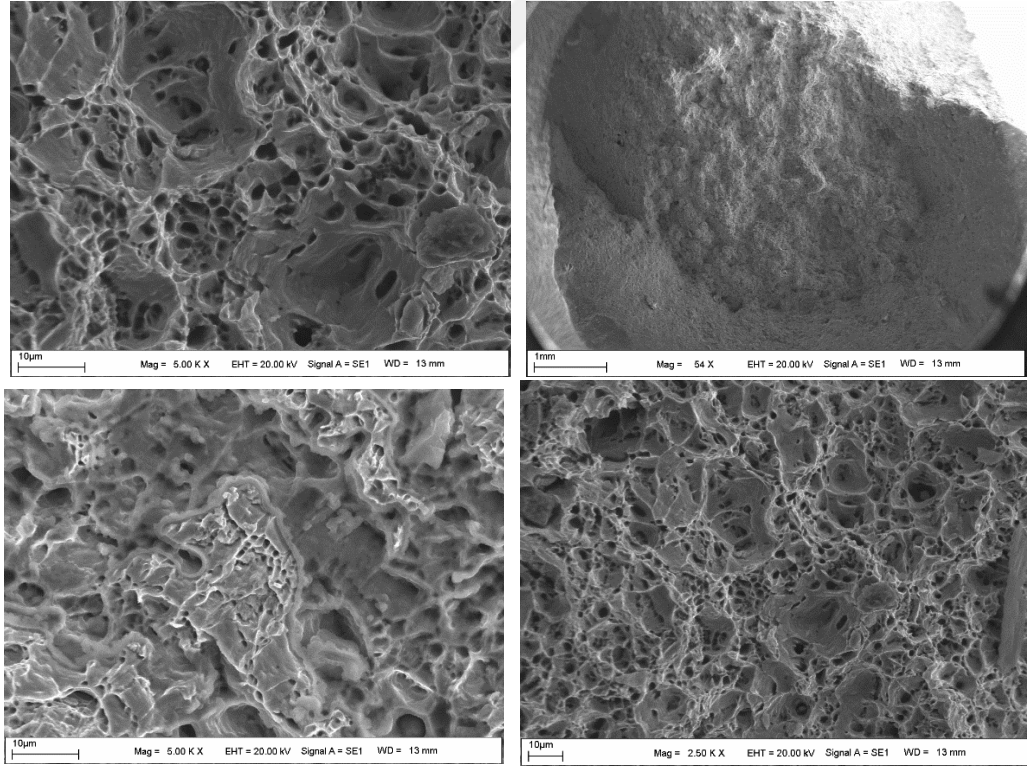
Şekil 6.24. 14 mm ısılsız numunelerin SEM görüntüleri



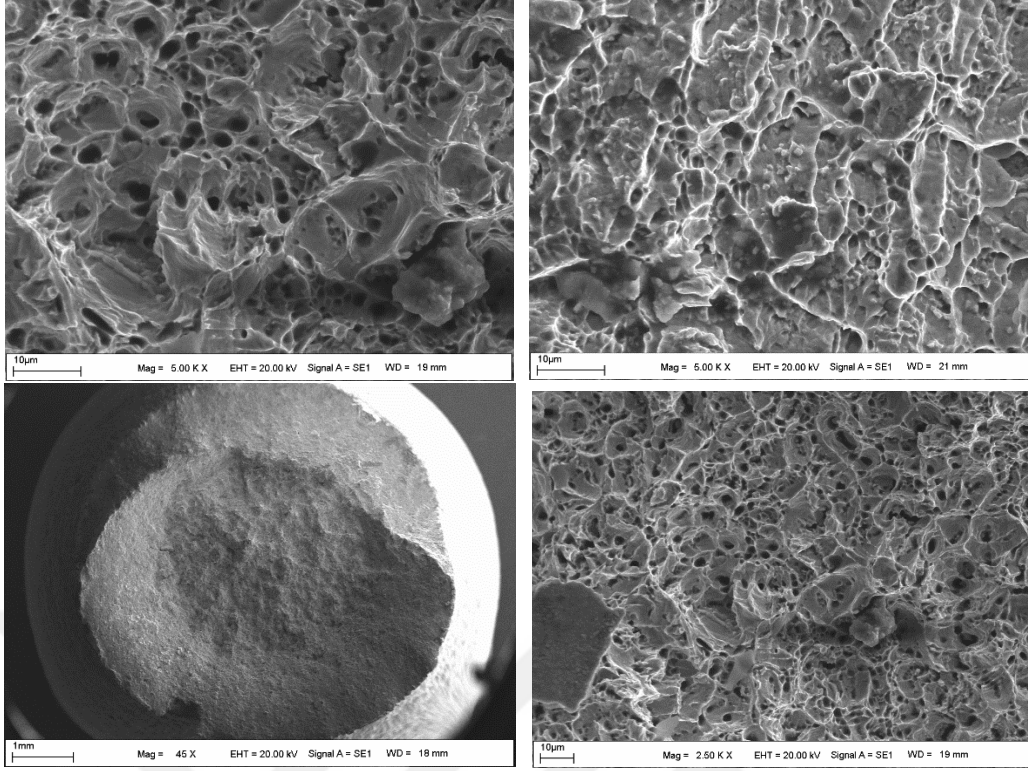
Şekil 6.25. 10 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri



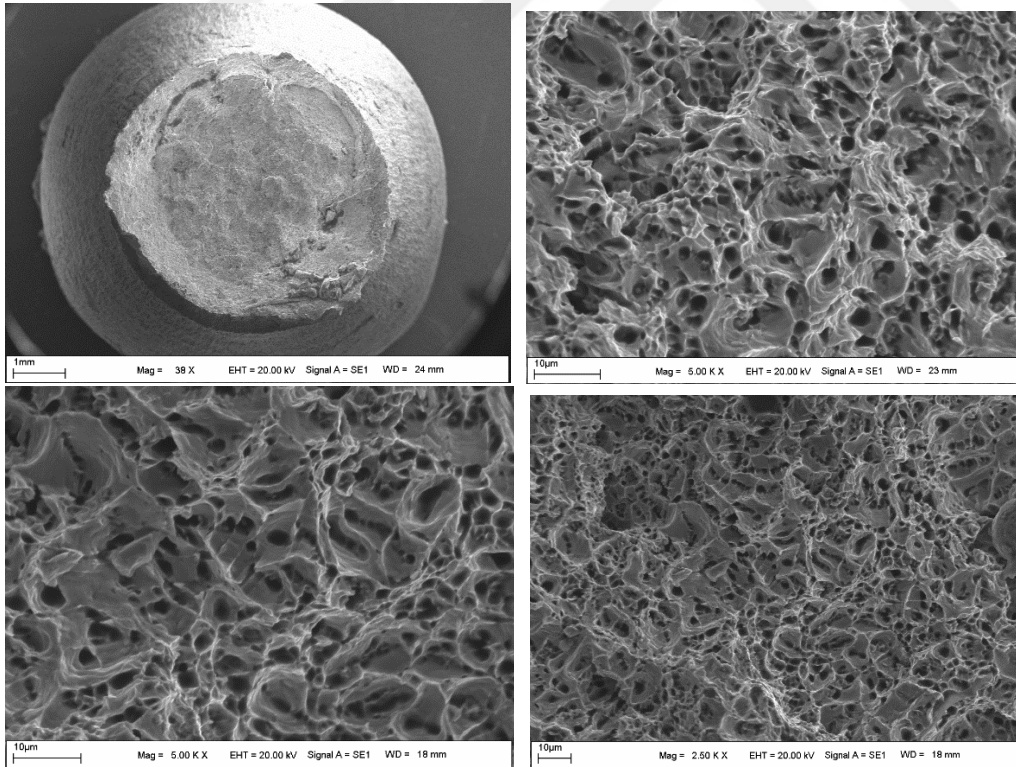
Şekil 6.26. 12 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri



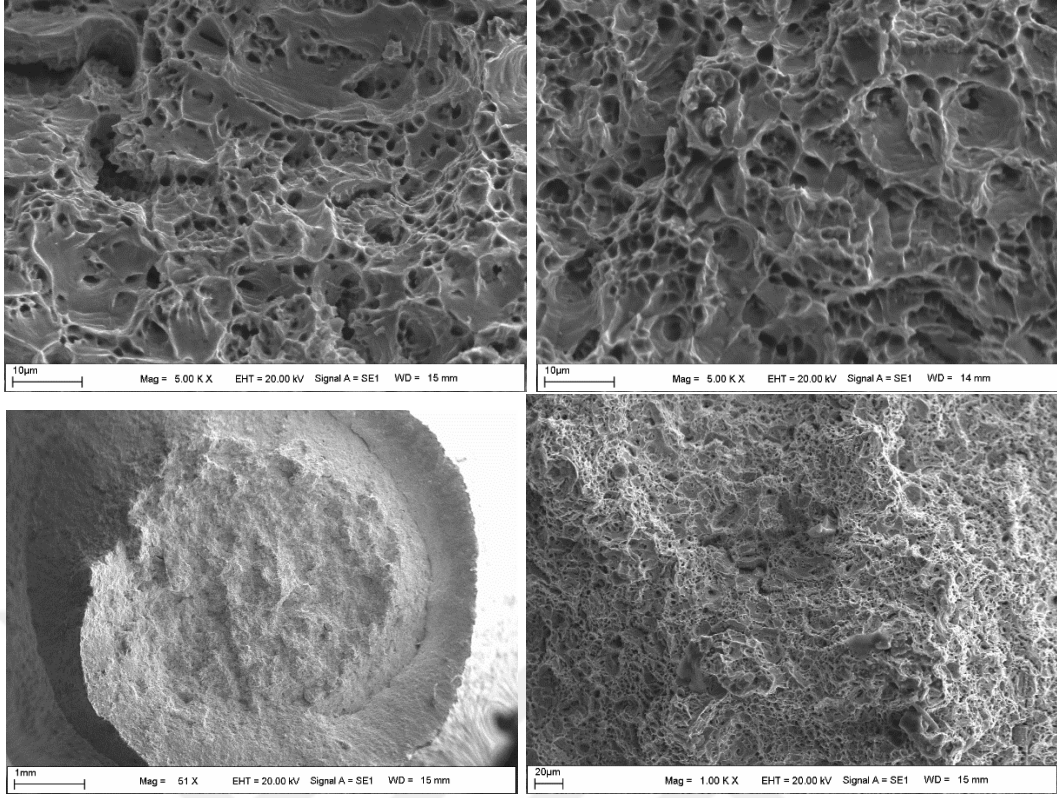
Şekil 6.27. 14 mm 30 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri



Şekil 6.28. 12 mm 30 dakika su soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri



Şekil 6.29. 12 mm 60 dakika hava soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri



**Şekil 6.30.** 12 mm 60 dakika su soğutmalı numunelerin SEM görüntüleri

### **6.3. Farklı Açılarda Kesilen ve Sonrasında Farklı Kaynak Türleriyle Birleştirilen Millerin Mekanik Teste Tabi Tutulması**

Torna tezgahında hazırlanan 14 mm numunelerin mekanik sonuçlarına, diğer numunelerin de teste tabi tutulduğu Makine Mühendisliği laboratuvarındaki Shimadzu marka 100 KN gücünde çekme deneyi cihazı vasıtasıyla ulaşılmıştır. Elde edilen veriler üç farklı gruba ayrılarak oluşturulan grafikler vasıtasıyla kıyas yapılmıştır. Bu üç gruba baktığımız zaman;

1. Aynı derecede kesim yapılan millerden, aynı kaynak türüne sahip olanların, farklı ısı işlemleri kıyaslanmıştır,
2. Aynı derece kesim yapılan millerden, aynı tip ısı işlem uygulanan numunelerin, farklı kaynakların kıyası yapılmıştır,
3. Aynı kaynak türüne sahip olanların, aynı tip ısı işlem uygulanan numunelerin, farklı derecelerinin kıyaslanması yapılmıştır.

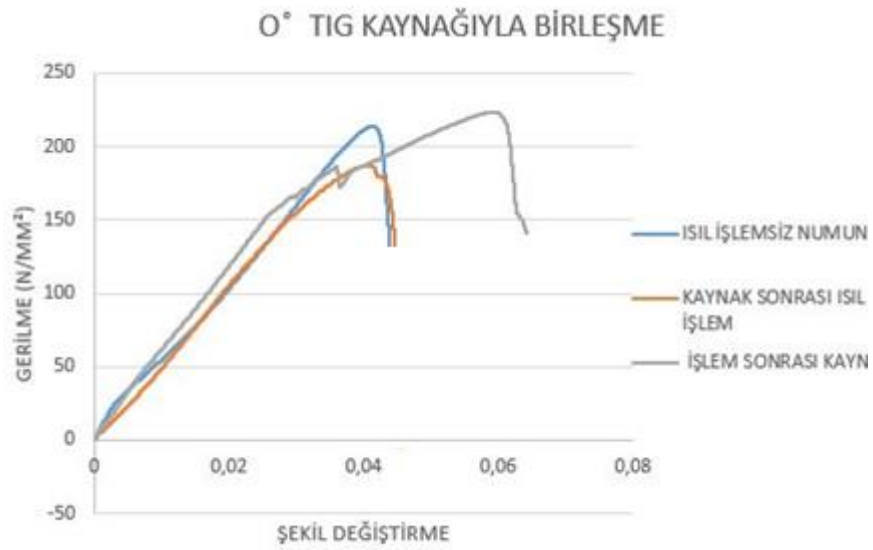
Gruplara göre oluşturulan grafikleri detaylı olarak inceleyelim.



Şekil 6.31 : Açılı kesilen numunelerin deney sonrası görünümü

### 6.3.1. Aynı açıda kesim yapılan millerden, aynı kaynak türüne sahip olanların, farklı ısı işlemlerinin kıyaslanması

Beş farklı derecede kesim yapılan millerimiz için aynı dereceli kesilenler ile kaynak türü olarak da aynı olanlarının çekme deneyi sonucunda gerilme şekil değiştirme grafiklerinin her biri aynı çizelgede aşağıda gösterilmiştir.



