

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ç 1040 Çeliklerinde Isıl İşlem Ve Kaynağın Mekanik Özelliklerine  
Olan Etkilerinin İncelenmesi

Onur Kadir TURGUT

AĞUSTOS 2013

Onur Kadir TURGUT

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2013

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Makina Anabilim Dalında** Onur Kadir TURGUT tarafından hazırlanan Ç 1040 ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEM VE KAYNAĞIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yahya DOĞU  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Necip CAMUŞCU  
Ortak Danışman

Prof. Dr. İbrahim UZUN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan: Yrd.Doç.Dr.Ali Osman ER, \_\_\_\_\_  
Üye (Danışman): Prof. Dr. İbrahim UZUN, \_\_\_\_\_  
Üye: Yrd.Doç.Dr.Bariş KALAYCIOĞLU, \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### Ç 1040 ÇELİKLERİNDE ISIL İŞLEM VE KAYNAĞIN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

TURGUT, Onur Kadir

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Ortak Danışman: Prof. Dr. Necip CAMUŞCU

Ağustos 2013, 207 Sayfa

Tez kapsamında, çeliğin mekanik özelliklerinin oldukça değişmesini sağlayan ve ısı girdisi gerektiren ısıtma işlemi ve kaynak parametreleri incelenmiştir. Kuramsal temeller olarak çelik çeşitleri, alaşım elementleri ve meydana getirdiği etkiler, ısıtma işlemi, kaynağı, kaynağa uygunluğu kaynak yöntemleri ve meydana gelen dönüşümler incelenmiştir. Literatür çalışması olarak da özellikle alaşımless çeliklerin ısıtma işlemi ve kaynak parametrelerine yönelik makaleler incelenmiştir. Deneysel çalışma olarak da orta karbonlu bir çelik olan Ç1040 çeliğinin kaynakless, gazaltı kaynaklı ve elektrot kaynaklı olarak ayrı ayrı numuneler halinde çeşitli tavlamalara tam tavlama, normalizasyon, gerilme giderme tavisına tabii tutulacak ve bazı numunelerde suda soğutularak martenzit dönüşümü gerçekleştirecek şekilde ısıtma işlemi yapılmış, ayrıca bazı numuneler ise martenzit dönüşümü gerçekleştirilip menevişleme ısıtma işlemi yapılacak ve bazı numuneler de östenitleme sonucunda yağda soğutularak orta derece sertlik alabilecek bir soğutma uygulanmıştır. Bir kısmı kaynakless olan diğer kısmı da önce kaynak yapılan numunelere sonra ısıtma işlemi uygulandıktan sonra her ısıtma işlemi için ayrı ayrı çekme, eğme, çentik darbe, mikroyapı ve sertlik testleri yapılmıştır. Farklı ısıtma işlemi sonucunda kaynakless, gazaltı kaynaklı ve elektrot kaynaklı orta karbonlu çelikte elde edilen mekanik özellikler ve mikroyapılar karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çeliklerde kaynak, Çeliklerde ısıtma işlemi, Çelik alaşım elementleri, Orta karbonlu çeliğin mekanik testleri, Mikroyapı

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE AISI 1040 STEEL ON THE EFFECTS OF THE HEAT TREATMENT AND WELDING**

TURGUT, Onur Kadir

Kırıkkale University

Institute of Science

Mechanical Engineering Main Directory, Graduate Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim UZUN

Common Supervisor: Prof. Dr. Necip CAMUŞCU

August 2013, 207 Pages

In the scope of the master thesis, investigation studies have done about heat treatment and welding of the steel which needs heat input and changes the mechanical properties of the steel. In the research studies, different kind of steels, alloying elements and it's effect on steel, heat treatment, welding, suitability of the welding, methods of welding and transformations have examined. In the literature survey journals related to heat treatment and welding parameters especially on medium carbon steels have analyzed. In the experimental studies, medium C steel 1040 has used. Experimental studies on the 1040 steel with gas metals arc welded, consumable electrode arc welded and specimens non welded has used for several heat treatment operations. After welding processes on the specified specimens has used for full annealing, normalizing, stress relieving process and some specimens quenching process by quenching in the water which results in martensitic transformation have done. In addition to the specified processes above, some of the specimen after completing the martensitic transformation has exposed to the tempering process and some of them has austenized oil quenched to get moderately hardness value. After heat treatment to the welded and not welded specimens microstructure evaluations and mechanical tests which are tensile, bending, impact and hardness test has done. Mechanical tests and microstructure results have evaluated and compared that some has non welded, whereas some has gas metal arc welded and some has consumable electrode arc welded which the different heat treatment processes has applied.

**Keywords:** Welding in the steel, Heat treatment in the steel, Alloying elements of the steel, Mechanical tests for medium carbon steels, Microstructures

## TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. İbrahim UZUN'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Prof. Dr.Necip CAMUŞCU'ya deneylerin birçok aşamasında yardım gördüğüm ODTÜ Metalurji Mühendisliği bölümü teknisyeni Yusuf YILDIRIM, OSTİM İSTAŞ firması pazarlama müdürü Ali DEMİRTAŐ'a, talaşlı imalat konusunda desteğini esirgemeyen OSTİM ALİSA Makina firmasından İsa AKSOY'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	x
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	27
<b>2.KURAMSAL TEMELLER</b> .....	37
2.1. Çeliklerin Sınıflandırılması.....	37
2.1.1 Alaşimsız Çelikler.....	37
2.1.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler.....	37
2.1.1.2 Orta Karbonlu Çelikler.....	37
2.1.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler.....	38
2.1.2 Alaşımli Çelikler.....	38
2.1.2.1 Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkileri.....	39
2.2 Isıl İşlemin Temelleri.....	41
2.2.1. Demir-Sementit Denge Diyagramındaki Temel Fazlar.....	42
2.2.2 Demir-Sementit Denge Diyagramının Yorumlanması.....	44
2.2.3. Grafit Oluşumu.....	45
2.3 Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler.....	45
2.3.1 Yumuşatma Tavı (Tam tavlama).....	45
2.3.2 Normalizasyon Tavı.....	46
2.3.3 Gerilme Giderme Tavı.....	47
2.3.4 Yeniden Kristalleşme Tavlaması.....	48
2.3.5 Su Verme Sertleştirilmesi.....	48
2.3.5.1 Martenzitik Dönüşüm.....	48
2.3.5.2 Kritik Soğuma Hızı.....	49
2.3.5.3 Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramı.....	50

2.3.5.4 Soğuma Eğrileri.....	51
2.3.5.5 ZSD Eğrilerinin Durumunu Etkileyen Faktörler.....	52
2.3.5.6 Su Vermede Isı Transferi.....	53
2.3.5.7 Su Verme Ortamları.....	54
2.3.5.8 Sertleşebilirlik.....	55
2.3.6 Menevişleme.....	57
2.4. Kaynak.....	58
2.4.1 Ark Oluşumu.....	59
2.4.2 Örtülü Elektrotla (Elle Ark) Kaynağı.....	60
2.4.2.1 Rutil Elektrotlar.....	60
2.4.2.2 Bazik Elektrotlar.....	61
2.4.3 Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı.....	62
2.4.3.1 Ark Çeşitleri.....	63
2.4.3.2 Koruyucu Gazlar.....	63
2.4.3.3 Tel Elektrotlar.....	64
2.4.5 Kaynak Bölgeleri.....	65
2.4.5.1 Ergime Bölgesi.....	65
2.4.5.2 Isı Tesiri Altında Kalan Bölge.....	65
2.4.6 Çelikteki Başlıca Yapısal Kusurlar Ve Kaynağa Etkileri.....	67
2.4.7. Kaynak Kusurları.....	68
2.4.7.1. Sıcak Çatlaklar.....	68
2.4.7.2 Soğuk (Kılcal) Çatlaklar.....	69
2.4.7.3 Gözenekler.....	69
2.4.7.4 Yetersiz Ergime.....	70
2.4.7.5 Yanma Olukları (Undercut).....	71
2.4.8 Orta Karbonlu Çeliklerin Kaynağa Uygunluğu.....	71
<b>3. MATERYAL METOT.....</b>	<b>74</b>
3.1. Malzeme Ve Yöntem.....	74
3.1.1. Kullanılan Malzemeler.....	74
3.1.2. Numunelerin Kaynak İşlemleri.....	76
3.1.3. Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler.....	76
3.1.3.1. Tam Tavlama.....	77
3.1.3.2. Normalizasyon Tavı.....	77



3.1.3.3. Gerilme Giderme Tavı.....	77
3.1.3.4. Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma).....	77
3.1.3.5. Martenzit (Suda Soğutma)+ Menevişleme.....	78
3.1.3.6. Yağda Soğutma+ Menevişleme.....	78
3.2. Uygulanan Mekanik Testler.....	79
3.2.1. Numunelere Uygulanan Çekme Deneyi.....	79
3.2.2. Numunelere Uygulanan Eğme Deneyi.....	80
3.2.3. Numunelere Uygulanan Çentik Darbe Deneyi.....	82
3.2.4. Numunelere Uygulanan Sertlik Ölçme Deneyi.....	83
3.2.5. Numunelerin Mikroyapı İncelemesi.....	84
<b>4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>85</b>
4.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	85
4.1.1. Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	86
4.1.1.1. Kaynaksız Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları. ....	86
4.1.1.2. Kaynaksız Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	87
4.1.1.3. Kaynaksız Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	89
4.1.1.4. Kaynaksız Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	90
4.1.1.5. Kaynaksız Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	91
4.1.1.6. Kaynaksız Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	93
4.1.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	94
4.1.2.1. Elektrot Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	95
4.1.2.2. Elektrot Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	98
4.1.2.3. Elektrot Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	100

4.1.2.4. Elektrot Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	102
4.1.2.5. Elektrot Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	104
4.1.2.6. Elektrot Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	105
4.1.2.6. Elektrot Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	106
4.1.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	108
4.1.3.1. Gazaltı Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme deneyi Sonuçları.....	108
4.1.3.2. Gazaltı Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	110
4.1.3.3. Gazaltı Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	111
4.1.3.4. Gazaltı Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	112
4.1.3.5. Gazaltı Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	113
4.1.3.6. Gazaltı Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	115
4.1.3.7. Gazaltı Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	116
4.1.4. Çekme Deneyi Genel Mikroyapı Analizi.....	117
4.2. 3 Nokta Eğme Deneyi Sonuçları.....	118
4.2.1. Kaynaksız Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	121
4.2.1.1. Kaynaksız Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	121
4.2.1.2. Kaynaksız Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	122
4.2.1.3. Kaynaksız Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	124

4.2.1.4. Kaynaksız Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma)	
Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	125
4.2.1.5. Kaynaksız Martenzit + Menevişleme Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	126
4.2.1.6. Kaynaksız Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	127
4.2.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	129
4.2.2.1. Elektrot Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunelerin	
Eğme Deneyi Sonuçları.....	129
4.2.2.2. Elektrot Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	130
4.2.2.3. Elektrot Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	131
4.2.2.4. Elektrot Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	132
4.2.2.5. Elektrot Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma)	
Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	133
4.2.2.6. Elektrot Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	134
4.2.2.7. Elektrot Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme	
Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	136
4.2.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	137
4.2.3.1. Gazaltı Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme	
Deneyi Sonuçları.....	137
4.2.3.2. Gazaltı Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	139
4.2.3.3. Gazaltı Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	140
4.2.3.4. Gazaltı Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış	
Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	141
4.2.3.5. Gazaltı Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma)	
Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	142

4.2.3.6. Gazaltı Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	143
4.2.3.7. Gazaltı Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	144
4.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	145
4.3.1. Kaynaksız Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	146
4.3.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	148
4.3.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	151
4.4. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	152
4.4.1. Kaynaksız Numunelerin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	152
4.4.1.1. Kaynaksız Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	152
4.4.1.2. Kaynaksız Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	153
4.4.1.3. Kaynaksız Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	154
4.4.1.4. Kaynaksız Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	154
4.4.1.5. Kaynaksız Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	155
4.4.1.6. Kaynaksız Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	156
4.4.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	157
4.4.2.1. Elektrot Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	157
4.4.2.2. Elektrot Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	158
4.4.2.3. Elektrot Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	159
4.4.2.4. Elektrot Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	160
4.4.2.5. Elektrot Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	161

4.4.2.6. Elektrot Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	162
4.4.2.7. Elektrot Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	163
4.4.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	164
4.4.3.1. Gazaltı Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	164
4.4.3.2. Gazaltı Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	165
4.4.3.3. Gazaltı Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	166
4.4.3.4. Gazaltı Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	167
4.4.3.5. Gazaltı Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Malzemenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	167
4.4.3.6. Gazaltı Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	168
4.4.3.7. Gazaltı Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları.....	169
4.5. Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	169
4.5.1. Kaynaksız Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	170
4.5.1.1. Kaynaksız Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi..	170
4.5.1.2. Kaynaksız Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	171
4.5.1.3. Kaynaksız Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	173
4.5.1.4. Kaynaksız Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	175
4.5.1.5. Kaynaksız Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	176
4.5.1.6. Kaynaksız Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	177

4.5.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	178
4.5.2.1. Elektrot Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	178
4.5.2.2. Elektrot Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	180
4.5.2.3. Elektrot Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	181
4.5.2.4. Elektrot Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	182
4.5.2.5. Elektrot Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	184
4.5.2.6. Elektrot Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	185
4.5.2.7. Elektrot Kaynaklı Yağda Soğutma + Meneviş Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	186
4.5.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri.....	188
4.5.3.1. Gazaltı Kaynaklı Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	188
4.5.3.2. Gazaltı Kaynaklı Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	189
4.5.3.3. Gazaltı Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	190
4.5.3.4. Gazaltı Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	191
4.5.3.5. Gazaltı Kaynaklı Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	192
4.5.3.6. Gazaltı Kaynaklı Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	193
4.5.3.7. Gazaltı Kaynaklı Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi.....	194
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>196</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>204</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Olan Etkileri.....	40
2.2. Gazaltı Kaynak Tellerinin Kimyasal İçerikleri.....	65
3.1. Satın Alınan Ç1040 Çeliğinin 2 Ayı Numunesinin Kimyasal İçeriği.....	74
3.2. Deneysel Çalışmalarda Uygulanan İşlemler.....	75
3.3. Kullanılan Elektrodun Kimyasal Ve Mekanik Özellikleri.....	75
3.4. Kullanılan Gazaltı Kaynak Teli Kimyasal Özellikleri.....	76
4.1. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	87
4.2. Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	88
4.3. Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	90
4.4. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	91
4.5. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	93
4.6. Kaynaksız, Yağda Soğutma+ Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	94
4.7. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	97
4.8. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	100
4.9. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	102
4.10. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	103
4.11. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	105
4.12. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	106

4.13. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma +Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	107
4.14. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	109
4.15. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	111
4.16. Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	112
4.17. Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	113
4.18. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları .....	114
4.19. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	116
4.20. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....	117
4.21. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	122
4.22. Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	123
4.23. Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	125
4.24. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	126
4.25. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	127
4.26. Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	128
4.27. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	129
4.28. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	131
4.29. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	132



4.30.	Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	133
4.31.	Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm(Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	134
4.32.	Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	135
4.33.	Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	137
4.34.	Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	138
4.35.	Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	139
4.36.	Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	140
4.37.	Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları.....	141
4.38.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	142
4.39.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Kırılma Deneyi Sonuçları.....	143
4.40.	Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Deneyi Eğme Sonuçları.....	145
4.41.	Kaynaksız Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	148
4.42.	Elektrot Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	150
4.43.	Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	152
4.44.	Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	153
4.45.	Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	153
4.46.	Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	154
4.47.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	155

4.48.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm + Menevişleme Yapılmış Numunenin sertlik (HV) sonuçları.....	156
4.49.	Kaynaksız, Yağda Soğutma+Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	157
4.50.	Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	158
4.51.	Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	159
4.52.	Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	160
4.53.	Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	161
4.54.	Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	162
4.55.	Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	163
4.56.	Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	164
4.57.	Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları....	165
4.58.	Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	166
4.59.	Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	166
4.60.	Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	167
4.61.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	168
4.62.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	168
4.63.	Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik (HV) Sonuçları.....	169
5.1.	Tüm Deney Sonuçlarının Özeti.....	202
5.2.	Kaynaklı Numunelerin Sertlik (HV) Sonuçları.....	203

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Demir Sementit Denge Diyagramı.....	41
2.2.	Çeliğin Mikroyapısında Gözlemlenen Fazlar, a) Ferrit, b) Perlit, c) Östenit, d) 1060 Çeliğinin Oda Sıcaklığındaki Mikroyapısı.....	43
2.3.	a) Tam Tavlama (Yumuşatma) Isıl İşlemi, b) %0.5 C İçeren Tam Tavlama Sonucu Mikroyapı.....	46
2.4.	Normalizasyon, Tam Tavlama Ve Küreselleştirme Tavı İçin Önerilen Tavlama Sıcaklığı.....	47
2.5.	a) Martenzit Mikroyapısı, b) Çeliğin C Oranına Göre Elde Edilebilir Sertlik.....	49
2.6.	Karbon Oranına Göre Çeliğin Kritik Soğuma Hızı.....	50
2.7.	Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramı.....	51
2.8.	Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramında Soğuma Eğrileri.....	52
2.9.	Isı Transferi Sonucunda Meydana Gelen Soğuma Hızının Farklı Soğutma Ortamlarında Oluşumu .....	55
2.10.	a) Yüzeyden Merkeze Doğru Meydana Gelen Sertleşebilirliğin Gösterimi a) 1- Alaşimsız Çelikler, 2- Alaşımlı Çelikler, b) Jominy Test Numunesi.....	56
2.11.	Alaşım Elementlerinin Östenit Dönüşümüne Etkisi.....	57
2.12.	a) Menevişleme Sonucu Mekanik Özelliklerde Değişim, b) Menevişleme Sıcaklığı Ve Süresinin Sertliğe Olan Etkisi.....	58
2.13.	Ark Oluşumu.....	59
2.14.	Örtülü Elektrotta Kaynak Banyosu, Cüruf Ve Gaz Oluşumu.....	60
2.15.	Rutil Ve Bazik Elektrot Damlacık Geçişi.....	61
2.16.	Gazaltı Kaynak Makinası Donanımı.....	62
2.17.	Koruyucu Gazların Nüfuziyet Profili.....	64
2.18.	Kaynak Dolgu Metali, ITAB Ve Ana Metalin Tane Görünümü.....	67
2.19.	Soğuk Ve Sıcak Çatlakların Malzemede Görünümü.....	69
2.20.	Kaynakta Oluşan Gaz Gözeneklerinin Makro Görünümü.....	70
2.21.	Kaynak Esnasında Meydana Gelen Yetersiz Ergime.....	70

2.22.	Kaynakta Meydana Gelen Yanma Oluklarının Oluşumu.....	71
2.23.	Islah Pasosunun Gösterimi.....	72
3.1.	Kullanılan Yağ İçin, a) Isı Transferinin Hangi Sıcaklıkta Etkili Olduğu, b) Soğuma Esnasında Hangi Sürede Hangi sıcaklıktan geçtiği .....	78
3.2.	Çekme Numunelerinin Katı Modeli a) Kaynaklı b) Kaynaksız...	80
3.3.	DARTEC Çekme Makinesi.....	80
3.4.	Eğme Numunelerinin Katı Modeli, a) Kaynaklı, b) Kaynaksız, c) Eğme Deneyinin Uygulama Biçimi.....	81
3.5.	INSTRON 5582 Marka Eğme Makinesi.....	81
3.6.	Çentik Darbe Numunelerinin Katı Modeli a) Kaynaklı b) Kaynaksız.....	82
3.7.	INSTRON WOLPERT PW30 Çentik Darbe Makinesi.....	83
3.8.	Sertlik Ve Mikroyapı Numunesi.....	84
3.9.	Sertlik Ölçme Cihazı.....	84
4.1.	Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (2. Numune).....	87
4.2.	Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (1. Numune).....	88
4.3.	Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (3. Numune).....	89
4.4.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (1. Numune).....	91
4.5.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği a)1. Numune, b) 2. Numune..	92
4.6.	Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (2. Numune).....	94
4.7.	Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği a)1. Numune, b) 3. Numune .....	97
4.8.	Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği. a)1. Numune, b) 3. Numune.....	99
4.9.	Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği. (2. Numune).....	101