**Şekil 6.32:** 0° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune

$d=14$  mm,

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 32954,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{32954,3}{153,938}$$

$$\sigma = 214,075 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 28831,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{28831,1}{153,938}$$

$$\sigma = 187,29 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 34412,8 \text{ N}$$

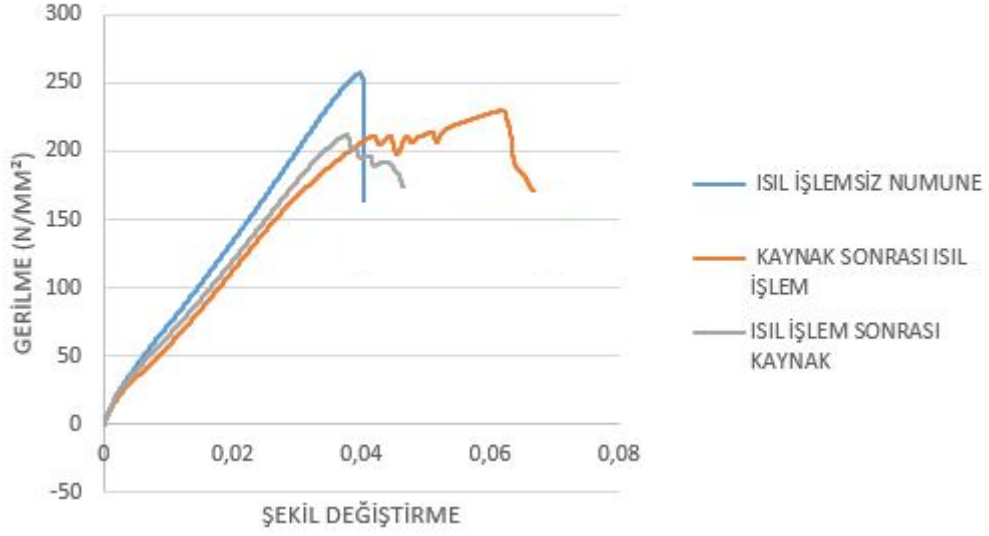
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{34412,8}{153,938}$$

$$\sigma = 223,55 \text{ N/mm}^2$$

0° kesilerek TIG kaynağı ile birleşen numuneler için yapılan çekme deneyi değerlerine bakılırsa ısıl işlem sonrası kaynatılan numuneler için çekme dayanımı TIG kaynaklı numuneler için daha yüksek bir değer olduğu saptanmıştır. 0 derece için ısıl işlem sonrası TIG kaynağıyla kaynatma işlemi uzama miktarını da çekme dayanımını da diğer numunelere kıyasla fazla olduğu saptanmıştır.

### 0° MIG KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN NUMUNELER



Şekil 6.33: 0° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39624,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39624,8}{153,938}$$

$$\sigma = 257,41 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtım işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 35365,6 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{35365,6}{153,938}$$

$$\sigma = 229,74 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

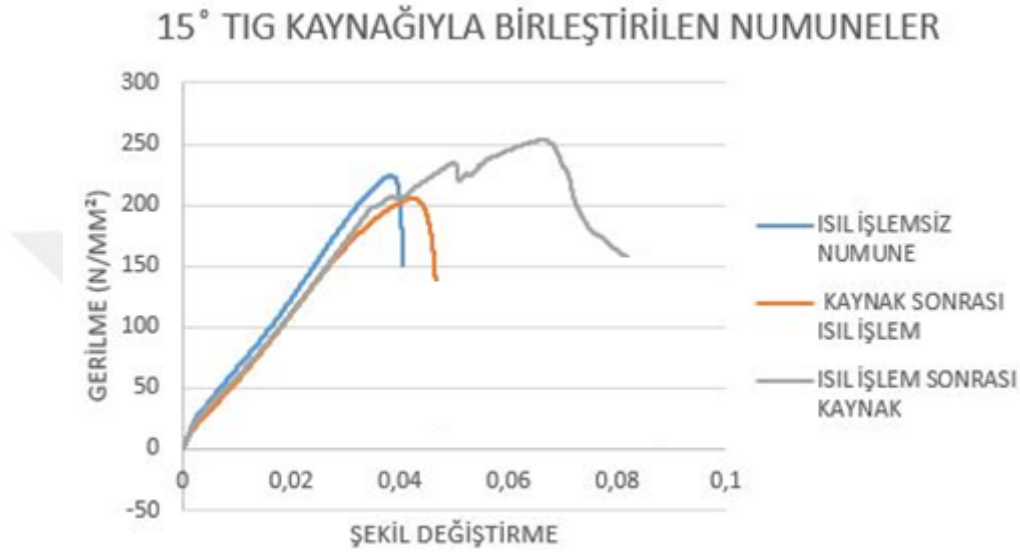
$$F_{\max} = 32621 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{32621}{153,938}$$

$$\sigma = 211,91 \text{ N/mm}^2$$

0 ° kesilerek MIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıl işlemsiz numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. 0 derece için kaynak sonrası ısıl işlemde ise uzama miktarını diğer numunelere göre daha fazla olduğu saptanmıştır.



**Şekil 6.34:** 15° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 34456,7 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{34456,7}{153,938}$$

$$\sigma = 223,83 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 31633 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{31633}{153,938}$$



$$\sigma = 205,5 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

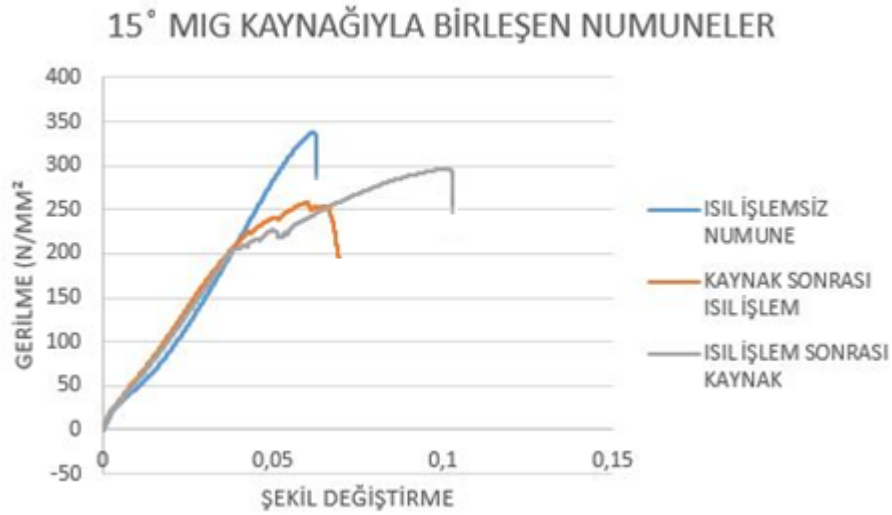
$$F_{\max} = 39024,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39024,3}{153,938}$$

$$\sigma = 253,51 \text{ N/mm}^2$$

15 ° kesilerek TIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıl işlem sonrası kaynatılan numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Yine aynı işlemde uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu saptanmıştır.



Şekil 6.35: 15° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 51953,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{51953,3}{153,938}$$

$$\sigma = 337,5 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39675,2 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39675,2}{153,938}$$

$$\sigma = 257,73 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

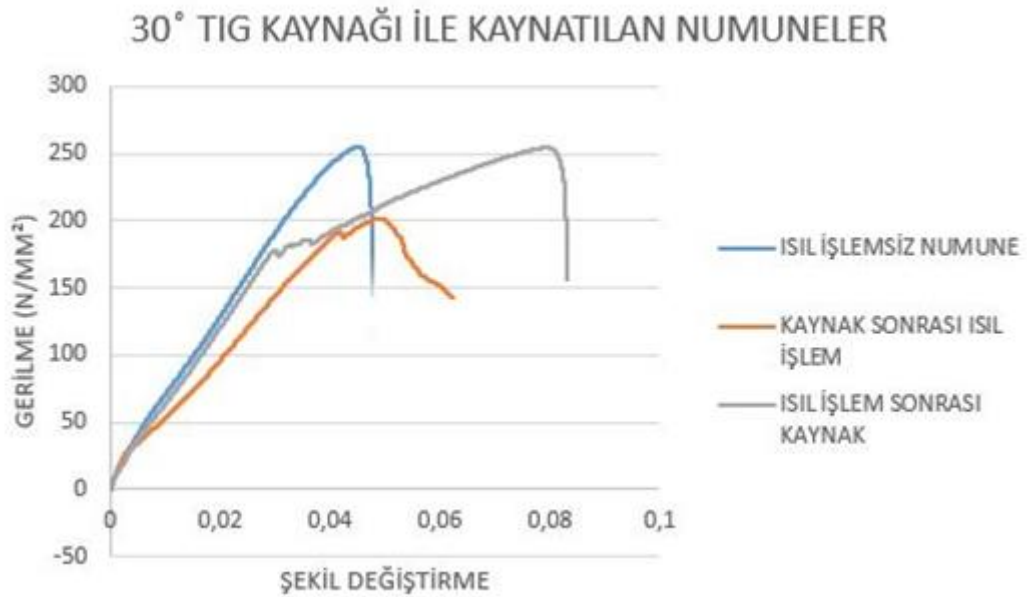
$$F_{\max} = 45648,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{45648,8}{153,938}$$

$$\sigma = 296,54 \text{ N/mm}^2$$

15° kesilerek MIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıl işlem görmeyen numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Isıl işlem sonrası kaynatılan numune içinse uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 6.36:** 30° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39357,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39357,3}{153,938}$$

$$\sigma = 255,67 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 31092,6 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{31092,6}{153,938}$$

$$\sigma = 201,98 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

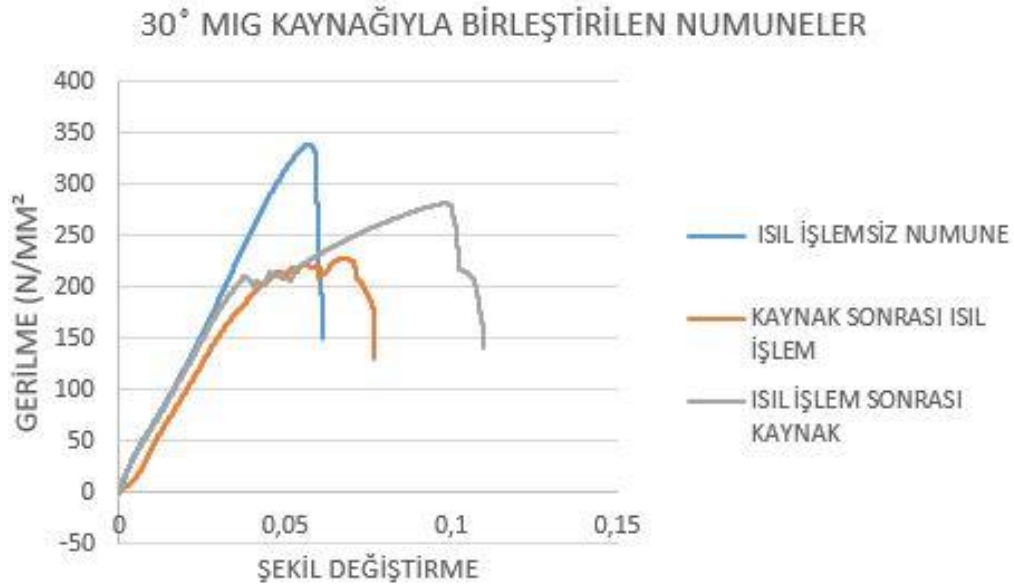
$$F_{\max} = 39174,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39174,3}{153,938}$$

$$\sigma = 254,49 \text{ N/mm}^2$$

30° kesilerek TIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıtıl işlem görmeyen numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Isıl işlem sonrası kaynatılan numune içinse uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 6.37:** 30° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 52172,5 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{52172,5}{153,938}$$

$$\sigma = 338,91 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 35159,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{35159,3}{153,938}$$

$$\sigma = 228,39 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

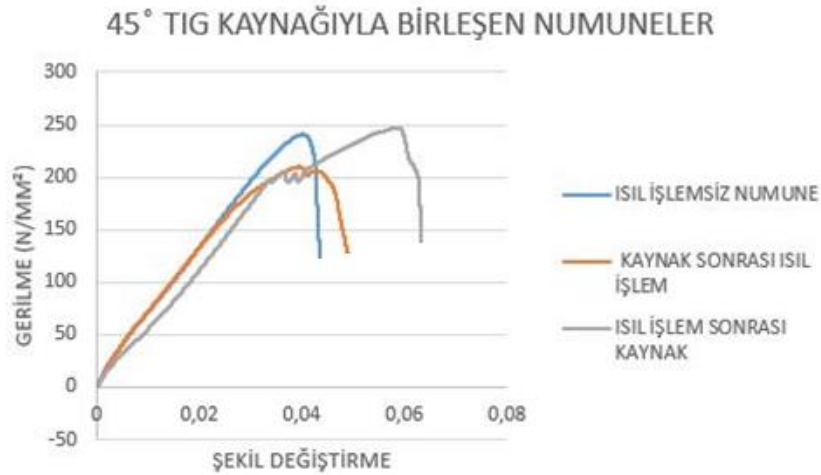
$$F_{\max} = 43306,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{43306,3}{153,938}$$

$$\sigma = 281,3 \text{ N/mm}^2$$

30° kesilerek MIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıtıl işlem görmeyen numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Isıl işlem sonrası kaynatılan numune içinse uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 6.38** : 45° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 37053,5 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{37053,5}{153,938}$$

$$\sigma = 240,7 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 32292,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{32292,1}{153,938}$$

$$\sigma = 209,7 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 37988,7 \text{ N}$$

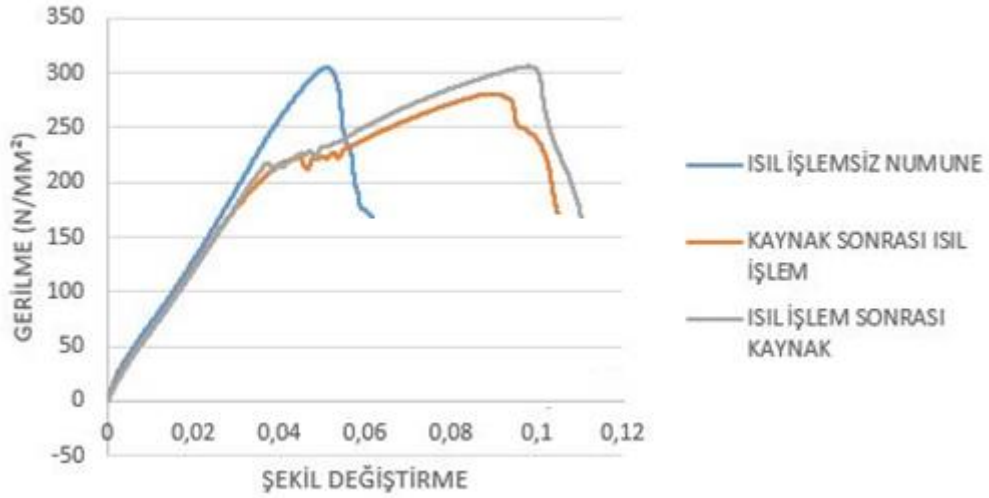
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{37988,7}{153,938}$$

$$\sigma = 246,7 \text{ N/mm}^2$$

45 ° kesilerek TIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıtıl işlemden sonra kaynatılan numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Yine aynı numune için uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

## 45° MIG KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLEN NUMUNELER



Şekil 6.39: 45° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 46894 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{46894}{153,938}$$

$$\sigma = 304,6 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 43307,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{43307,8}{153,938}$$

$$\sigma = 281,3 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

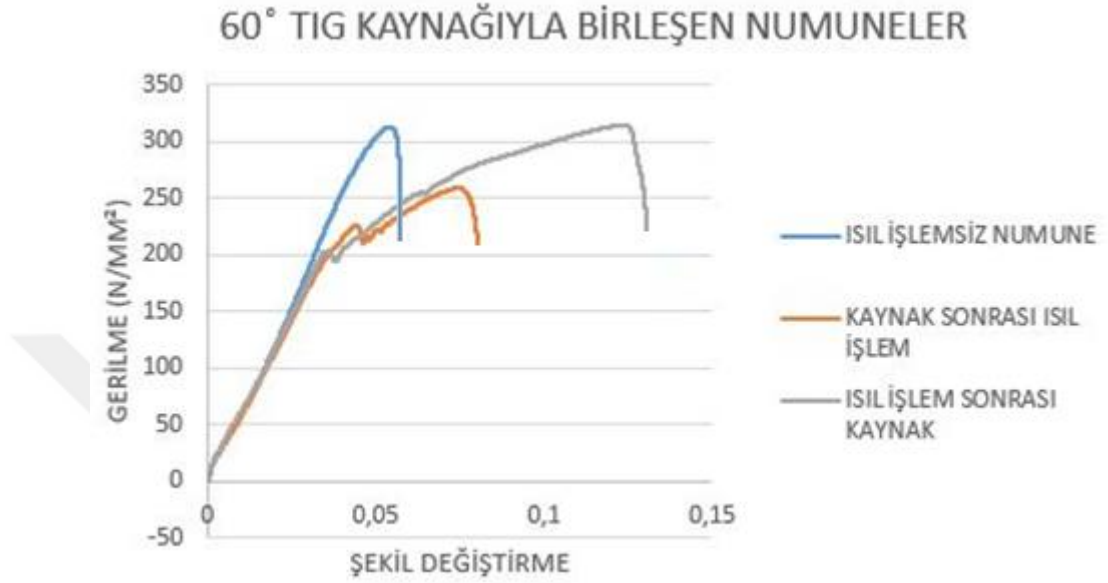
$$F_{\max} = 47132,2 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{47132,2}{153,938}$$

$$\sigma = 306,17 N/mm^2$$

45 ° kesilerek MIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıtılardan sonra kaynatılan numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülmüyor. Yine aynı numune için uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 6.40:** 60° kesilerek TIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 47549,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{47549,8}{153,938}$$

$$\sigma = 308,8 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtıl işlem gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39868,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39868,1}{153,938}$$

$$\sigma = 258,9 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

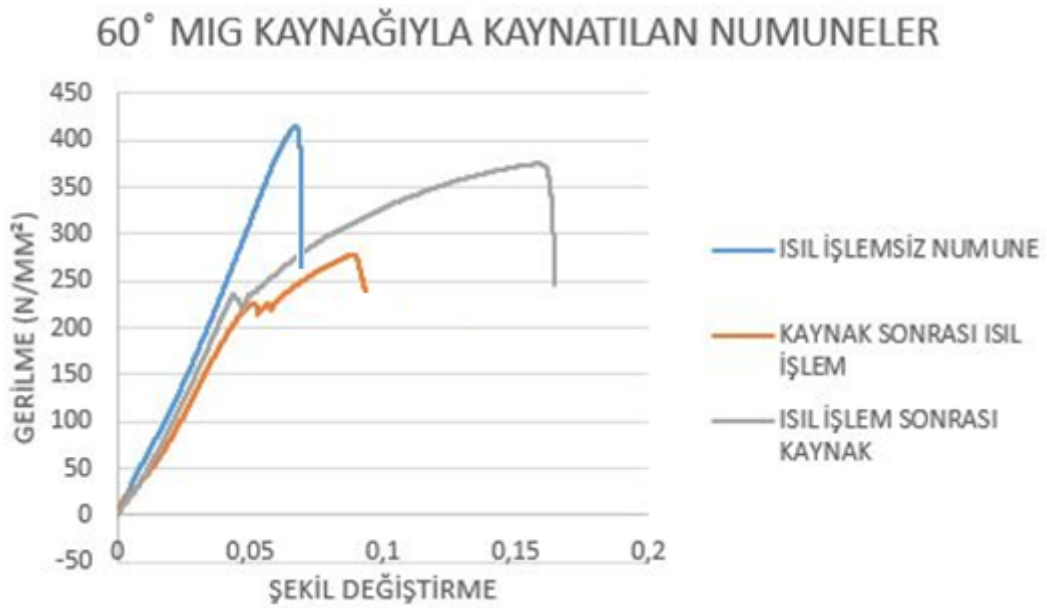
$$F_{\max} = 48544,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{48544,1}{153,938}$$

$$\sigma = 315,3 \text{ N/mm}^2$$

60 ° kesilerek TIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıtılma işleminden sonra kaynatılan numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Yine aynı numune için uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.



**Şekil 6.41:** 60° kesilerek MIG kaynağıyla birleşen numune

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \cdot 14^2 / 4 = 153,938 \text{ mm}^2$$

Isıl işlem görmeyen numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 63914,6 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{63914,6}{153,938}$$

$$\sigma = 415,19 \text{ N/mm}^2$$

Kaynatıldıktan sonra ısıtılma işlemi gören numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,



$$F_{\max} = 42744,5 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{42744,5}{153,938}$$

$$\sigma = 277,6 \text{ N/mm}^2$$

Isıl işlem gördükten sonra kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 57739 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

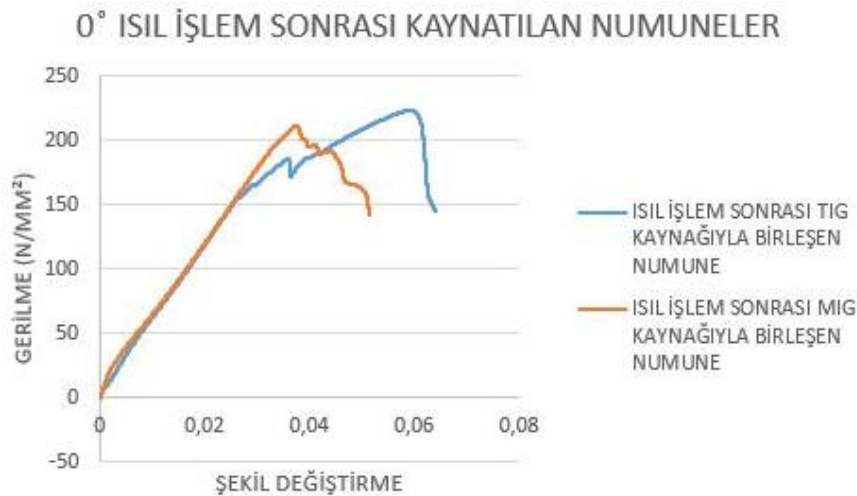
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{57739}{153,938}$$

$$\sigma = 375,07 \text{ N/mm}^2$$

60 ° kesilerek MIG kaynağı ile birleşen numunelerde ısıl işlemsiz numuneler için çekme dayanımı daha yüksek bir değer olduğu görülüyor. Isıl işlem sonrası kaynatılan numune için uzama miktarının diğer numunelere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

### 6.3.2. Aynı derece kesim yapılan millerden, aynı tip ısıl işlem uygulanan numunelerin, farklı kaynakların kıyası

Beş farklı derecede kesim yapılan millerimiz için aynı dereceli kesilenler ile ısıl işlem olarak da aynı olanlarının çekme deneyi sonucunda gerilme şekil değiştirme grafiklerinin her biri aynı çizelgede aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.42: 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler

0° kesilerek TIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 34412,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{34412,8}{153,938}$$

$$\sigma = 223,55 \text{ N/mm}^2$$

0° kesilerek MIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

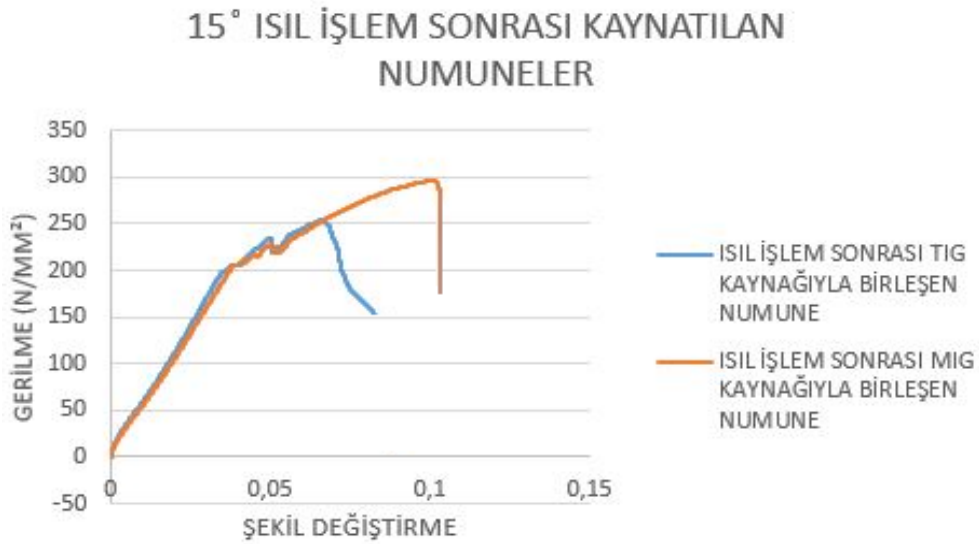
$$F_{\max} = 32621 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{32621}{153,938}$$

$$\sigma = 211,91 \text{ N/mm}^2$$

Her iki kaynak türünün aynı açıda kıyasına bakıldığında TIG kaynağının çekme dayanımının daha yüksek olduğu ve kopma uzaması değerinin de daha fazla olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.43:** 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler

15° kesilerek TIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39024,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39024,3}{153,938}$$

$$\sigma = 253,51 \text{ N/mm}^2$$

15° kesilerek MIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

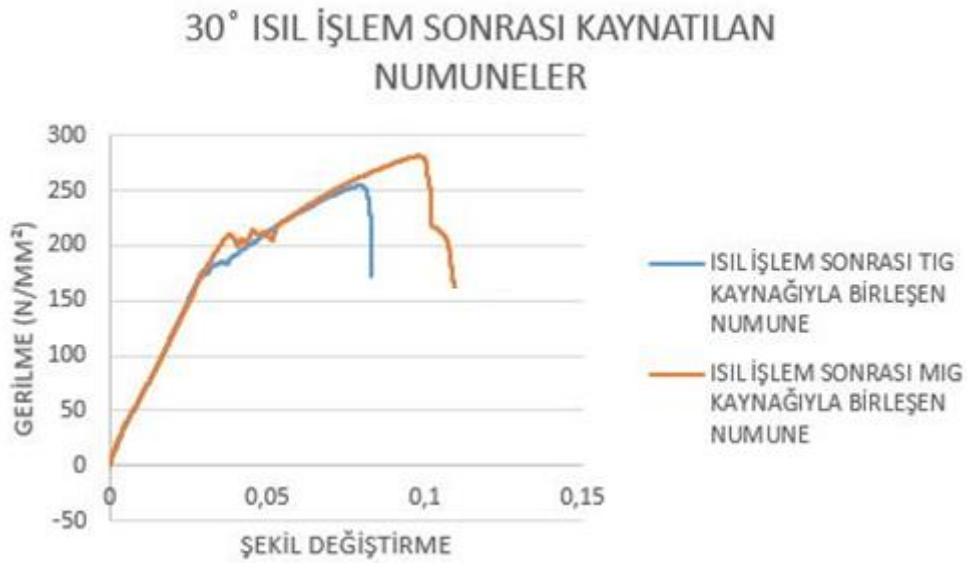
$$F_{\max} = 45648,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{45648,8}{153,938}$$

$$\sigma = 296,54 \text{ N/mm}^2$$

15° kesilip kaynak sonrası ısıl işleme tabi olan numuneler için MIG kaynağıyla birleşme sonucu çekme dayanımı daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine aynı numune için çekme uzaması değeri de daha yüksektir.



**Şekil 6.44:** 30° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler

30° kesilerek TIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39174,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39174,3}{153,938}$$

$$\sigma = 254,49 \text{ N/mm}^2$$

30° kesilerek MIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 43306,3 \text{ N}$$

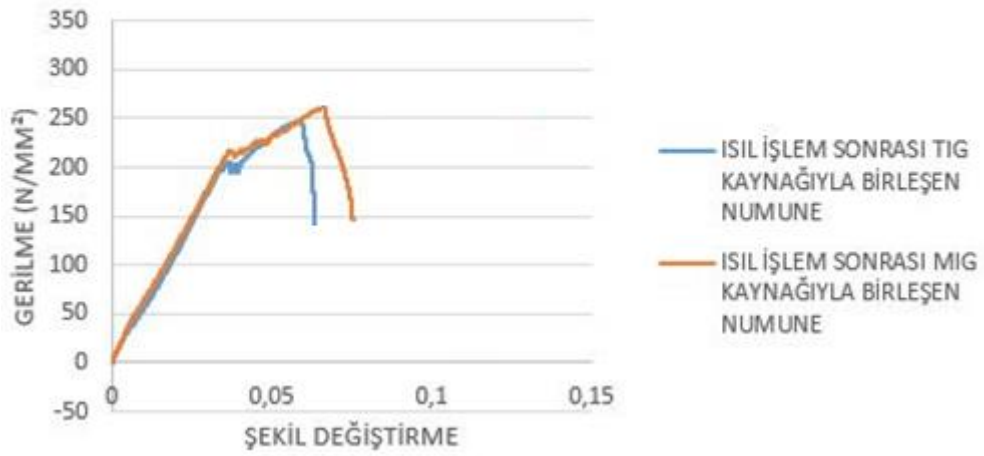
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{43306,3}{153,938}$$

$$\sigma = 281,3 \text{ N/mm}^2$$

30° kesilip kaynak sonrası ısıl işleme tabi olan numuneler için MIG kaynağıyla birleşme sonucu çekme dayanımı daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine aynı numune için çekme uzaması değeri de daha yüksektir.