4.10.	Elektrot Kaynaklı, Gerilme/Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği. (1. Numune).....	103
4.11.	Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği. (2. Numune).....	104
4.12.	Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği. (1. Numune).....	106
4.13.	Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği. a) 2. Numune, b) 3. Numune..	107
4.14.	Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (3. Numune).....	109
4.15.	Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği. a) 1.Numune, b) 3. Numune.....	110
4.16.	Gazaltı Kaynaklı Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği.(1.Numune).....	112
4.17.	Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği (1. Numune).....	113
4.18.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Gerilme/Gerinim Grafiği(1.ve 2 Numune)....	114
4.19.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği.(3. Numune).....	115
4.20.	Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Gerilme/Gerinim Grafiği.(2. numune).....	117
4.21.	Ç1040 Çeliğinin Mikroyapısı a) Çekme Deneyinden Önce, b) Çekme Deneyinden Sonra.....	118
4.22.	Eğme Deneyinin Serbest Cisim Diyagramı.....	119
4.23.	Eğme Deneyinde Toplam Kuvvet Diyagramı.....	119
4.24.	Eğme Deneyinde Toplam Moment Diyagramı.....	119
4.25.	Eğmede Yük Uygulanması Sırasında Malzemedeki Şekil Ve Asal Eksen Değişimi.....	120
4.26.	Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Yük/Uzama Grafiği.(1.Numune).....	122
4.27.	Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (3.Numune).....	123

4.28.	Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (1.Numune).....	124
4.29.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Kırılma Grafiği (1.Numune).....	125
4.30.	Kaynaksız, Martenzit+Menevişleme Yapılmış Numunenin Kırılma Grafiği. (1.Numune).....	127
4.31.	Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (3.Numune).....	128
4.32.	Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Yük/Uzama Grafiği (3.Numune).....	129
4.33.	Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (2.Numune).....	130
4.34.	Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (2.Numune).....	132
4.35.	Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (2.Numune).....	133
4.36.	Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Kırılma Grafiği (1.Numune).....	134
4.37.	Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Yük Sonucunda Kırılma Grafiği, a) 1. Numune, b) 2. Numune.....	135
4.38.	Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği (2.Numune) .....	136
4.39.	Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Yük/Uzama Grafiği, a) 1. Numune b) 3. Numune .....	138
4.40.	Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği. (2.Numune) .....	139
4.41.	Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği. (1.Numune).....	140
4.42.	Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği. (1.Numune) .....	141
4.43.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Kırılma Grafiği. (1.Numune).....	142

4.44.	Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Kırılma Grafiği. (1.Numune).....	143
4.45.	Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Yük/Uzama Grafiği. (2.Numune).....	144
4.46.	a) Çentik Darbe Deneyi Serbest Cisim Diyagramı b)Çentik Darbe Deneyi Uygulama Metodu.....	145
4.47.	Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) x100, b) x200 .....	171
4.48.	Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) x100, b) x200, c) SEM x100 .....	171-172
4.49.	Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Ara Kesitten Alınan Mikroyapı Görüntüleri a) x100, b) x200.....	173
4.50.	Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a)x100, b) x200 c) SEM x200.....	174
4.51.	Eğme Deneyi Sonucunda Elde Edilmiş Numunelerin Mikroyapı Görüntüleri a) Kaynaksız, Isıl İşlemsiz x100, b) Kaynaksız, Normalizasyon Tavlaması Yapılmış x100.....	175
4.52.	Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) x500, b) x200, c) SEM x100.....	176
4.53.	Kaynaksız, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) x100, b) x200.....	177
4.54.	Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış , Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) x200, b) x500.....	178
4.55.	Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) SEM Ergime Çizgisi Ve ITAB Kaba Tane, d) Kaynak Dolgu Metali x200...	179-180
4.56.	Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri a) Ana Metal x100 b) ITAB İnce Tane c) SEM Ergime Çizgisi Ve ITAB Kaba Tane, d) Kaynak Dolgu Metali x100.....	181
4.57.	Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavlaması Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x100, b) ITAB x100, c) Ergime Çizgisi x100, d) Kaynak Dolgu Metali x100.....	182

- 4.58. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x100, b) ITAB x100, c) Ergime Çizgisi x100, d) Kaynak Dolgu Metali x100..... 183
- 4.59. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) SEM Ana Metal x1000, b) ITAB x500, c) Kaynak Dolgu Metali x500..... 184-185
- 4.60. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x500, b) ITAB x500, c) Kaynak Dolgu Metali x500..... 186
- 4.61. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) Ergime Çizgisi x200, d) Kaynak Dolgu Metali x200... 187
- 4.62. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) SEM Ergime Çizgisi x100, d) Kaynak Dolgu Metali x200..... 189
- 4.63. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) SEM Ergime Çizgisi x150, d) Kaynak Dolgu Metali x200..... 190
- 4.64. Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin Mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) ergime çizgisi x100, d) kaynak dolgu metali x200..... 191
- 4.65. Gazaltı Kaynaklı Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) Ergime Çizgisi x200, d) Kaynak Dolgu Metali x200..... 192
- 4.66. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x500, b) ITAB İnce Tane x500, c) Kaynak Dolgu Metali x500..... 193
- 4.67. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x500, b) ITAB İnce Tane x500, c) Kaynak Dolgu Metali x500..... 194
- 4.68. Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı Görüntüleri, a) Ana Metal x200, b) ITAB İnce Tane x200, c) Ergime Çizgisi x200, d) Kaynak Dolgu Metali x200.... 195



## SİMGELER DİZİNİ

A	Alan
c	Malzeme Kalınlığının Yarısı
F	Kuvvet
I	Atalet Momenti
<i>l</i>	Uzunluk
$\Delta l$	Uzama
M	Moment
$\varepsilon$	Gerinim
$\sigma$	Gerilme
$\tau$	Kayma Gerilmesi
n	Deformasyon Sertleşmesi Üssü
K	Mukavemet Katsayısı
Re <sub>h</sub>	Akma Mukavemeti
R <sub>m</sub>	Çekme Mukavemeti
R <sub>a</sub>	Yüzey Pürüzlülüğü
h	Isı Taşınım Katsayısı
Q	Isı Enerjisi
R <sub>tot</sub>	Toplam Termal Direnç
U	Isı Akısı
k	Isı İletim Katsayısı
q	Termal direncin oluşumu esnasındaki ısı enerjisi
<i>l</i> <sub>a</sub>	Malzemenin yüzey ile merkezi arasındaki mesafe
Ceş	Karbon Eşdeğeri
I	Akım
V	Voltaj

m	Kütle
g	Yerçekimi ivmesi
h	Yükseklik

## KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	Amerikan Çelik Enstitüsü Standartları
ASME	Amerikan Metalurji Standartları
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
EN	Avrupa Normu(Standardı)
GMAW	Gazaltı Metal Ark Kaynağı
HMK	Hacim Merkezli Kübik
HMT	Hacim Merkezli Tetragonal
HRC	Rockwell Sertlik C skalası
HV	Vickers Sertlik
ISO	Uluslararası Standart Organizasyon
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
J	Joule
KOSGEB (Kamu kurumu)	Küçük Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme Birliği
MAG	Metal Aktif Gaz
Mf	Martenzit Dönüşüm Bitişi
MIG	Metal Asal Gaz
MPA	Mega Paskal
Ms	Martenzit Dönüşüm Başlangıcı
N	Newton
ODTÜ (Üniversite)	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
SEM	Sismik Elektron Bombardıman Mikroskobu
TIG	Tungsten Asal Gaz
TS	Türk Standardı
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
ZSD	Zaman Sıcaklık Dönüşüm

## 1. GİRİŞ

Demir cevherinin impuritelerinden arındırılması sonucunda üretilen çelik bir demir-karbon alaşımıdır. Çelik bir yapı malzemesidir ve mekanik özelliklerinde elde edilen değerler çeliğin kullanım yerine göre bilhassa önem taşır. Maliyetinin düşük olması, mekanik özelliklerinin iyi olması, işlenebilir, kaynak edilebilir olması, demir cevherinin doğada bolca bulunabilmesi, değişik alaşım elementleri takviyesi ve değişik ısı işlemleri sayesinde pek çok değişik özellikler elde edilmesi çeliğin yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren önemli göstergelerden birisi de yıllık kişi başına tüketilen çelik miktarıdır.

Çelik alaşım elementlerine de bağlı olarak 1538°C de erir. Maksimum %2,06 karbon çözünürlüğüne sahiptir (Eker 2008). Doğada bulunan demir cevherinin oksit tabakalarından arındırılması, impuritelerinin giderilmesi (safsızlaştırılması) ile üretilir. Bu üretim sırasında uygulanan işlemler neticesinde içerisinde belli oranlarda karbon, kükürt, fosfor, mangan ve silisyum elementleri içerir. Bu elementlerin üretim esnasında oranları azaltılabilir, arttırılabilir, bunun yanı sıra krom, nikel, molibden, vanadyum gibi çeşitli alaşım elementleri de ilave edilebilir. Neticede karbon ve diğer alaşım elementlerinin ilavesiyle çeliğe pek çok değişik özellikler kazandırılabilir.

Karbonun çözünme miktarı aynı zamanda çeliğin kristal kafes yapısını belirler. Yani çelik allotropik bir metaldir. Allotropi, bazı metallerin farklı sıcaklıklarda farklı kristal kafes yapılarına sahip olmaları anlamına gelir.