#### 45° ISIL İŞLEM SONRASI KAYNATILAN NUMUNELER



Şekil 6.45: 45° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler

45° kesilerek TIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 37988,7 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{37988,7}{153,938}$$

$$\sigma = 246,7 \text{ N/mm}^2$$

45 derece kesilerek MIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

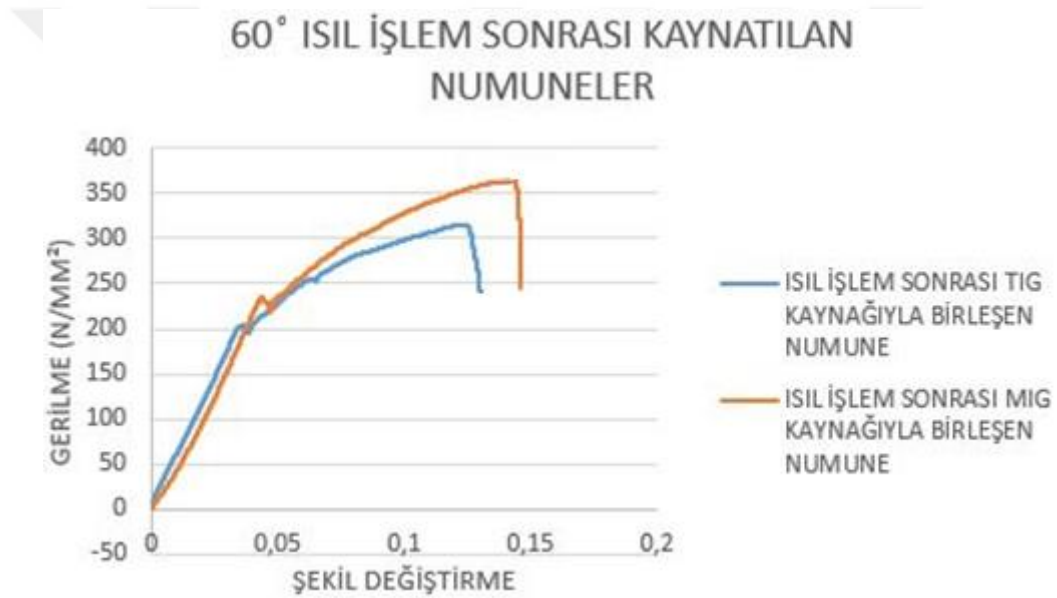
$$F_{\max} = 38807 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{38807}{153,938}$$

$$\sigma = 252,1 \text{ N/mm}^2$$

45° kesilip kaynak sonrası ısıtılma tabi olan numuneler için MIG kaynağıyla birleşme sonucu çekme dayanımı daha yüksek bir değerdedir. Yine aynı numune için çekme uzaması değeri de daha yüksektir.



Şekil 6.46: 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen numuneler

60° kesilerek TIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 48544,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{48544,1}{153,938}$$

$$\sigma = 315,3 \text{ N/mm}^2$$

60° kesilerek MIG kaynağıyla kaynatılan numune için;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 57739 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{57739}{153,938}$$

$$\sigma = 375,07 \text{ N/mm}^2$$



**Şekil 6.47:** 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısılsız numuneler TIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 32954,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{32954,3}{153,938}$$

$$\sigma = 214,075 \text{ N/mm}^2$$

MIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39624,8 \text{ N}$$

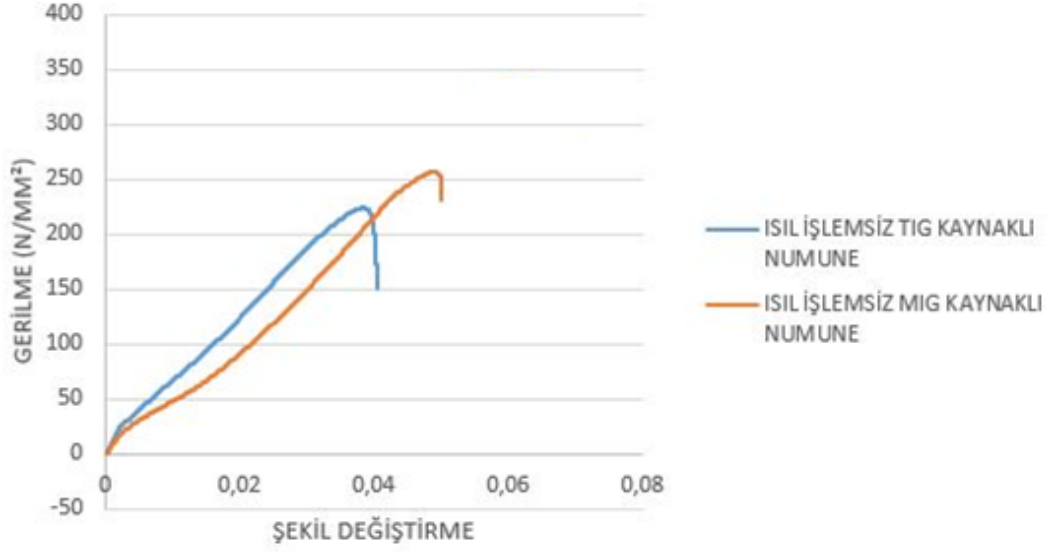
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39624,8}{153,938}$$

$$\sigma = 257,41 \text{ N/mm}^2$$

0° ısılsız numuneler için MIG kaynağıyla kaynatılan numune için çekme dayanımı daha yüksek iken uzama miktarı TIG kaynağında daha fazla olduğu görülmüştür.

## 15° ISIL İŞLEME TABİ TUTULMAYAN NUMUNELER



**Şekil 6.48:** 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısıl işlemsiz numuneler TIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 34456,7 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{34456,7}{153,938}$$

$$\sigma = 223,83 \text{ N/mm}^2$$

MIG kaynağıyla kaynayan numune;

$$F_{\max} = 38730,8 \text{ N}$$

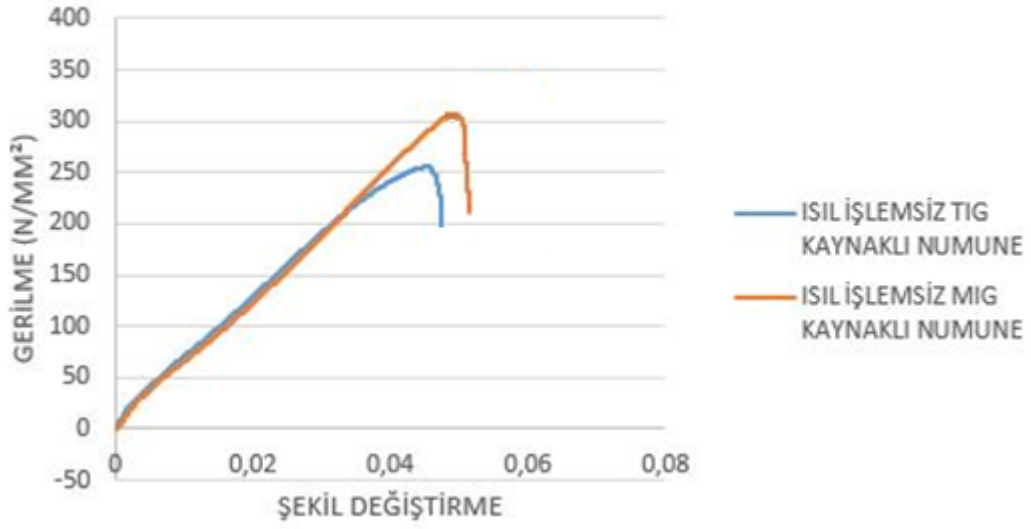
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{38730,8}{153,938}$$

$$\sigma = 251,6 \text{ N/mm}^2$$

15° ısıl işlemsiz numuneler için MIG kaynağıyla kaynatılan numune için çekme dayanımı daha yüksek iken yine aynı numune için uzama miktarı daha fazla olduğu görülmüştür.

### 30° ISIL İŞLEME TABİ TUTULMAYAN NUMUNELER



**Şekil 6.49:** 30° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısıtılmış numuneler TIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 39357,3 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{39357,3}{153,938}$$

$$\sigma = 255,67 \text{ N/mm}^2$$

MIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 46366,1 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

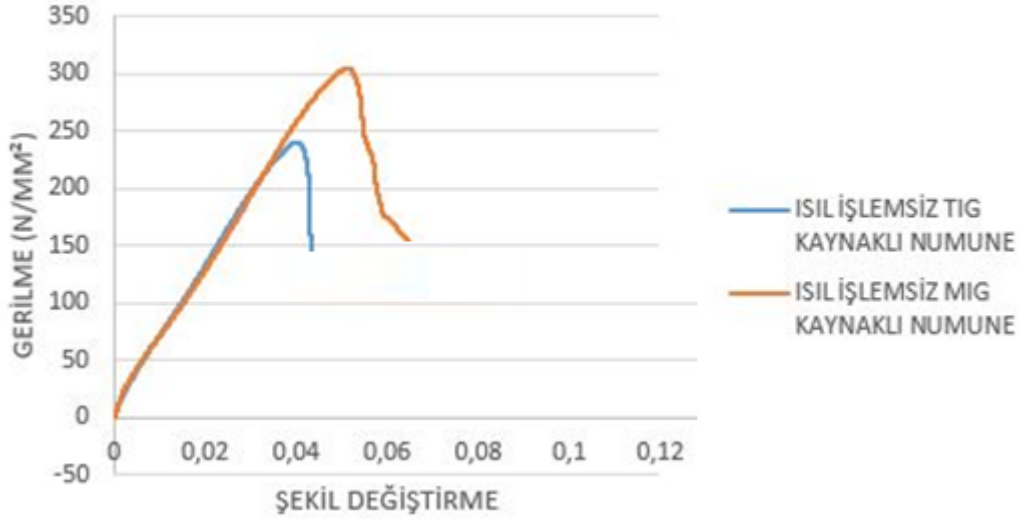
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{46366,1}{153,938}$$

$$\sigma = 301,2 \text{ N/mm}^2$$

30° ısıtılmış numuneler için MIG kaynağıyla kaynatılan numune için çekme dayanımı daha yüksek iken yine aynı numune için uzama miktarı daha fazla olduğu görülmüştür.



## 45° ISIL İŞLEME TABİ TUTULMAYAN NUMUNELER



**Şekil 6.50:** 45° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısılsız numuneler

TIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 37053,5\text{N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{37053,5}{153,938}$$

$$\sigma = 240,7 \text{ N/mm}^2$$

MIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 46894 \text{ N}$$

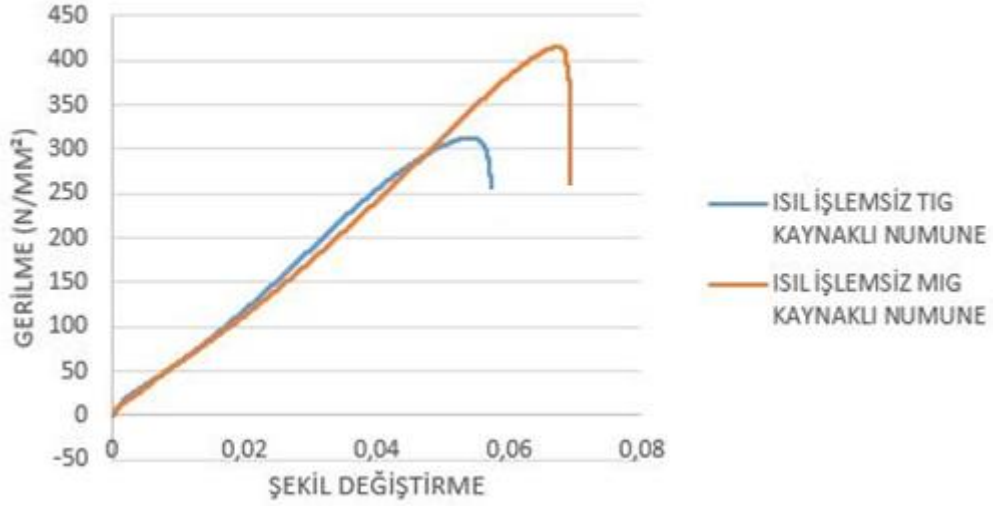
Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{46894}{153,938}$$

$$\sigma = 304,6 \text{ N/mm}^2$$

45° ısılsız numuneler için MIG kaynağıyla kaynatılan numune için çekme dayanımı daha yüksek iken yine aynı numune için uzama miktarı daha fazla olduğu görülmüştür.