Çelikte demir ve karbon oranına ,sıcaklık değerine ve soğuma hızına bağlı olarak farklı fazlar elde edebilme özelliği de mevcuttur. Ayrıca çelikteki farklı sıcaklıklarda elde edilen fazların mekanik özellikleri de birbirlerine göre farklıdır. Buradan hareketle çeliğin mekanik özelliklerin tespitinde en önemli unsurlar alaşım elementlerinin ve karbonun ne oranlarda olduğu, kuşkusuz ısı işlem ve soğuma hızıdır.

Malzeme alanında yapılan gelişmeler bu alanlarda kullanılan birçok malzemenin özelliklerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Çeliklere uygulanan ısı işlem ve

kaynak işlemleri ile özelliklerinin geliştirilmesi geçmişten günümüze kadar birçok alanda uygulanarak çok çeşitli çalışmaların yapılmasını sağlamıştır. Çeliklere uygulanan ısıl işlemler ile özellikleri geliştirilerek metalik malzemelerin içyapısı, temel mekanik özellikleri ve kırılma davranışları arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu duruma benzer şekilde kaynaklı birleştirmelerde birleşimin istenilen mekanik özellikleri yerine getirebilmesi için kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) ana malzemeye uyum sağlaması gerekmektedir.

N. Sinan Köksal ve arkadaşları (2010), AISI 1060 çelik malzemenin tokluk ve sertlik değerine soğutma ortamının üzerine yapmış olduğu çalışmasında, AISI 1060 çeliğine tavlama sıcaklığı ve soğutma ortamları değiştirilerek malzemenin içyapısı ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimler araştırmışlardır. Tavlama sıcaklığı 820°C ve 950°C olup, 25 dakika süresince numuneler bekletilmiş ve havada, suda ve yağda soğutulmuştur. Ayrıca suda soğutulan numunelere 600°C’ de menevişleme tavlama da uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi ve mikrosertlik ölçümleri ile yapıda oluşan değişimler belirlemiştir. Sonuçlarda bu çeliğin 820°C sıcaklıktan su, yağ ve hava ortamında soğutulan numunelerde elde edilen tokluk artışı hava, yağ ve su sırasıyla olmuştur ve daha sonra uygulanan ısıl işlemle önemli oranda tokluk artışı elde edildiğini ifade edilmiştir.

Sinan Ulu ve arkadaşları (2006), 4 farklı çeliğin bazı mekanik özelliklerine Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramında A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub> arasında yapılan ısıl işlemlerin etkisi isimli çalışmasında, Fe - Fe<sub>3</sub>C faz diyagramının A<sub>1</sub> ve A<sub>3</sub> sıcaklık aralığında kalan ferrit - östenit bölgesinde ve A<sub>3</sub> sınırının 30°C-50°C üstünde yapılan toplam altı farklı ısıl işlemin, karbon oranları farklı, düşük alaşımlı dört çeşit çeliğin temel mekanik özelliklerine ve içyapılarına etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Mekanik deneylerden (tek eksenli çekme, darbe) elde edilen verilerdeki (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % daralma, % uzama, darbe tokluğu) değişiklikler incelenmiştir. Sonuç olarak dört farklı çelik için Fe- Fe<sub>3</sub>C diyagramının A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub> arasından yapılan ısıl işlemlerinde akma, çekme ve kopma gerilmelerini ve özellikle darbe tokluğunu belirgin bir şekilde arttırdığı görülmüştür.

Selahattin Köse ve Raif Sakin (2010), AISI-1040 VE AISI-P20 çeliklerinde alaşım oranı ve mikroyapının sertleşme kabiliyetine etkisi konulu çalışmalarında, karbon oranı  $C \approx 0.385$  olan AISI-1040 ve AISI-P20 çeliklerinin sertleşebilirliğini ölçmek için standart Jominy testleri yapmışlardır. Östenit faz sıcaklığına ( $850^{\circ}\text{C}$ ) kadar ısıtılan numuneler fırında 30 dakika bekletildikten sonra Jominy test cihazına yerleştirilerek alından su vermişlerdir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin su verme alından başlanarak belirli aralıklarla sertlikleri (HRC) ölçülmüş ve mikroyapı fotoğraflarını çekmişlerdir. Her iki çelik için sertlik değerlerinden faydalanılarak Jominy sertleşebilirlik eğrileri çizilmiştir. Her iki çeliğin sertlik değeri üzerinde etkili olan başta karbon (C) olmak üzere Cr, Mo, Mn, Si, Ni ve V gibi alaşımların sertleşme kabiliyetini de etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca su verme derinliği (Jominy derinliği) ile değişen martenzit oranının sertleşme kabiliyeti üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

N. Sinan Köksal ve arkadaşları (2004), farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıtma işlemleriyle değişimi adlı çalışmada; farklı karbon oranlarındaki çeliklere, su verme işleminin ardından  $100, 200, 400$  ve  $600^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda maviye işleme işlemi uygulamış ve malzemelerin mekanik özelliklerinin değişimini araştırmışlardır. Karbon içerikleri ağırlıkça  $\% 0,20 - 0,50$  olarak değişen bu çeliklere çekme deneyi uygulayarak yük/uzama eğrileri elde etmişlerdir. Eğriler yardımıyla mukavemet katsayısı (K), deformasyon sertleşmesi üssü (n), akma ( $R_{eh}$ ) ve çekme ( $R_m$ ) dayanımı değerleri bulmuşlardır. Malzemelerde ısıtma işlemleriyle oluşan sertlik değerleri (HV) değişiminin saptanması için, Vickers sertlik deneyleri yapmışlardır. Karbon oranındaki artış, akma ve çekme dayanımı değerlerini artırmışlardır. Mukavemet katsayısı (K) ve deformasyon pekleşmesi üssü (n) su verme sıcaklığının artışı ile önemli derecede azaldıkları görülmüştür. Özellikle Ç1040 ve Ç1050 çeliklerde, akma ve çekme dayanımını belirgin bir şekilde azaldığını vurgulamışlardır.

Mehmet Uzkut ve İsmail Özdemir (2001), farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarını mekanik özelliklere etkisi çalışmada, değişen ısıtma hızlarının Ç 1020 (düşük karbonlu), Ç 1040 (orta karbonlu), Ç 4140 (düşük alaşımlı) çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi incelemiştir. Yavaş ısıtma hızında (oda sıcaklığından

ısıtma), orta ısıtma hızında (sıcak fırında ısıtma) ve hızlı ısıtma hızında (tuz banyosunda ısıtma), Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 çelikleri östenit bölgesine kadar ısıtılarak havada soğutmuşlardır. Uygulanan yavaş, orta ve yüksek ısıtma hızlarının bu çeliklerin mekanik özelliklerine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla her bir çelikten, normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki grup deney numunesi hazırlamışlardır. Bütün deney numunelerinin, sertlik değerleri ile mukavemet değerleri belirlenerek birbirleri arasında mukayese imkanı elde edilmiştir. Artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet artış oranının Ç 4140 çeliğinde olduğu saptanmıştır.

Adnan Çalık (2009), AISI 1020, AISI 1040 ve AISI 1060 çeliklerine soğutma hızının sertlik ve mikroyapı üzerine etkisi isimli araştırmasında, numuneler 975°C' de 4 saat boyunca ısıl işlem uygulandıktan sonra üç farklı yöntemle farklı soğutma ortamında soğutulmuştur. Uygulanan işlemlerde sonra bu çeliklerin sertlik ve mikroyapısı sırasıyla, optik mikroskop ve sertlik testleri ile incelenmiştir. Sonuç olarak soğutma hızı farklılıkları ve çeliklerin karbon içeriğine bağlı olarak sertlik değerinin arttığı yapılan deneysel çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir.

Sare Çelik ve arkadaşları (2006), çalışmalarında çeliğin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe ve sertleşme derinliğine etkisi çalışmalarında, Ç1040 ve Ç1050 karbon çelikleri ile Ç8620 ve Ç4140 alaşım çelikleri seçerek östenileme sıcaklıkları belirlenmiş ve su verilerek sertleştirme işlemi (jominy deneyi) yapmışlardır. Deneylerden sonra numunelerin HRC sertlik ölçümleri yapmış ve bu veriler ışığı altında sertleştirilmiş alın yüzeyden itibaren sertleşme derinliklerini tespit etmişlerdir. Elde edilen bu sonuç ve çizilen grafiklere göre sertleşebilirlik ve sertleşme derinlikleri irdelenerek alaşım elementlerinin etkisini incelemişlerdir. Yapılan deneysel işlemler sonucunda, Karbon çelikleri (Ç0140 – Ç1050) içindeki karbon miktarı arttıkça sertleşebilirliği artan ve sertleşme derinliği az olan çelikler olduğu, alaşımlı çelikleri (Ç8620 – Ç 4140) ise içindeki alaşım elementlerinin katkısıyla ısıl iletkenlikleri yüksek olduğundan, sertleşebilirliklerinin yüksek ve sertleşme derinliği fazla olan çelikler olduğu ifade etmişlerdir. Malzeme içerisindeki alaşım elementi miktarı arttıkça, sertleşebilirlikleri ve sertlik derinliklerinin arttığı sonucuna varmışlardır.

İbrahim Güneş ve arkadaşları (2009), su verilmiş çeliklerdeki menevişleme kademelerinin aşınma davranışına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında su verilmiş ve farklı sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutulmuş AISI 1020,1040 ve 1050 çeliklerinin 3 farklı sıcaklıkta menevişlemesi ve menevişleme kademelerinin aşınma davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ø25x7 mm çapında kesilen deney numuneleri metalografik olarak gerekli zımparalama işlemlerinden geçirek hazırlamışlardır. AISI 1020, 1040 ve 1050 çeliklerine sırasıyla 890, 850 ve 840°C de su verme işlemi yapıldıktan sonra 200, 400 ve 600°C' de menevişleme işlemi uygulamış ve numunelerin mikroyapıları incelemişlerdir. Su verme işlemi sonucunda AISI 1020, 1040 ve 1050 çeliklerinin içyapısında oluşan sert ve gevrek martenzit yapısı çeliklerin tribolojik özelliklerini etkilemişlerdir. Su verilmiş çeliklerin sert ve kırılğan bir özellik gösterirken A<sub>1</sub> sıcaklığının altında 200°C'de menevişleme işlemi sonucu içyapılarda martenzitin parçalanması sonucunda sertlik ve aşınma değerlerinde bir miktar düşüş meydana getirmiştir. Menevişleme sıcaklığı arttıkça martenzit fazı parçalanmış, karbürler dağılmış, içyapı çok ince taneli hale geldiğini belirlemişlerdir.