## 60° ISIL İŞLEME TABİ TUTULMAYAN NUMUNELER



**Şekil 6.51:** 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağıyla birleşen ısılsız numuneler TIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

$$F_{\max} = 47549,8 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{47549,8}{153,938}$$

$$\sigma = 308,8 \text{ N/mm}^2$$

MIG kaynağıyla kaynayan numune;

Uygulanan maksimum kuvvet,

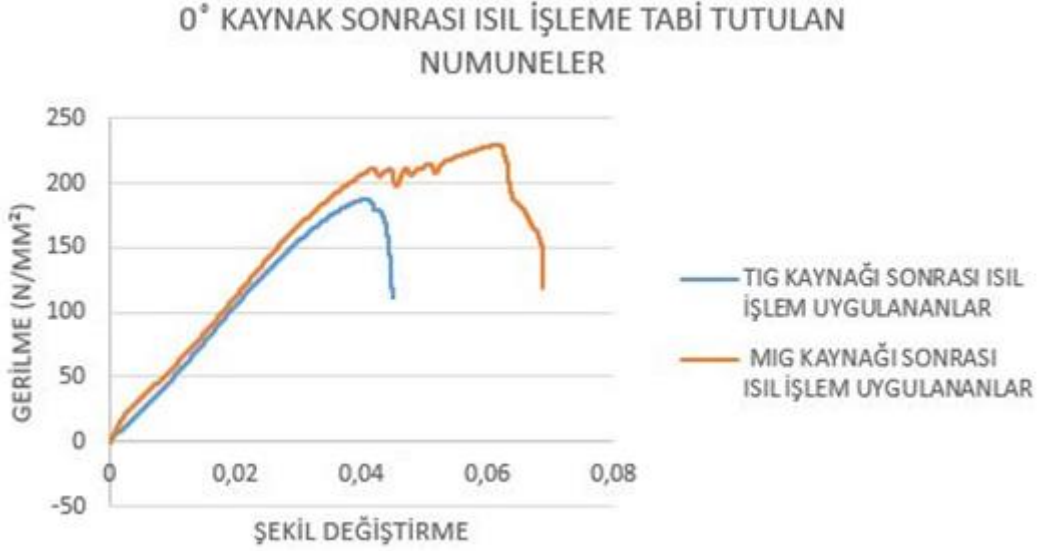
$$F_{\max} = 63914,6 \text{ N}$$

Çekme dayanımı,

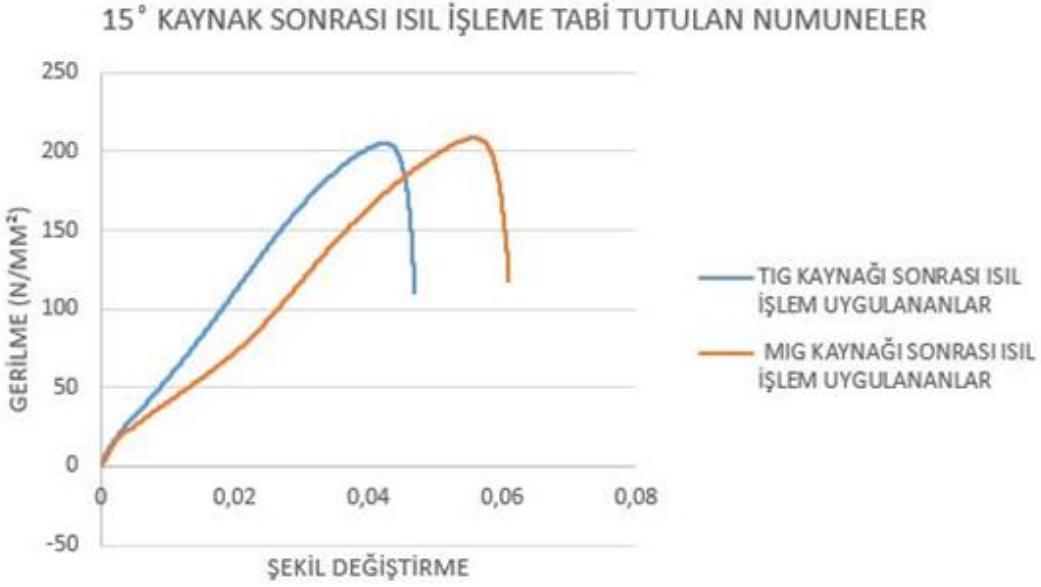
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A} = \frac{63914,6}{153,938}$$

$$\sigma = 415,19 \text{ N/mm}^2$$

60° ısılsız numuneler için MIG kaynağıyla kaynatılan numune için çekme dayanımı daha yüksek iken yine aynı numune için uzama miktarı daha fazla olduğu görülmüştür.



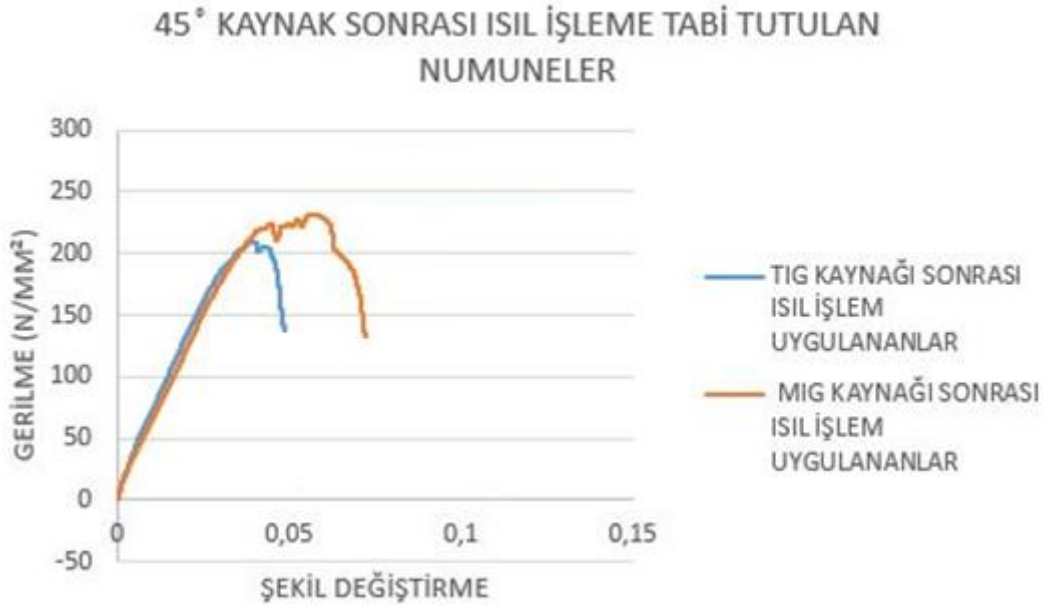
**Şekil 6.52:** 0° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler MIG kaynağı ile kaynatılan numune için çekme değeri ve uzama miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.



**Şekil 6.53:** 15° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler 15° açılı kesimde MIG kaynağı ile kaynatılan numune için çekme değeri ve uzama miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. 0° için gerçekleşen durumun aynısı burada da gözlemlenmiştir.

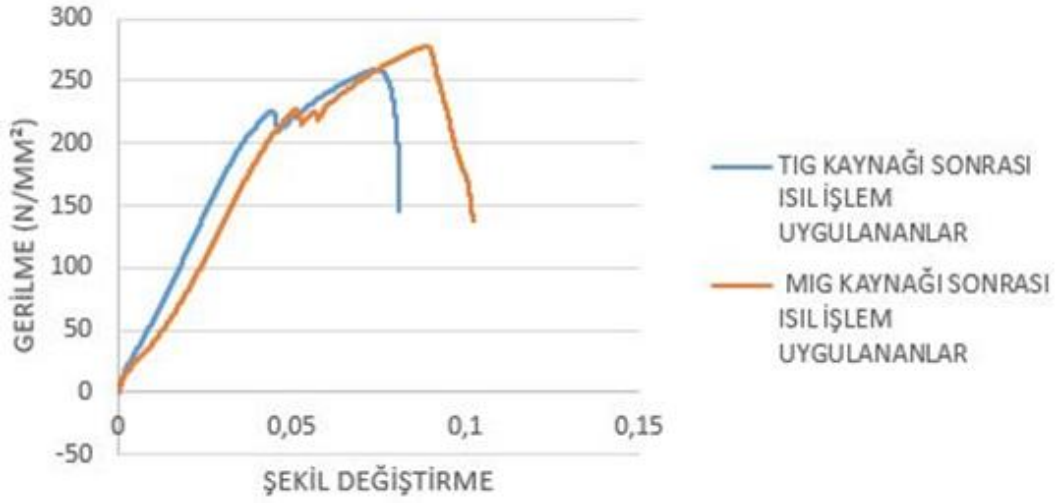


30° açılı kesimde MIG kaynağı ile kaynatılan numune için çekme değeri ve uzama miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. 0° ve 15° kesim için gerçekleşen durumların aynısı burada da gözlemlenmiştir.



45° açılı kesimde MIG kaynağı ile kaynatılan numune için çekme değeri ve uzama miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. 0°, 15° ve 30° kesim için gerçekleşen durumların aynısı burada da gözlemlenmiştir.

### 60° KAYNAK SONRASI ISIL İŞLEME TABİ TUTULAN NUMUNELER

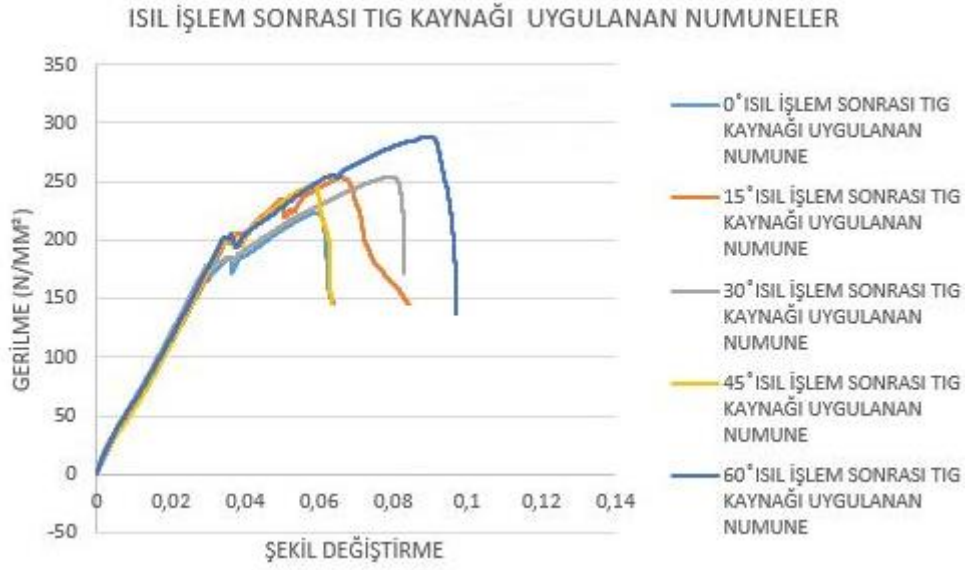


**Şekil 6.56:** 60° kesilerek TIG ve MIG kaynağı sonrası birleşen numuneler

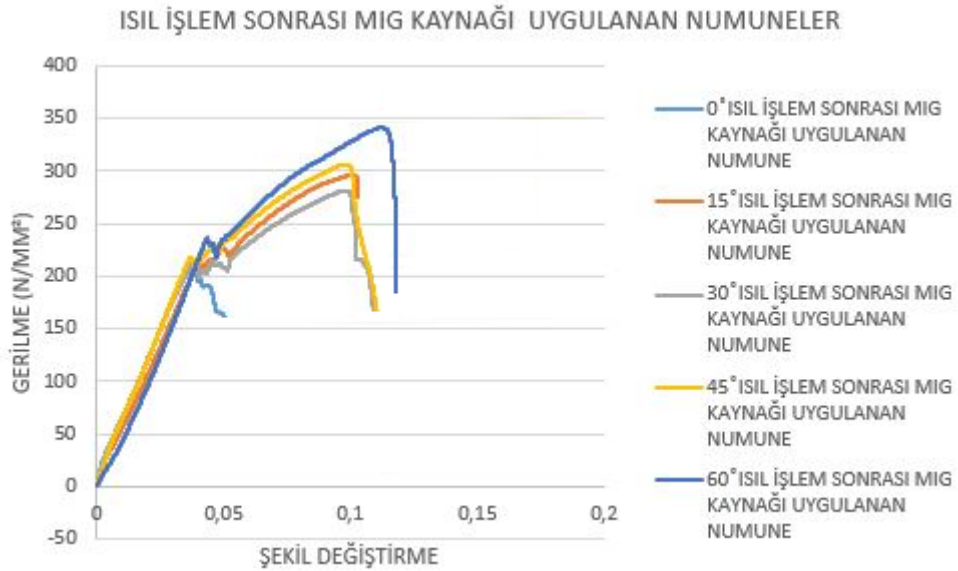
60° açılı kesimde MIG kaynağı ile kaynatılan numune için çekme değeri ve uzama miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. 0°,15°,30° ve 45° kesim için gerçekleşen durumların aynısı burada da gözlemlenmiştir.

#### 6.3.3. Aynı kaynak türüne sahip olanların, aynı tip ısıtılma uygulanan numunelerin, farklı derecelerinin kıyaslanması

Beş farklı derecede kesim yapılan millerimiz için aynı kaynakla birleşenler ile ısıtılma olarak da aynı olanlarının farklı derecede kesilmiş olanlar arasındaki çekme deneyi sonucunda gerilme şekil değişirme grafiklerinin her biri aynı çizelgede aşağıda gösterilmiştir. Gösterilen bu çizelgelerde numunelerin ısıtılma ve kaynak türü yönüyle aynı tutulup, farklı açılardaki kesimin getirmiş olduğu mekanik değer farklarının kıyaslanması sağlanmıştır. Bu kıyasla hangi açıda kesilen numuneler için daha güvenilir seçim yapılabileceği ortaya konmuştur.



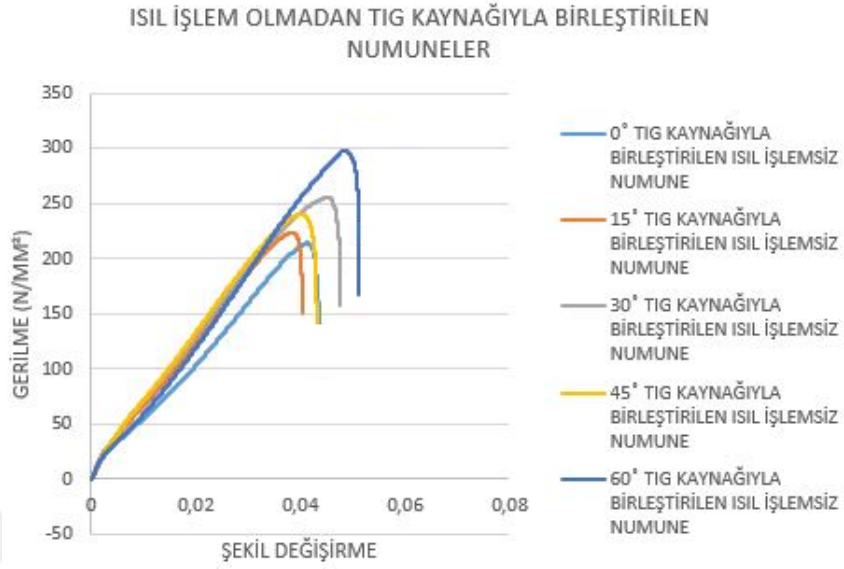
**Şekil 6.57:** Farklı derecede kesilerek ısıl işlem sonrası TIG kaynağıyla birleşen numuneler Isıl işlem sonrası TIG kaynağına maruz numunelerin mekanik değerleri kıyaslandığında 60° kesim yapılan numune için daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahip olduğunu görmekteyiz. 60° için kaynatılan alanın fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olmasının kanıtıdır.