Ş. Polat ve arkadaşları (2011), elektrot ark kaynak yöntemi ile kaynaklanmış temper beynitik bir çelikte mikroyapısal incelemeler yapmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda; ısıl işlem uygulamaları sonrası tipik temper beynitik bir matris elde etmişlerdir. Bazik örtülü ve östenitik paslanmaz çelik esaslı elektrotlar kullanılarak yapılan ark kaynakları sonrasında deneysel çeliklerde ITAB'da ana matrikse göre farklılık gösteren yapısal dönüşümler olduğu belirlenmiştir. Kaynak metali ve bağlantı yöresinde belirgin beynit gözlenmiştir. Isı tesiri altındaki bölgede çoğunlukla ince ve kaba ferrit içeren beynit oluşmuştur. Her iki kaynak uygulaması sonrasında orijinal matrikste de var olan ve bir bant yapısı halinde bulunan segregasyonlar belirlenmiştir. Kaynak metaline yakın konumda beynit matriksin bir sonucu olarak daha yüksek mikrosertlik değişimi olduğu belirlenmiştir. Kaynaklı parçaların darbeli yüklenme koşullarında kırılma karakteristikleri üzerine mikroyapılarında bulunan boşluk ve cüruf tabakalarının birincil bir etki sunduğu belirlenmiştir. Orijinal matriks olan östenitik yapı yüksek plastik akış sergileyerek sünek kırılma göstermiş, cüruf ve boşluk içeren yörelerde tipik gevrek kırılmalar sergilediğini açıklamışlardır.

Ahmet Durgutlu ve Arkadaşları (1999), ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları incelemelerde düşük karbonlu bir çelikte gazaltı (MAG), tozaltı ve manuel ark kaynaklarında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi araştırmışlardır. Deney çalışmaları sonucunda kaynak hızının optimum değerden daha az veya daha fazla olması durumlarında nüfuziyetin azaldığını tespit etmişlerdir. Düşük kaynak hızlarında, dikiş kenarlarında kaynak metali yığılmaları, yüksek hızlarda ise dikiş kenarlarında yanma oyuklarının oluştuğu belirlemişlerdir. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda kaynak metali mikroyapısının kaba, yüksek hızlarda ise kaynak metali mikroyapısının daha ince tanelerden meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

George Krauss (1999), Martensite in Steel isimi çalışmasında adından da anlaşılacağı üzere çelik içerisindeki martenzitin yapı ve mukavemetini çalışmış, çeliklerde oluşan çeşitli mukavemet mekanizmalarını ve alaşım elementlerinin çelikte oluşturduğu martenzitik mikroyapıya etkisini incelemiştir. Birinci bölümde, Fe-Ni ve Fe-Ni-C alaşımlarda martenziti mukavemetlendirmek için sıfırın altındaki Ms sıcaklıklarında octahedral taneler arasında kalan karbon atomları dağılımını martenziti güçlendirilmesi teorisini, ikinci bölümde ise Fe-C alaşımlarına martenzitik dönüşümü oda sıcaklığı üzerinde düşük alaşımli çelikleri güçlendirmesi için uygulamıştır. Bu dönüşümlerde karbon dönüşümünü önlemenin imkansız olduğunu, soğutma esnasında mukavemetlendirmek dislokasyon altyapısındaki karbon etkileşiminin martenzit oluşturmasındaki statik ve dinamik yaşlanması bağlı olduğunu söylemiştir. Bütün alaşımlarda muavemetlendirme martenzitik kristali sayesinde mümkün olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca karbürlerin ve kalıntı östenit etkilerin incelemiş, yapının hiçbir zaman tam olarak martenzitten oluşamayacağını, içerisindeki karbürler ve kalıntı östenitlerin var olmasından dolayı çok kompleks bir morfolojiler içerdiği ve martenzit kristalinde karbonun rolü değişik şekilde olduğu, karbonun arayer elementi olarak mukavemeti artırdığı ve bunun yanında dinamik gerinim yaşlandırmasına yol açtığını açıklamıştır.

K. Narayan Prabhu ve Peter Fernandes (2007), Effect of Surface Roughness on Metal/quenchant Interfacial Heat Transfer and Evolution of Microstructure isimli çalışmalarında ısı transferinin ve mikroyapının soğutma esnasında metal/soğutucu



akışkan arayüzeyin gelişiminde yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişler ve çalışmalarında, çeşitli soğutma sıvılarının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Isı akışı sağlaması için resistans ve ısı transferi belirlemek için ise paslanmaz çelik probalar kullanmışlardır. Isı iletim şeklinde ısı transferini ölçmek için 3 farklı yüzey pürüzlülüğü yivli,  $Ra=3.0$  ve  $Ra=1$   $\mu m$  hesaplamışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün ısı transferinde soğutma esnasında su ve tuzlu su önemli etkilere sahip olduğunu bunun yanında yüksek vizkositeli yağlarda ısı transferinin az olduğunu ifade etmişlerdir.

Peter Fernandes ve K. Narayan Prabhu (2007), Effect of Section Size and Agitation on Heat Transfer During Quenching of AISI 1040 Steel isimli çalışmalarında kesit büyüklüğünün ve karıştırmanın AISI 1040 çeliğinde ısı transferi esnasındaki sertleşmesine etkisi çalışmalarında,  $\varnothing 28mm \times 56mm$  ve  $\varnothing 44mm \times 88mm$  boyutlarındaki AISI 1040 numuneler su, mineral yağ ve hurma yağında soğutulmuşlardır. Isı akışı geçişlerini ısı iletimi ters modelleme ile tahmin etmişlerdir. Farklı soğutma ortamı için yüzey sıcaklığı ile ısı akışı geçiş değişimi incelenmişlerdir. Isı akış geçişleri sulu ortamda 28 mm olan numunede 44 mm'e göre daha fazla gerçekleştiğini ifade etmişlerdir. Ancak yağ ortamı ile soğutma tam tersi sonuçlar gösterdiğini söylemişlerdir. Karıştırma sonucunda tüm ortamlarda ısı akışını artırmıştır. Karıştırmanın etkileri küçük çaplı numunelerde ve yüzeyde daha fazla olduğu görmüşlerdir.

Adem Kurt ve Erol Avcıoğlu (2004), karbon eşdeğerliği yüksek çeliklerin kaynağında ön tav sıcaklığının kaynak metali morfolojisine etkisi çalışmasında, karbon eşdeğerliği 0,76 ve 1,06 olan iki tür yüksek karbonlu çelik malzeme oda sıcaklığında, 250 °C ve 350 °C ön tav sıcaklığında bazik karakterli örtülü elektrotlarla kaynakla birleştirmişlerdir. Kaynakla birleştirilmiş numunelerin mikroyapıları inceleyerek ön tav sıcaklığının kaynak metali mikroyapı morfolojisindeki değişiklikleri yorumlamışlardır. Ön tav sıcaklığı arttıkça ITAB'ın genişlediği ve kaynak metalinin dentiritik olarak katılaştığı ve dentirit kolları arasında sementit ağlarının oluştuğu tespit etmişlerdir.

Aydın Şık (2007), MIG/MAG kaynağı ile kaynatılan çelik yapılarda koruyucu gaz karışımlarının mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması isimli çalışmasında, 4 mm

kalınlığındaki yapı çeliği (St 52-3) endüstride çok yaygın uygulama alanı olan MIG/MAG kaynak yöntemi ile kaynak etmişlerdir. MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan karışım gazları bu yöntemde büyük öneme sahip olduğunu ifade etmiştir. Bundan dolayı üç farklı gaz karışımı seçilmiştir. Karışım gazları olarak;  $80\text{Ar}+18\text{CO}_2+2\text{O}_2$ ,  $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$  ve  $93\text{Ar}+5\text{CO}_2+2\text{O}_2$  kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak SG2 tel seçilmiştir. Seçilen gazlar ve MIG/MAG kaynağı yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin mekanik özellikleri ve metalografik yapısı incelenmişlerdir. Üç farklı gaz karışımı kullanımı sonucu yapılan deneylerde; SG2 kaynak teli kullanılarak  $88\text{Ar}+10\text{CO}_2+2\text{O}_2$  gaz karışımı ile yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinin yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Mehmet Subaşı ve Çetin Karataş (2010), AISI 4140 çeliğinde sertlik, yorulma dayanımı ilişkisi etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında metal malzemelerin farklı sertlik değerlerinin yorulma ömrü üzerindeki etkisini göstermek amacı ile otomotiv, makine ve kalıp teknolojilerinde yaygın kullanımı olan AISI 4140 çelik malzemesini incelenmişlerdir. AISI 4140 çelik malzemesi, CNC tezgâhında tornalanarak standart yorulma deney numuneleri elde edilmiştir. Bu numunelerin 45 tanesi sertleştirilme işlemine tabi tutulmamış, kalan numuneler ise 40, 45, 50 HRC farklı sertlik değerlerinde olacak şekilde 45'erli üç numune grubuna ayrıştırılarak dört farklı numune grubu yapmışlardır. Yapılan bu numune gruplarının yorulma dayanımı seviyeleri yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiş ve sertleştirilmemiş numunelerin yorulma dayanımı 463 MPa olarak bulmuşlar; 40, 45, 50 HRC sertlikteki numunelerin yorulma dayanımları sırası ile 783, 792, 739 MPa olduğunu tespit etmişlerdir. En iyi yorulma dayanımı 45 HRC sertlikte elde edilmiştir.