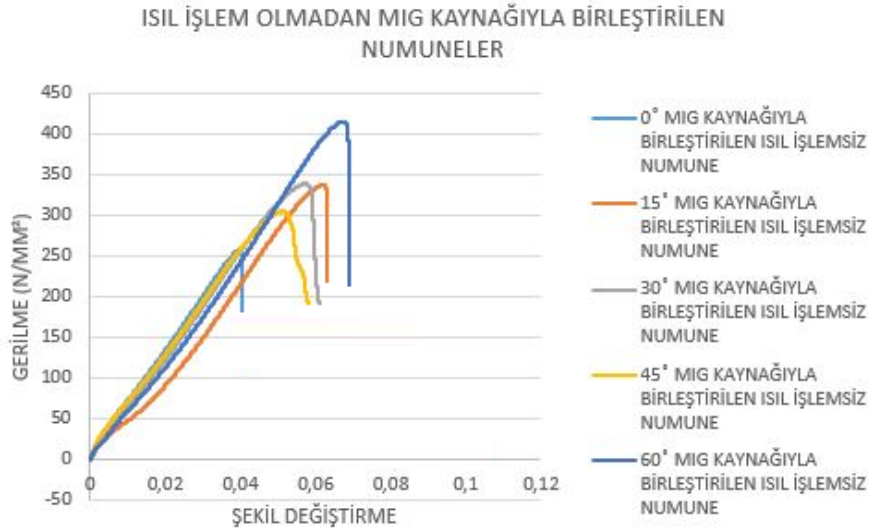
**Şekil 6.58:** Farklı derecede kesilerek ısıl işlem sonrası MIG kaynağıyla birleşen numuneler

Isıl işlemin ardından MIG kaynağına maruz numuneler içinde yine TIG kaynağında olduğu gibi mekanik değerleri kıyaslandığında 60° kesim yapılan numune için daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahip olduğunu görmekteyiz. 60° için kaynatılan alanın

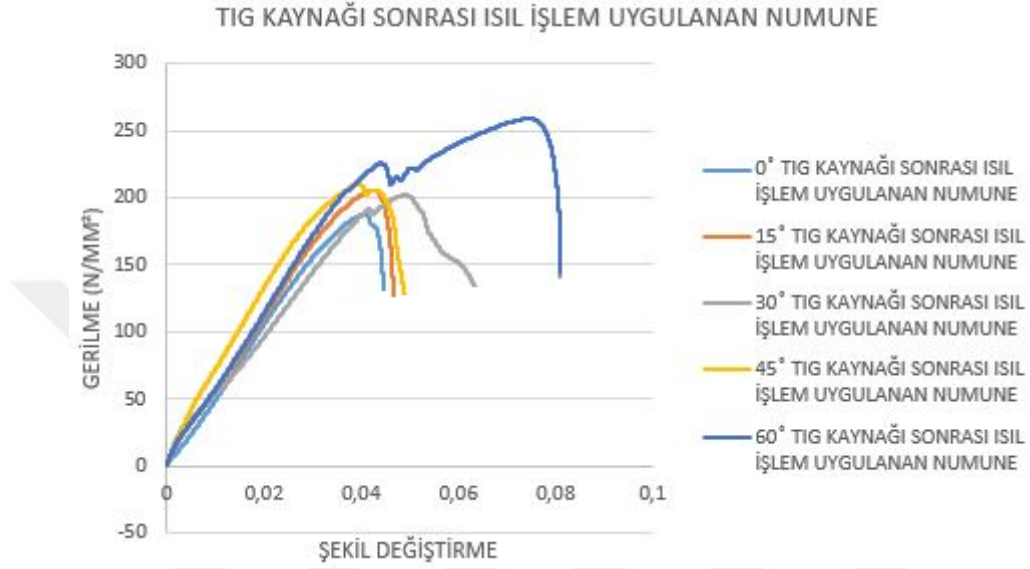
fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olmasının kanıtıdır.



Isıl işlem uygulanmadan TIG kaynağına maruz numunelerin mekanik değerleri karşılaştırıldığında yine 60° kesim yapılan numune için daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahiptir. 60° için kaynatılan alanın fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması ısı işlemsiz numuneler için de çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.



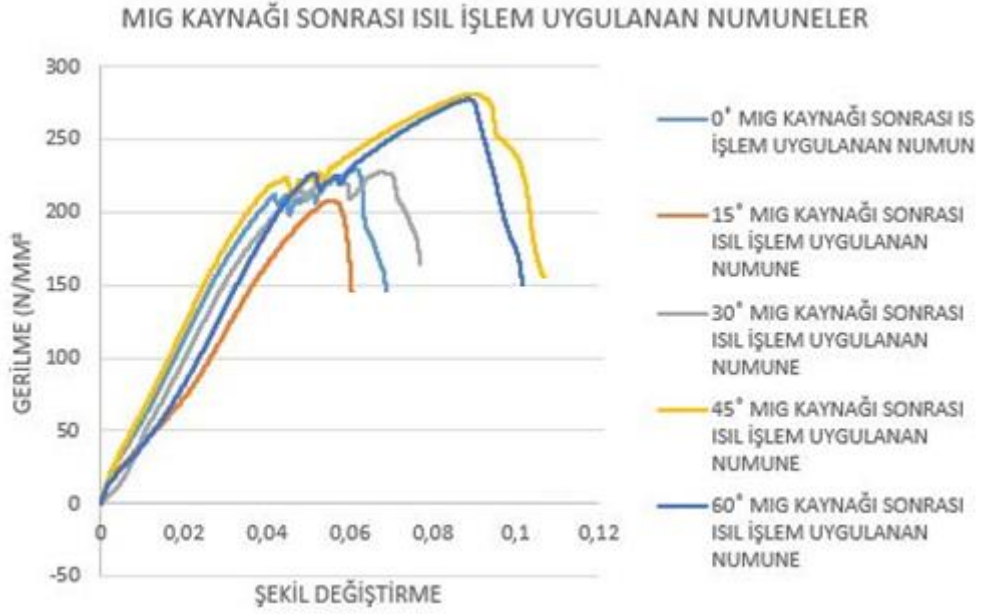
Isıl işlem uygulanmadan MIG kaynağına maruz numunelerin mekanik değerleri karşılaştırıldığında yine TIG kaynağında olduğu gibi 60° kesim yapılan numune için daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahiptir. 60° için kaynatılan alanın fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması ısıl işlemsiz numuneler için de çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.



**Şekil 6.61:** Farklı derecede kesilerek TIG kaynağıyla birleşmeden sonra ısıl işlem uygulanan numuneler

TIG kaynağı sonrası ısıl işleme maruz numunelerin mekanik değerleri karşılaştırıldığında yine 60° için daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahiptir. 60° de kaynatılan alanın derecenin getirdiği özellikten dolayı fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması ısıl işlem sonrası kaynatılan numuneler için de çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.





**Şekil 6.62:** Farklı derecede kesilerek MIG kaynağıyla birleşmeden sonra ısı işlem uygulanan numuneler

MIG kaynağı sonrası ısıleme maruz numunelerin mekanik değerleri karşılaştırıldığında 45° ve 60° için yüksek çekme dayanımı ve kopma uzamasına sahip olduğu görülmekte. Her iki derece için kaynatılan alanın derecenin getirdiği özellikten dolayı fazla olmuş olması ve çekme yönünün de kaynak bölgesinin yoğun olduğu ekseninde olması kaynak sonrası ısı işlemin uygulandığı numuneler için de çıkan mekanik değerlerin diğer açılı kesimlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ve deneyler neticesinde kazanda kullanılan transmisyon millerinin ilk deney yapılan ısıtma işlemler sonucu kopma uzamaları artırılarak bu noktadaki sorun çözülmüştür. Bu ısıtma işlemi vasıtasıyla kazan parçalarına birleştirilen millerdeki çatlaklar ve su kaçaqları giderilmiştir. Uygulanan her bir ısıtma işlemi ve soğutma şekillerine göre bu uzama miktarları grafikler ve çizelgeler yardımıyla ortaya konulmuştur. SEM görüntüleri vasıtasıyla da kopan numunelerin iç yapılarındaki detaylar ortaya konulmuştur.

Su soğutmalı numuneler için çekme dayanımı değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. 30 dakika ve 60 dakika ısıtma işlemi sonrasında su soğutmaya tabi tutulan numuneler için kopma uzaması değerleri aynı işlemler sonucu hava soğutmaya maruz kalan numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kendiliğinden soğumaya bırakılan numunelerin çekme dayanımının su soğutmaya göre düşük olduğu, yüzde uzamasının ise daha yüksekte kaldığı ortaya konulmuştur.

Açılı kesim yapılarak birleştirilen numunelerde ise kaynak yönteminin ve ısıtma işleminin bu birleşimdeki mekanik etkisi gözlemlenmiştir. Her bir kaynak yönteminin açıyla kesilen millerdeki etkisi ısıtma işleminin de getirdikleriyle beraber net bir şekilde ortaya konulmuştur.

Isıtma işlemi üç farklı mil gruplarına uygulanmış ve beş farklı açıya ek olarak iki farklı da kaynak metodu uygulanmıştır. Bu üç parametre için ikisi sabit tutularak diğer parametrenin getirdiği fark yapılan grafikler vasıtasıyla ölçülmüştür.

Açılı kesimlerin kıyaslanmasında en yüksek dereceli açı olan 60 ° için mukavemet değerlerinin diğer açıyla kesilen numunelere göre daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bu açıyla kesilen millerin getirmiş olduğu kaynak bölgesi miktarının fazla olmasından dolayı, çekme cihazının aksel olarak uyguladığı yükte daha fazla oranda kaynağa maruz kalmaktadır. Bu durum da diğer açıyla kesimlere göre daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşılmasına yol açmaktadır.

Isıtma işleminin malzeme mukavemet değerlerine getirdiklerine bakacak olursak, numuneye uygulanan ısıtma işlemi ardından kaynak yapılması diğer durumlara göre fark oluşturmuştur. Isıtma işleminin ardından özellikle MIG kaynağı ile malzeme daha mukavemet değerlerinde artış gerçekleşmiş, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Her bir açıyla kesilen miller için, açı değeri arttıkça millerin kaynak miktarı artmasından dolayı hem çekme dayanımları hem de yüzde kopma uzama değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. MIG ve TIG kaynak türleriyle yapılan işlemler kıyaslandığında ise, MIG kaynağı metodunun tüm ısıtma işlem uygulamaları neticesinde daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değeri ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

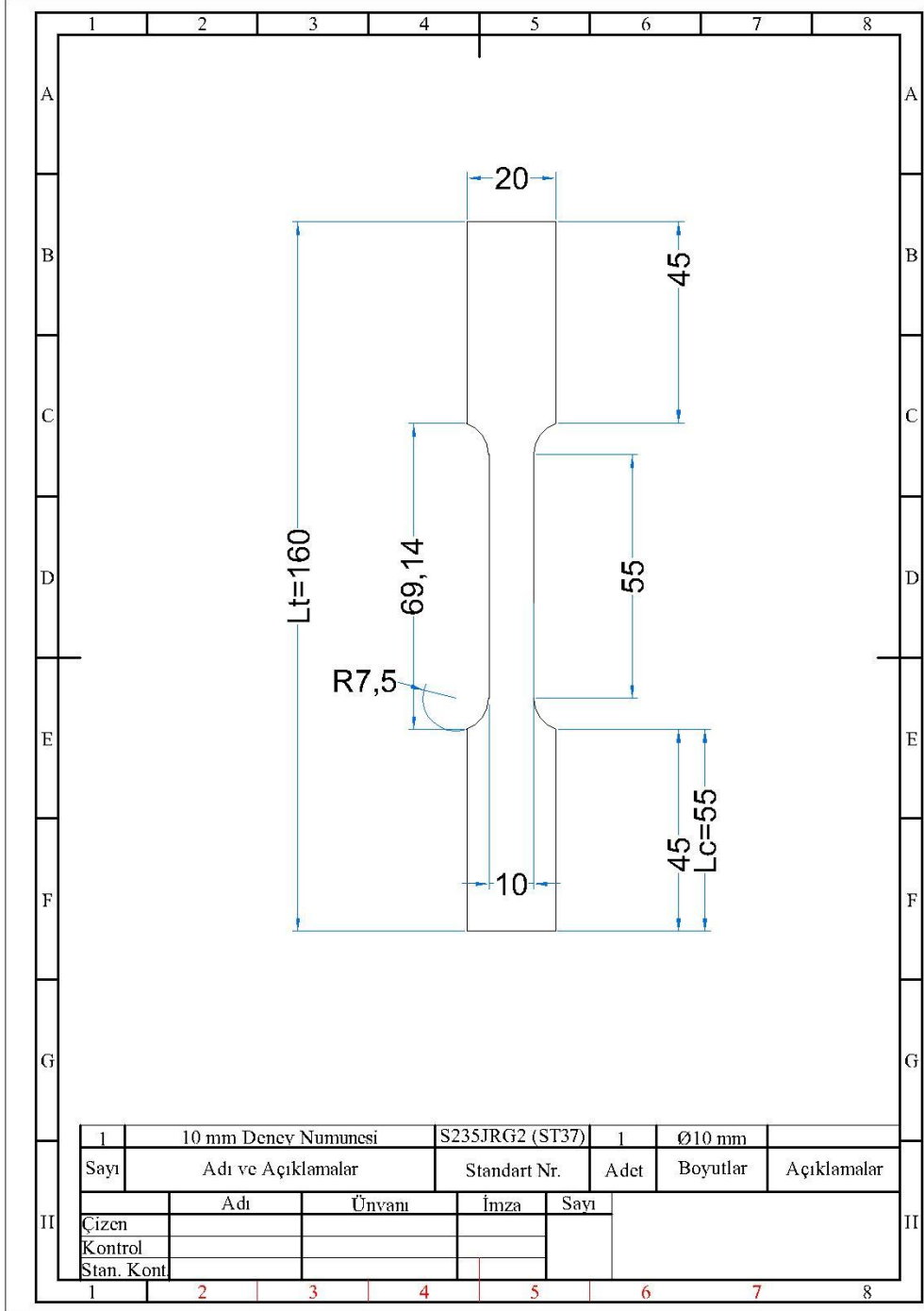
- [1] **Carisa Design Radiators** <<https://carisa.com.tr/>> Erişim: 22.09.2019.
- [2] **Sinan Köksal N. & Uzkut M. & Sadık Ünlü B.** (2004). Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşleme Değişimi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6 Sayı: 2 s. 95-100 Mayıs 2004.
- [3] **Uzkut M. & Özdemir İ.** (2001). Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 3 Sayı: 3 s. 65-73 Ekim 2001.
- [4] **Çelik D.** (2018). SAE 4340 Çeliğinde Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [5] **Çökelek M.** (2001). Islah Çeliklerinde, Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma Limitine Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [6] **Gülgen İ.** (2008). İş makinelerinde tırnakları üretiminde kullanılan az alaşımli çeliklerin ısıl işlemi (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya
- [7] **Seçil E.** (2005). Çeliklerin Isıl İşlem Altında Gösterdiği Yapısal Değişikliklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (Sem) ve Mössbauer Spektroskopisi İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- [8] **Uygun V.** (2004). P91 Çeliği İle Farklı Metallerin Kaynağı ve Uygulanan Isıl İşlemlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- [9] **TSB ENERGY** < <https://www.tsbenergy.com/tr/>> Sıcak Su Kazan Tanımı Erişim: 25.09.2019.
- [10] **Hascometal-Çelikler Hakkında Genel Bilgiler** <<http://www.hascometal.com>> Erişim: 27.09.2019.
- [11] **Karaaslan A.** (2010). Mühendislik Alaşımları İçin Faz Diyagramları. Literatür yayınlar, s. 344, İstanbul.
- [12] **TS 1112 EN 10052** (2002). Demir Ve Çelikler İçin Isıl İşlem Terimleri Sözlüğü
- [13] **Metals Handbook** (1993): “Heat Treatments of Steels”, 10th edition , ASM.
- [14] **Bargel, H.J. & Schulze, G.** (1995). Malzeme Bilgisi Cilt II. Güleç Ş., Aran A. 174 s.İTÜ Makine Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [15] **Yüksel M.** (2003). TMMOB Makine Müh Odası Malzeme Bilimleri Serisi Cilt 1 Yayın No: MMP/2003/271/2. Denizli.
- [16] **Bartın Üni.** < <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/>> Erişim:27.09.2019
- [17] **Ulu S.** (2004). Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı. Afyon.
- [18] **TS EN ISO 6892-1** (2010). Metalik Malzemeler, Çekme Deneyi, Bölüm 1:Ortam Sıcaklığında Deney Metodu.