Mehmet Demirezen ve Arkadaşları (2006), DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtılma işleminin mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Yapılan incelemelerde, ısıtılma işlemiyle DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 malzemeleri farklı sıcaklıklarda menevişlemişlerdir. Menevişleme sonucunda elde edilen mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak menevişleme sıcaklığının değiştirilmesi ile 41Cr4 malzemesinin 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceğini tespit edilmiştir. 42CrMo4 malzemesinin yerine 41Cr4 malzemesinin kullanılması

halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağını vurgulamışlardır.

Tanju Teker ve Turhan Kurşun (2010), AISI 1030 çelik çiftinin manuel (GMAW) ve sinerjik kontrollü (GMAW-P) kaynağında tane morfolojisini karşılaştırmışlardır. Bu amaçla; AISI 1030 orta karbonlu çelik malzeme çifti, östenitik ilave kaynak metali kullanılarak otomatik robot yardımıyla birleştirmişlerdir. Kaynak sonrası birleşme arayüzeyinde meydana gelen yapısal değişim, optik mikroskop yardımı ile inceleyerek belirlenmeye çalışmışlardır. Kaynaklı bağlantıların birleşme mukavemetini belirlemek için mikrosertlik ve çentik darbe testleri yapılmıştır. Mikroyapı çalışmaları sonucunda, manuel (GMAW) yöntemiyle yapılan kaynaklı bağlantıda, kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) artan ısı girişiyle belirgin bir tane irileşmesinin meydana geldiği tespit etmişlerdir.

S. Baran Burat (2003), P91 malzemelerde ön-tav ve kaynak sonrası gerilim giderme ısıl işleminde sıcaklık farklılıklarının kaynak üzerindeki etkilerinin incelenmesi araştırmasında, ASME standartlarına göre yapılan kazan ve boru imalatında kullanılan 9Cr-1 Mo-V-Nb-N (P91) malzemelerde ASME ye göre kaynak sonrası gerilme giderme ısıl işlemi sıcaklıklarının 704-760 °C yapılmasının tanımlandığını açıklamıştır. Makalesinde P91 malzeme üzerine daha önceki yapılan çalışmaları inceleyerek, ısıl işlem süresini sabit tutup farklı ısıl işlem sıcaklıklarında P91 malzemenin kaynak bölgesinde çentik darbe tokluğun ve sertlik değerinin uğradığı değişimi analiz etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; menevişleme işlemi öncesi kaynak metalinin tamamen martenzit yapıya dönüştüğüne emin olunması gerektiğini, yapıda kalması muhtemel östenitik yapının menevişleme sonrası ikincil yeni martenzit oluşturması ile yüksek sıcaklık ve basınç altında nasıl bir davranış sergileyeceğinin belirsiz olacağını tespit etmiştir. Kaynak bitimi ile ısıl işlem arasındaki süreyi minimum tutup hidrojen çatlağı riskini azaltmak gerektiğini açıklamıştır. Kaynak sonrası oluşacak sıcak ve soğuk çatlak riskinden dolayı ön-tav ve pasolar arası sıcaklıklara dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Izzatul Aini Ibrahim ve arkadaşları (2012), gazaltı kaynağı (MIG) işlemlerine farklı kaynak parametrelerinin etkisi incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada farkı kaynak

parametrelerinin kaynak nüfuziyetine nasıl değiştirdiğini belirlemişler, 6 mm kalınlığındaki orta karbonlu çeliğe robotik gaz metal ark kaynağı kullanarak ana metalin mikroyapı ve sertlik ölçümlerini yapmışlardır. Bu çalışmada değişkenler ark gerilimi, kaynak akımı ve kaynak hızıdır. Ark gerilimi 22,26 ve 30V, kaynak akımı 90, 150 ve 120 A olarak ve kaynak hızı ise 20,40 ve 60 cm / dk olarak seçilmiştir. Sonuçta; kaynak akım değerlerinin artmasıyla birlikte nüfuziyet derinliğinin artığı, ark gerilimi ve kaynak hızının da nüfuziyeti etkilediği görölmüştür.

Bu makaleler eşliğinde literatür değerlendirmesi yapılacak olunursa, göröleceği üzere içeriği birbirinden farklı değişik elik türlerine(alaşımlı alaşımsız) değişik ısıl işlem ve kaynak parametreleri tatbik edilmiş bunun sonucunda mekanik özelliklerde pek çok farklı değerin elde edilmesi sonucunu doğurmuştur. Böylelikle eliğin mekanik özelliklerinin ısı girdisi gerektiren ısıl işlem ve kaynak sonucunda değişmesi bu alanda pekçok arge çalışması yapılarak teknolojinin son yüzyılda oldukça gelişmesini sağlamıştır. Fakat dikkat edilecek olunursa bu makalelerde bir parametre üzerine gidilerek o parametrede optimum değerler elde edilmeye çalışılmıştır. Araştırılan literatür sayesinde martenzitin mikroyapı, menevişlemenin sertlik ve mikroyapıya etkisi, sertleşme derinliğinin çeliğin alaşımından kaynaklanan değişimi, alaşım farklılığının menevişleme işlemine olan duyarlılığı, maksimum mukavemetin kaç HRC sertlik sağlayacak menevişlemede sağlanacağı, alaşım farklılığının ısıl işleme olan etkileri, kaynak hızının, kullanılan gazın, ön tav sıcaklığının kaynak bölgesinde, ITAB bölgesinde ve ana metalde meydana getirdiği değişimler vb. gibi konularda araştırma bulguları toplanılmaya çalışılmıştır.

Tez kapsamında yapılan deneylerde ise farklı olarak 1040 çeliğinin genel olarak kaynaksız, elektrot ve gazaltı kaynaklı halinin muhtelif ısıl işlemler karşısında gösterdiği davranışı genel olarak sorgulanmaya çalışılmış ve bu ısıl işlemler sonucunda gözlemlenen sonuçlar genel değerlendirme kısmında değerlendirilmiştir. Böylece 1040 çeliğinin kaynaksız ve kaynaklı halinin ısıl işlemler neticesinde nasıl mekanik özellik değerleri ve mikroyapı elde edilebileceği araştırılmıştır.

## **2.KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Çeliklerin Sınıflandırılması**

Çelikler, temel olarak karbonlu-alaşimsız çelikler ve karbonlu alaşımlı çelikler olarak ikiye ayrılabilir. Alaşimsız karbonlu çeliklerde temel olarak, düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu çelikler olarak 3'e ayrılabilir. Alaşımlı çelikler de genel olarak az alaşımlı çelikler, otomat çelikleri ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere 3'e ayrılabilir.

#### **2.1.1 Alaşimsız Çelikler**

##### **2.1.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler**

Bunlar %0,30 oranına kadar C içeren ve çok çok az miktarda S, P, Mn ve Si içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemetin aranmadığı yerlerde maliyetinden dolayı tercih edilir. Kaynak edilmeye, soğuk şekillendirmeye ve işlenmeye elverişli olmasına karşın su verilip sertleştirmeye karbon oranı yetersiz olduğu için elverişli değildir. Bu tip çeliklerin mukavemet artışı su verilip sertleştirmeden ziyade soğuk şekillendirmeyle sağlanır.

##### **2.1.1.2 Orta Karbonlu Çelikler**

%0,30 ila %0,60 arası karbon içeren çeliklerdir. Karbon miktarı arttığından soğuk şekillendirme ve kaynak edilebilme yeteneğinde düşme görülmesine karşılık su verilip sertleştirme yeteneği büyük oranda artmıştır. Bu yüzden bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısı ile büyük oranda değiştirilebilir. Bu çeliklerden genel dövme çelikleri % 0,3-0,4 arasında, mil çelikleri %0,4-0,5 arasında ve aşınmaya dayanımı yüksek olan çelikler ise %0,5-0,6 arasında karbon içermektedir. Orta karbonlu

Çelikler, makinalarda, otomotiv parçalarında (mil, aks, dişli) ve demiryollarında ray ve ray tekerleği olarak yaygın oranda kullanılır.

### **2.1.1.3 Yüksek Karbonlu elikler:**

%0,6-0,9 karbon içeren çelikler olup yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direnci istenen yerlerde kullanılır. Bu elikler genellikle imalat aşamasından sonra sertleştirilir ve menevişlenir. Pres kalıp blokları, müzik aletleri bunlara örnek olarak verilebilir.

### **2.1.2 Alaşımlı elikler:**

Yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon direnci gerektiren yerlerde alaşım elementi ihtiva eden çeliklerin kullanımı zaruridir. Çünkü Cr, V, Mn, Mo korozyon direncinin arttırılmasında önemli etkilere sahiptir. Alaşımsız eliklerin korozyon dayanımı yetersizdir. Ayriyeten özellikle düşük sıcaklıklarda tokluğun arttırılmasında nikel oldukça faydalıdır.

Bunun yanında alaşımsız çeliklerin sertleşme kabiliyeti yeterli olmadığından bu çeliklerden üretilen parçaların mukavemetini istenen seviyeye çıkarmak mümkün olmayabilir. Alaşımsız eliklerin sertleşme derinliği yeterli değildir. Ayrıca su verilerek sertleştirilen çelikler, kafes yapılarının çarpılmış (bozulmuş) olması ve yüksek i gerilmelerden dolayı gevrek davranış gösterirler. Söz konusu gevrekliğin azaltılması veya giderilmesi yani tokluğunun arttırılması amacıyla çeliğe menevişleme işlemi uygulanır. Menevişleme (temperleme) sıcaklığı arttıka sertleştirilen karbon çeliğinin sertliğinde alaşımlı çeliğin sertliğine göre çok daha fazla azalma meydana gelir. Bu nedenle oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yüksek sertlik veya mukavemet istenen uygulamalar için alaşımlı çelikler tercih edilir. (Eker 2008).

### 2.1.2.1 Alaşım Elementlerinin eliğe Etkileri

Başta belirtildiği üzere elik bir demir-karbon alaşımıdır ve de etimi esnasındaki kimyasal etkilerden ötürü de belirli oranda kükürt, fosfor, silisyum ve mangan ihtiva eder. Çeşitli alaşım elementleri de ilave edilerek çeliğe bazı ilave özellikler kazandırılabilir. Ayrıca bazı alaşım elementleri bazı mekanik özelliklerde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Çizelge 2.1’de alaşım elementlerinin çeliğe olan etkileri verilmiştir.

Alaşım elementlerinin temel amaçları; sertleşme kabiliyeti ve sertleşme derinliğini arttırmak, sertlik, mukavemet ve tokluğu arttırmak, yüksek sıcaklıklarda sertliği muhafaza etmeyi sağlamak, düşük ve yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyileştirmek, korozyon direncini arttırmak ve manyetik özellikleri iyileştirmek olarak görülebilir. (Eker 2008) ve (Erişir 2012).

Çizelge 2.1’de çeliğin alaşımlanmasında kullanılan bütün alaşım elementleri ve bunların yanında da elik içerisinde bulunabilecek katışkı elementlerin çeliğin mekanik özellikleri, kaynaklanabilirlik, talaşlı işlenebilirlik üzerine meydana getirebileceği olumlu veya olumsuz etkiler izelge halinde gösterilmiştir.

**Bu sayfaya  
Alaşım  
elementleri  
Çizelgesi  
çıktısı  
eklenece**

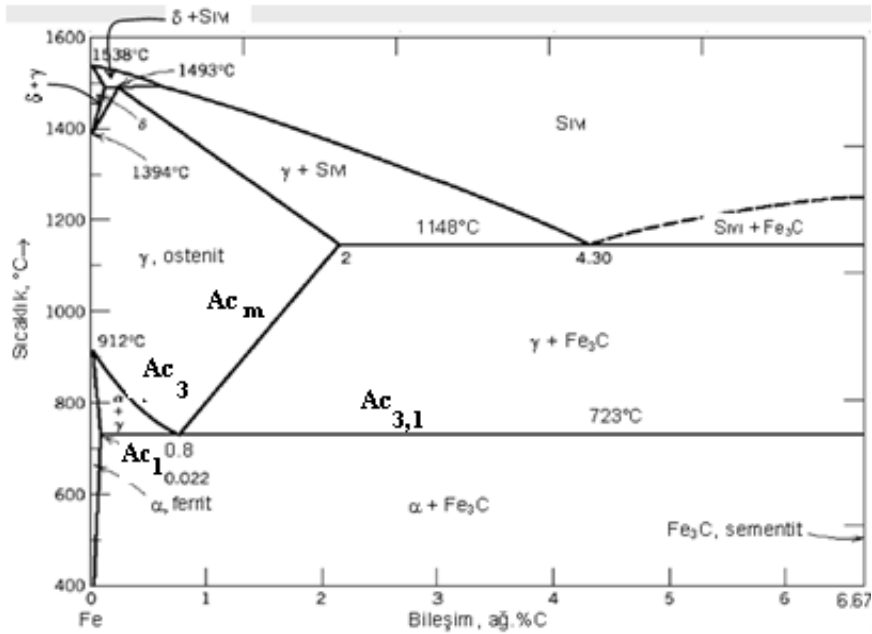


## 2.2 Isıl İşlemin Temelleri

Isıl işlem, genelde metal ve alaşımlarında istenen özellikleri elde etmek amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma olarak tanımlanır. Çelik malzemelere uygulanan ısıl işlemin temel amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) Şekillendirmeler sonucundaki kalıntı gerilmeleri gidermek,
- 2) Talaşlı işlenebilirliği iyileştirmek,
- 3) Mekanik özellikleri iyileştirmek,
- 4) Sertliği ve darbe direncini iyileştirmek,
- 5) Elektrik ve manyetik özellikleri geliştirmek,
- 6) Tane yapısını değiştirmek, olarak özetlenebilir.

Şekil 2.1’de verilen Fe-Fe<sub>3</sub>C diyagramı ısıl işlemin türünü ve etkilerini belirleyen temel diyagramdır. Çünkü çeliğin sertleşme miktarını belirleyen temel element karbondur. Fe-Fe<sub>3</sub>C diyagramı esas alınarak teknik ısıl işlem yöntemleri, dönüşümün etkili olmadığı ısıl işlemler ve dönüşüme bağımlı ısıl işlemler halinde iki ana gruba ayrılabilir. (Harman 2003).



Şekil 2.1 Demir Sementit (Fe-Fe<sub>3</sub>C ) denge diyagramı

Birinci grupta, demir olmayan diğer tüm metallerde de uygulanabilen, bileşim farklılıklarının dengelenmesi için difüzyon tavlama, soğuk şekillendirmeyle yükselmiş olan dayanım ve sertliğin giderilmesi için yeniden kristallenme tavlama, iç gerilmelerin azaltılması için gerilme giderme tavlama işlemleri sayılabilir. Bu gruptaki ısı işlemlerin hiçbirinde malzeme östenitleme sıcaklığına kadar çıkartılıp kristal kafes yapısı değiştirilmez, sadece tane irileşmesi sağlanabilir veya tanelerin yeniden düzene girmesi sağlanabilir, çeliğin sertliğinde bir artış meydana getirmez. Bu grupta olan ısı işlemlerde östenit fazına geçilmediği görülmektedir.

Yalnız çelikler için söz konusu olan ve daha fazla öneme sahip ikinci grupta ise, normalizasyon tavlama, sertleştirme (martenzit fazı elde etme) ve menevişleme işlemleri söylenebilir. Bu tip ısı işlemlerin hepsinde ısı işlem östenitleştirme işlemi ile başlar. Bu da östenitleme için gereken dönüşüm sıcaklığının üzerindeki sıcaklığa çıkartmak ile mümkündür. Östenit yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip bir fazdır, dönüşümü değişik soğutma hızları sayesinde farklı kristal kafes yapıları elde edilebilecek şekildedir, bu da farklı sertlik ve tokluk değerleri elde etmemizi sağlar, meneviş işlemi ile toklukta ilave artışlar da sağlanabilir.

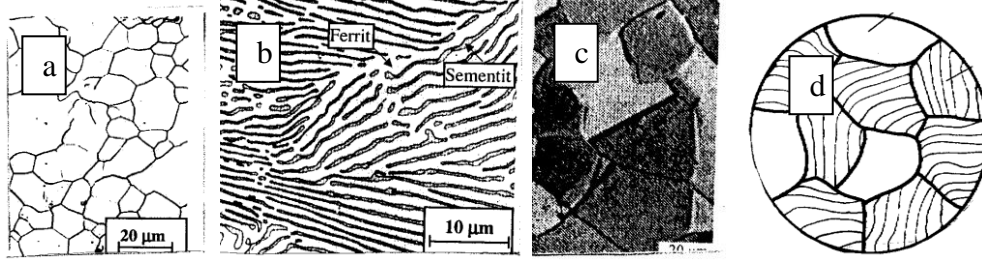
Buradan anlaşılacağı üzere yalnızca östenitleştirmeyle çeliğin kristal kafes ve tane yapısı değişmektedir. Ancak östenitleme sıcaklığının çok fazla üzeri bir sıcaklığa çıkmak durumunda çarpılma, tane büyümesi, oksidasyon gibi problemler oluşabilir. Bu nedenle olabildiğince düşük sıcaklıkta östenitleme istenir. (Harman 2003).

### 2.2.1 Demir-Sementit Denge Diyagramındaki Temel Fazlar

**Faz:** Bileşimleri ve kristal kafes yapıları birbirinden farklı olan yapılardır. Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramındaki temel fazlar şunlardır:

**$\alpha$  –Ferrit:** Yapı içerisinde C arayer elementi olarak bulunur. Fe-C alaşım sistemindeki en yumuşak fazdır. Çünkü en az C çözünürlüğe sahiptir. En yüksek C çözünebilirliği 723°C’de %0,025 oranında iken 0°C’de %0,005’e kadar düşer. Hacim merkezli kübik (HMK) yapıya sahip olup, şekil alabilen, sünek, manyetik bir fazdır.

Yaklaşık 60 Hv sertlik değerindedir. Çekme dayanımı 270 MPa, kopma uzaması değeri ise %40 civarındadır.



Şekil 2.2. Çeliğin mikroyapısında gözlemlenen fazlar, a) Ferrit, b) Perlit, c) Östenit, d) 1060 çeliğinin oda sıcaklığındaki mikroyapısı (Savaşkan 2009)

**$\gamma$ -Östenit:** YMK yapıya sahip olup, kolayca şekillendirilebilen ve manyetik olmayan yapıya sahiptir. Östenit artırıcı elementler ilave edilmediği sürece 911°C-1392°C arasında görülebilir. Maksimum C çözünebilirliği 1148°C'de %2'dir. Ferrite göre daha fazla karbon çözünebilirliğe sahiptir. Karbonun YMK yapılu  $\gamma$ -demiri içerisinde çözünmesiyle oluşan bir arayer çözeltilisidir. Yüksek tokluğa sahip bir faz olup ayrıca dayanımı da daha yüksektir.

**$\delta$ - Ferrit:** HMK yapıya sahiptir, ısıl işlem uygulamalarında önemli değildir. 1392°C - 1538°C aralığında görülür.

**Sementit:** Bir arayer bileşiği olup  $Fe_3C$  formülüyle gösterilir. Sert bir faz olup, yaklaşık 800 HV sertliğindedir. Çekme dayanımı oldukça düşük olup 35 MPa, basma dayanımı oldukça yüksektir. Döküm malzemelerin işlenmesindeki en büyük sıkıntı sementit fazını yer yer ihtiva etmesindedir.