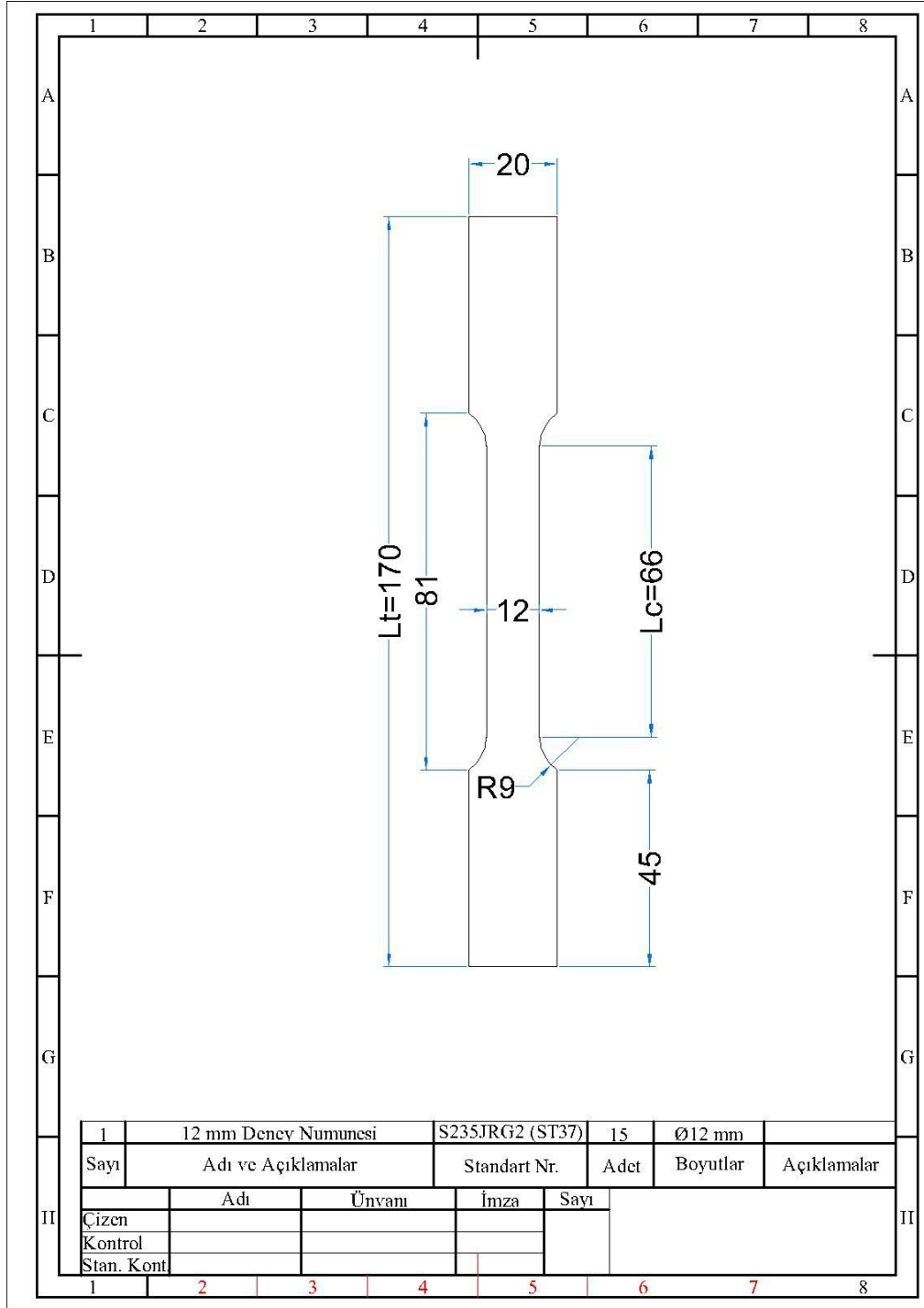
- [19] **Karamış M.B.** (2004). Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Genel İmal Usulleri Ders Kitabı
- [20] **Kayalı ES. & Ensari C. & Dikeç F.** (1996). Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [21] **DAVIS J.R.** (2004). Introduction to Tensile Testing, Tensile Testing, 2nd Edition,

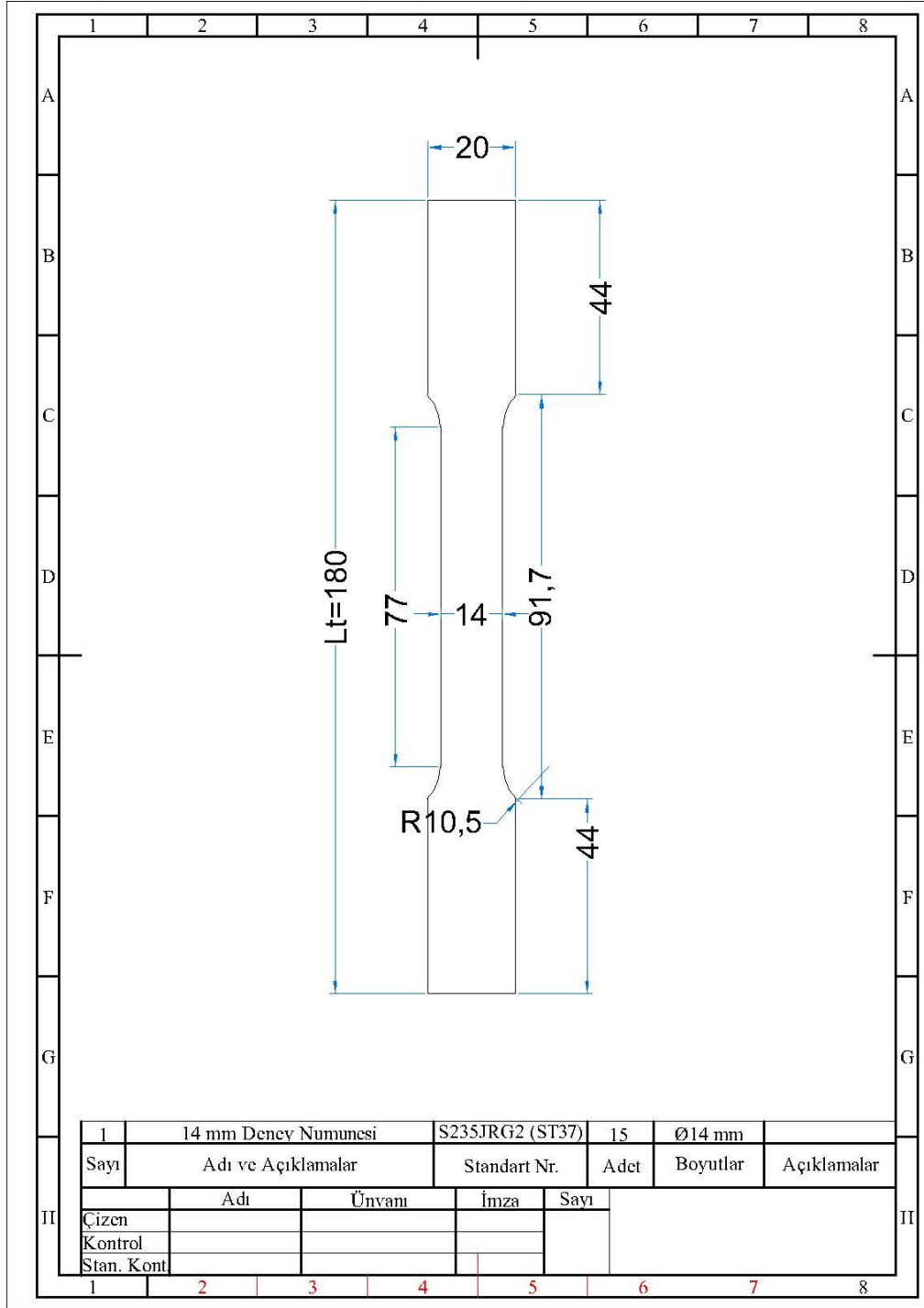


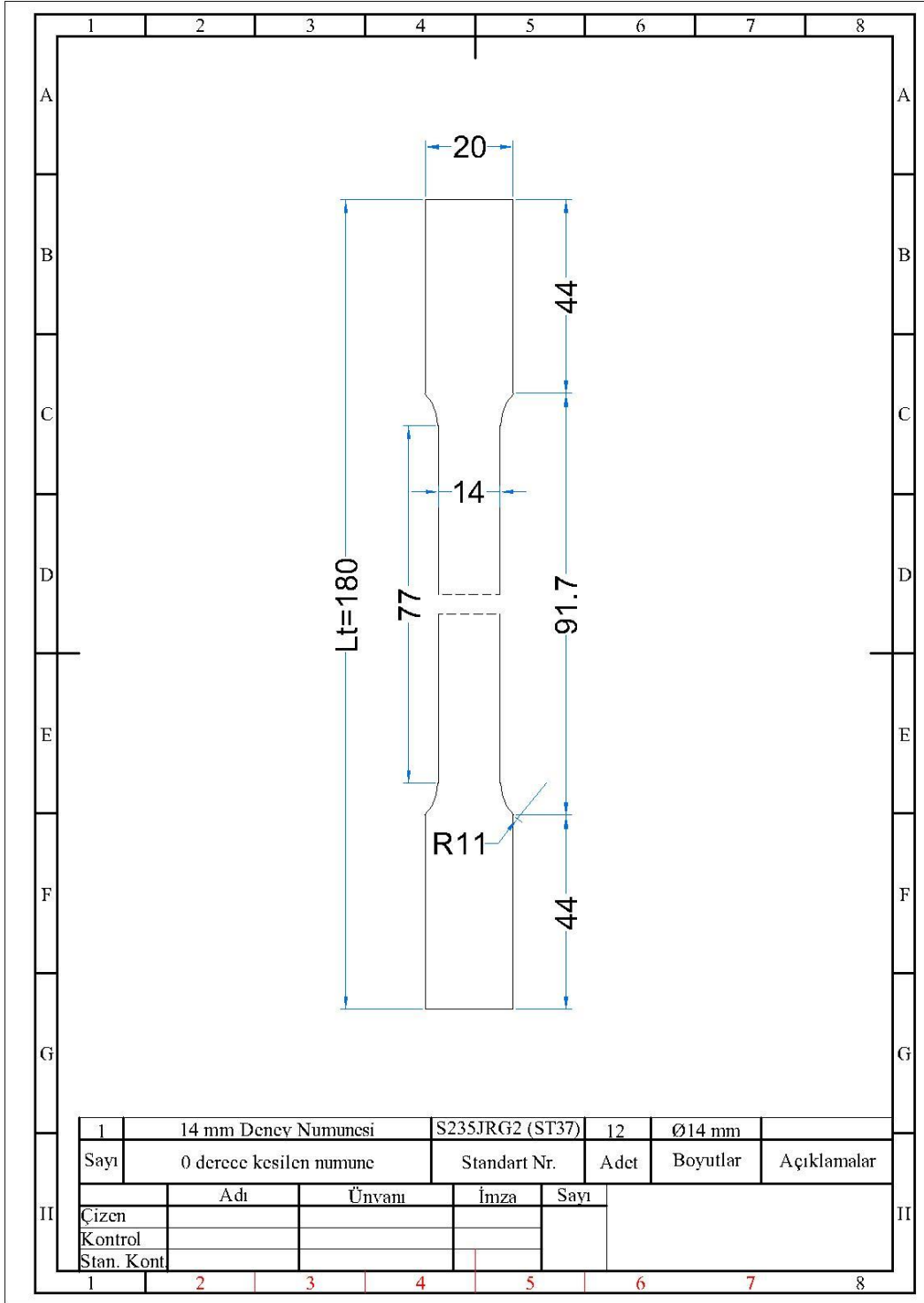
## EKLER

### Ek A: Çekme Deneyi Numune Teknik Resimleri

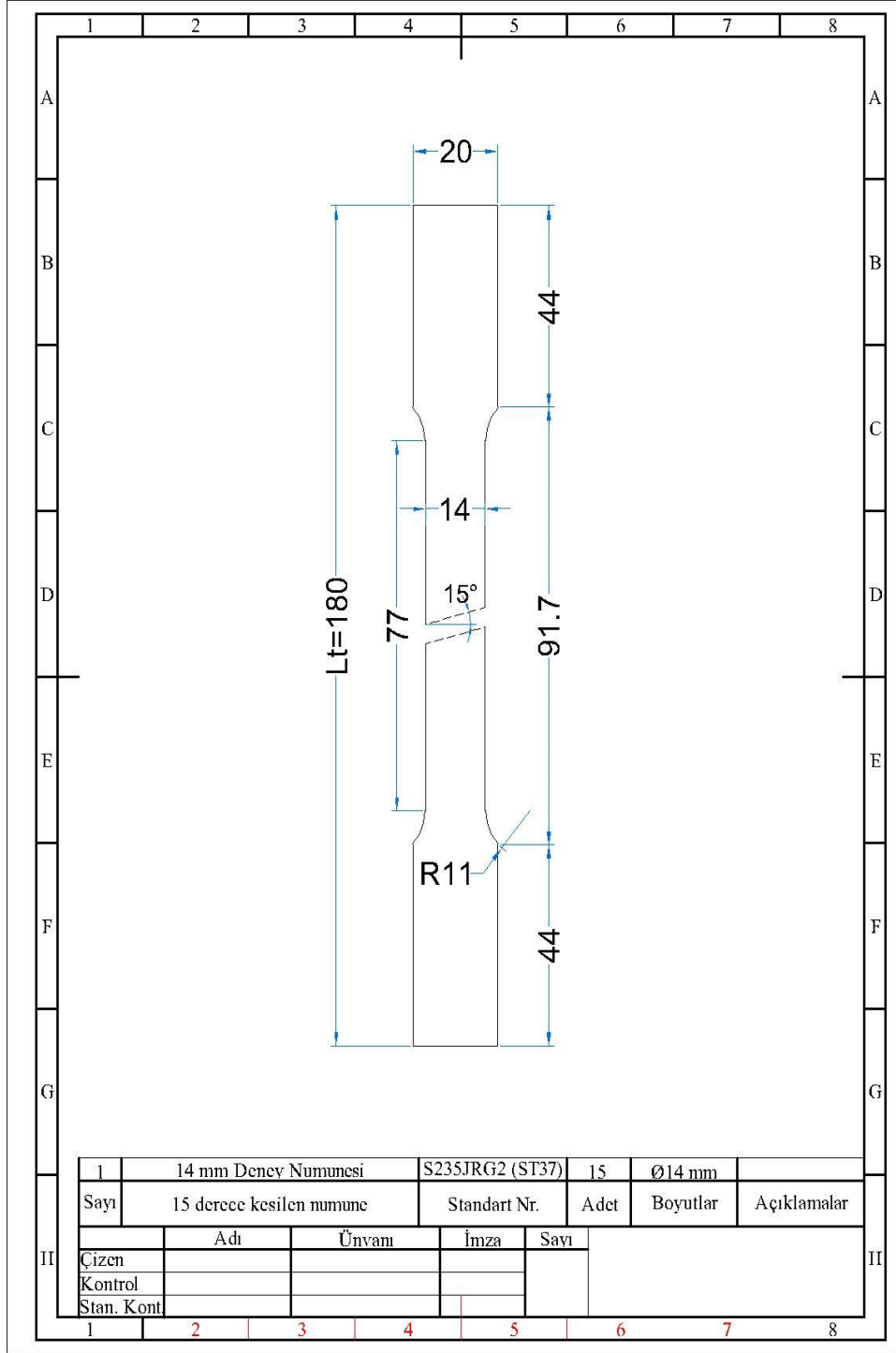


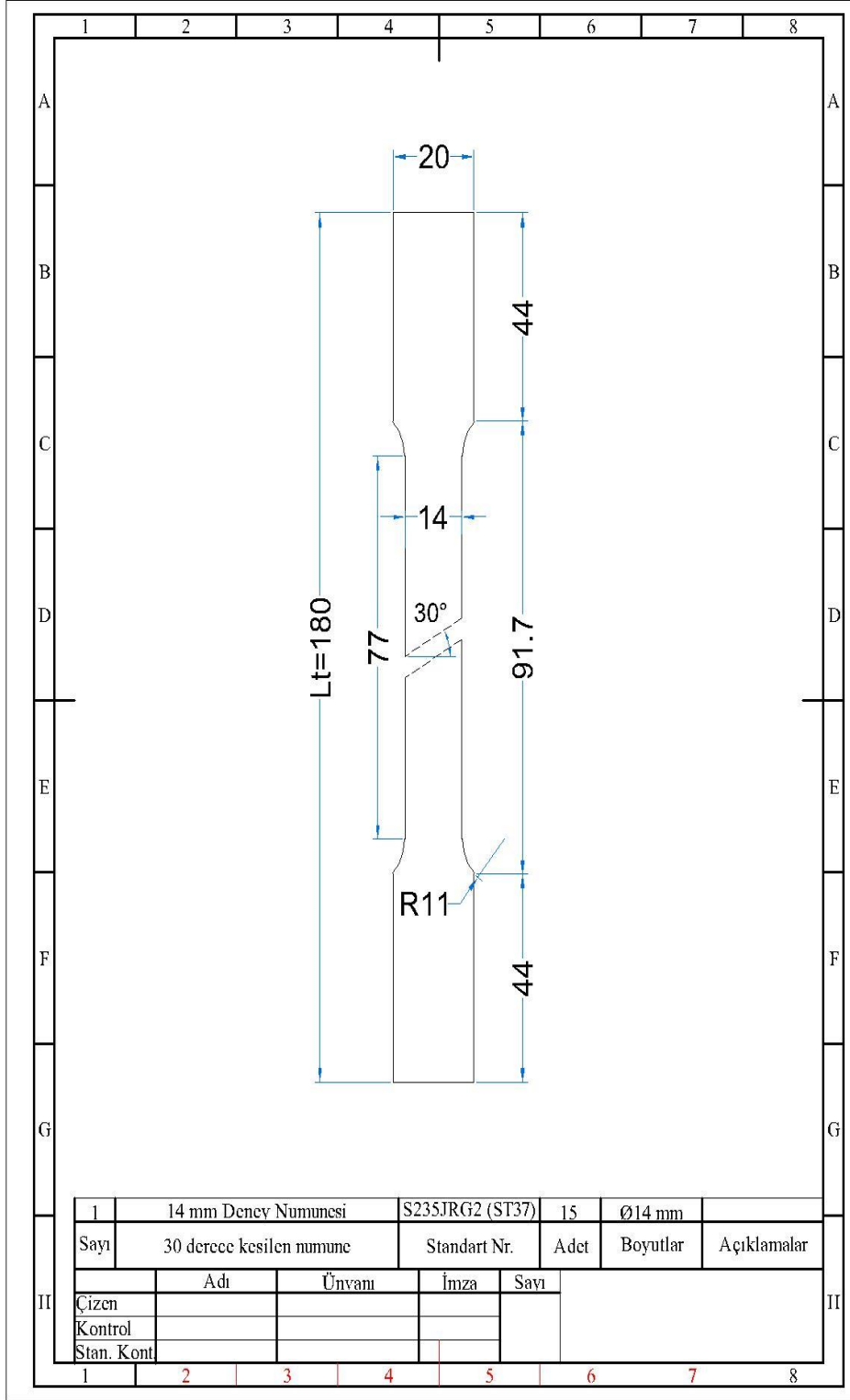


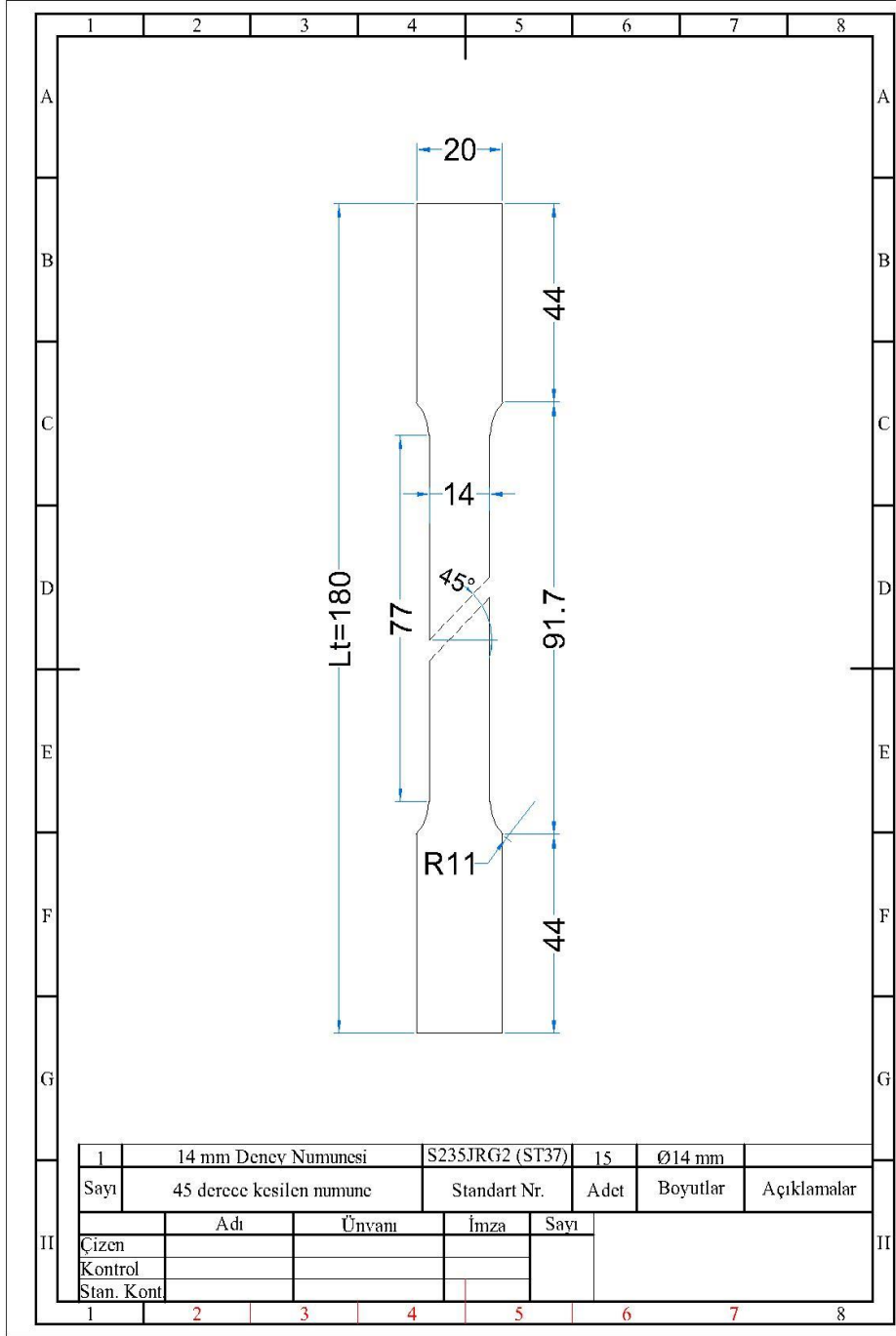


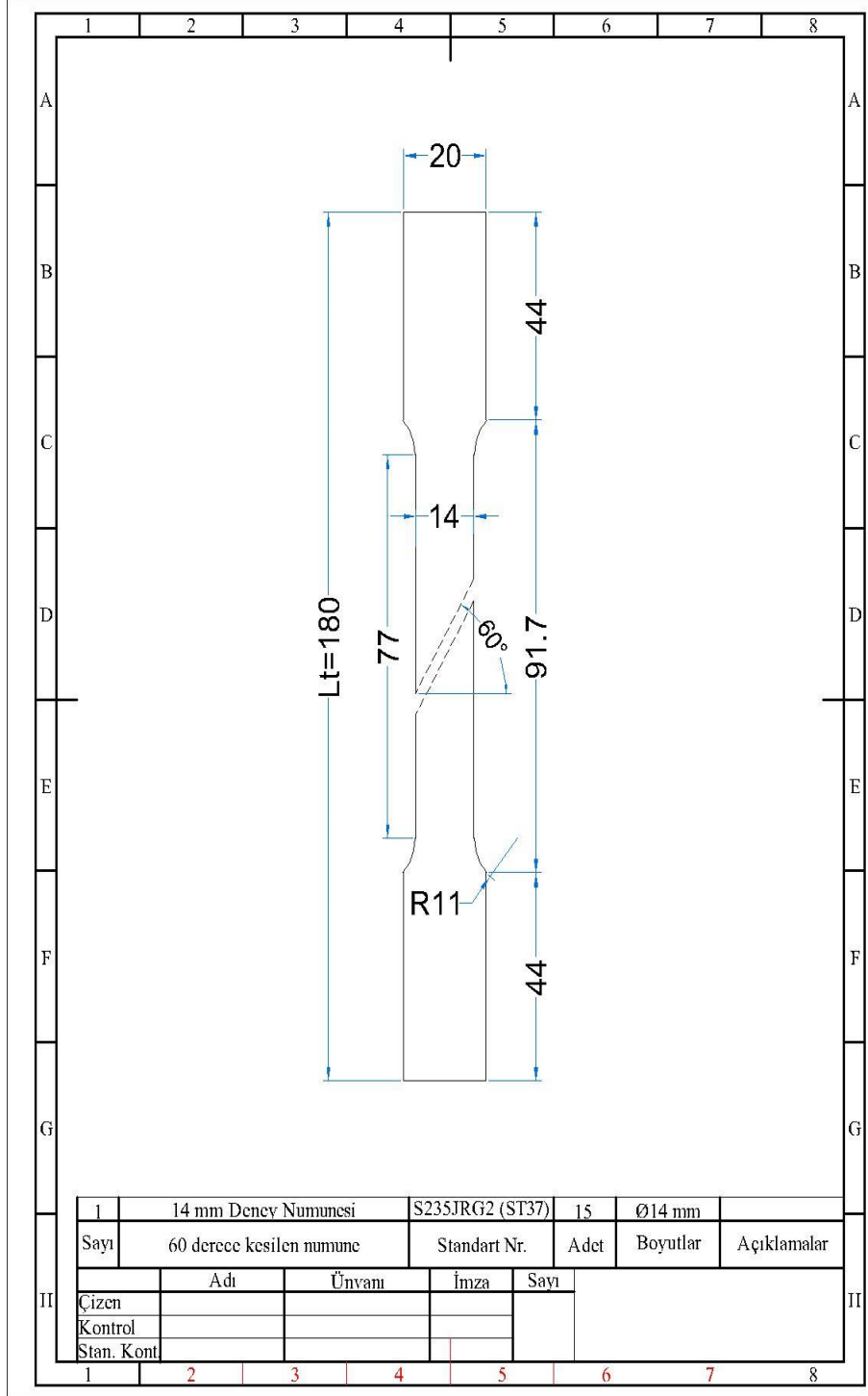












## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Ahmet Er Rufai YURTCU  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1992-DOĞANŞEHİR  
**E-posta** : a.yurtcu2392@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2016, **Makine Mühendisliği**, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
- **Lisans İkinci Anadal** :2016, **Mekatronik Mühendisliği**, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,

### MESLEKİ DENEYİM:

- 2017 yılından beri hâlihazırda Mimsan Mak. San. Tic. A.Ş. çalışmaktadır.