**Perlit( $\alpha+Fe_3C$ ):** %0,8 C içeren çeliğin östenit bölgesinden yavaş soğutulması sırasında 723°C'nin altında ötektoid dönüşüm sonucunda meydana gelen yapıdır. Perlit; birbiri üzerine dizilmiş ferrit ve sementit katmanlarından oluşan lamelli bir yapıya sahiptir. Mikroskopta ferrit beyaz, sementit siyah görünür. C miktarı %0,8'in

altına düşüğe östenitleme sıcaklığının altına inildikçe ferrit+perlit beraber oluşur. Karbon miktarı %0,8'in üzerine çıkıldığında ise sementit+perlit beraber oluşur. Dönüşüm sonucunda C oranı %0,8'in altında ise ne kadar perlit ve ferrit, C oranı %0,8'in üzerinde ise ne kadar perlit ve sementit olduğu kaldıraç kuralıyla hesaplanır. Neticede, %C oranı düşüğe ferrit artarken yine % C oranı arttıkça sementit oranı artar.

**Ledeburit ( $\gamma$ +Fe<sub>3</sub>C):** %4,3 karbon içeren demir-karbon alaşımının 1148°C sıcaklıkta ötektik dönüşümle katılaşması sonucunda oluşan bir yapı olup, östenit ve sementit fazlarını içermektedir. Sıvı fazın bulunabileceği en düşük sıcaklık 1148°C'dir. (Kalpakjian 2001) ve (Savaşkan 2009).

### 2.2.2 Demir-Sementit Denge Diyagramının Yorumlanması

Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramının yorumlanması hangi C oranında bulunan çeliğin ergiyik halden oda sıcaklığına kadar soğuması esnasında hangi dönüşümleri göstereceğini açıklar. Yalnız soğuma hızı da önemlidir. Soğuma hızının etkisi de ZSD diyagramında anlatılmıştır.

Teorik olarak hiç C içermeyen demir 911°C'de dönüşüm gösterirken karbon oranı arttıkça bu dönüşüm sıcaklığı azalır ve %0,8 C'a ulaşıldığında 723°C'ye kadar düşer. Örneğin % 0,3 C oranına sahip olan çelik 1000°C'de  $\gamma$  östenit fazındadır. 820°C'nin altına inildiğinde (Ac<sub>3</sub> çizgisi) karbon atomları yayınarak  $\gamma$  kafesini terketmeye başlar ve östenit fazının tane sınırlarında karbon çözünebilirliği düşük olan  $\alpha$  ferrit fazı oluşmaya başlar. Ferritin karbon çözünebilirliği az olduğu için çözünemeyen karbon da perlit olarak çöker. Böylece demir de HMK yapıya geçmiştir.

Tam %0,8 C oranında ise östenit taneleri tamamen perlite dönüşmüştür. Tamamen perlit içeren dönüşüm 723°C'de %0,8 C oranında meydana gelir. Bu dönüşümde karbon atomları tane sınırından başlayıp, içeri doğru büyüyen sementit lamellerini oluşturacak şekilde biraraya gelir ve lameller arasında karbonca fakir ferrit bölgeleri de oluşur.

### 2.2.3 Grafit Oluşumu

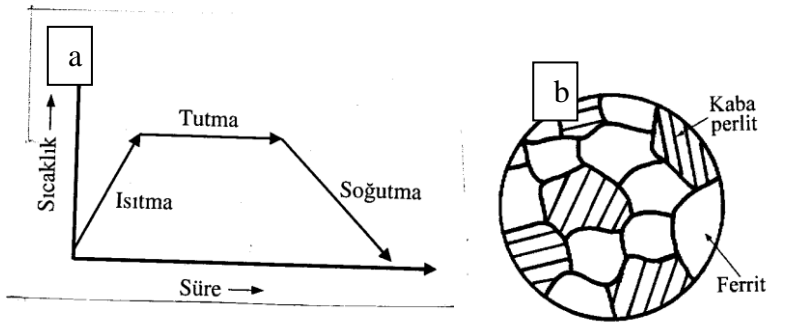
Demir karbon ikili sisteminde karbon yapıdaki silisyum oranına ve soğuma hızına bağlı olarak farklı oluşumlar gösterebilir. Şayet soğuma hızı yavaş ve silisyum miktarı fazlaysa bu karbonun bağımsız grafit şeklinde bulunmasına yol açar. Grafit sadece karbon içeren, hekzagonal kristal kafes yapısına sahip olan siyah renkli, yumuşak bir fazdır. Yağlayıcı amaçlı kullanılır. Silisyum artışı, karbon artışı ve yavaş soğuma grafit oluşumunu tetikler,  $Fe_3C$  yerine grafit oluşur. Grafit oldukça yumuşak ve gevrek, lamelli yapıdadır. Çelikte üretimi esnasında C ve Si miktarını sınırladığımız için grafitleşme gözlenmez, dökme demirlerde görülür.

## 2.3 Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler

### 2.3.1 Yumuşatma Tavı (Tam tavlama)

Talaş kaldırmayı ve soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla çeliğin uygun sıcaklığa kadar ısıtılıp istenen amaç sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş soğutulması işlemine yumuşatma tavı denir. Yumuşatma tavı iç gerilmeleri azaltmak amacıyla ötektoid altı çelikleri  $Ac_3$ , ötektoid üstü çelikleri de  $Ac_1$  çizgisinin üzerindeki belirli sıcaklığa kadar ısıtıp, iç yapılarını tamamen östenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş bir şekilde soğutma işlemidir. Tam tavlama olarak da isimlendirilen bu işlem sonunda sertlik düşer, süneklik artar. Bu işlemin değişik aşamalarında çelik parçalarda oluşan iç yapılar şöyle özetlenebilir.

- 1) İlk orjinal yapı iri ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır.
- 2)  $Ac_1$  çizgisinin hemen üzerindeki bir sıcaklıkta perlit ince taneli östenite dönüşürken, ferrit yapıda aynen kalır.
- 3)  $Ac_3$  çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta yapı tamamen ince taneli östenite dönüşür.
- 4) Parça oda sıcaklığına soğutulduğunda (çok yavaş) ince taneli ferrit ve kaba lamelli perlit bölgelerini içeren bir içyapı oluşur. (Savaşkan 2009) ve (Harman 2003).



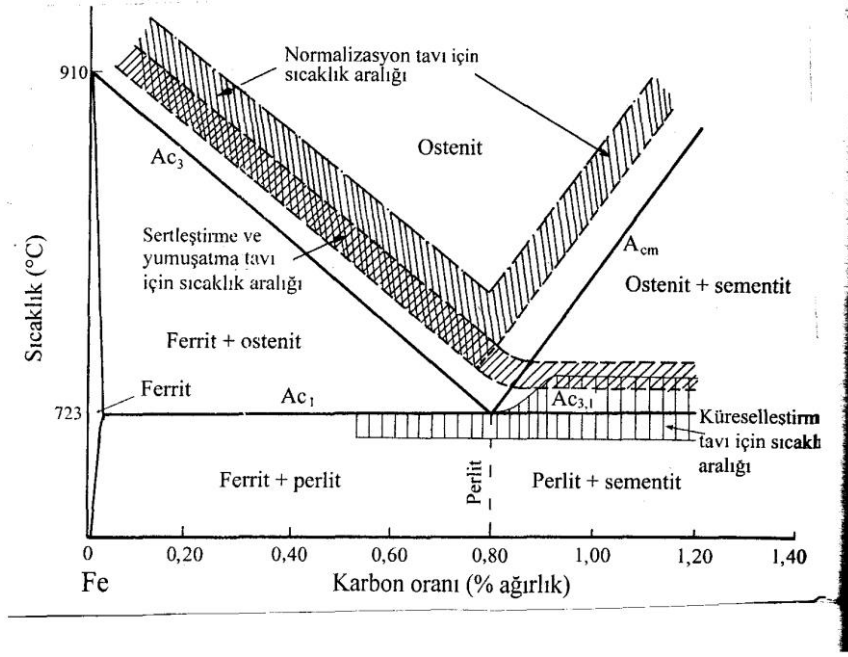
Şekil 2.3 a) Tam tavlama (yumuşatma) ısıl işlemi, b) Tam tavlama sonucu oluşan mikroyapı (Savaşkan 2009)

### 2.3.2 Normalizasyon Tavı

Normalizasyon tavı genelde taneleri küçültmek, homojen bir içyapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri  $A_{c3}$  ve ötektoid üstü çelikleri de  $A_{cm}$  sıcaklığının  $40^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$  üzerindeki sıcaklığa kadar ısıtıp, tavladıktan sonra fırın dışında (sakin havada) soğutma işlemidir. Normalizasyon tavlamaasının belli başlı amaçları;

- 1) İnce taneli yapı elde etmek,
- 2) Homojen bir iç yapı elde etmek,
- 3) Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak,
- 4) Hem talaşlı imalatı kolaylaştırıp hem de mekanik özellikleri iyileştirmektir.

Normalizasyon işleminde soğutma fırın dışında yapıldığından soğuma nispeten hızlı olur ve bu da hem östenitin dönüşümünü hem de elde edilen içyapıyı birkaç yönden etkiler. Havada soğuma sırasında ötektoid dışı fazların oluşumu için yeterli zaman olmadığından normalize edilen çelikler yumuşatma tavına oranla daha düşük oranda ötektoid dışı ferrit, ötektoid üstü çeliklerse daha düşük oranda ötektoid dışı sementit içerir. Yumuşatma tavına nazaran sertlik daha fazla süneklik daha azdır, maliyet daha düşüktür. (Savaşkan 2009) ve (Harman 2003).



Şekil 2.4 Normalizasyon, tam tavlama ve küreselleştirme tavlama için önerilen tavlama sıcaklığı (Savaşkan 2009)

### 2.3.3 Gerilme Giderme Tavlama

Parçalarda mevcut olan iç gerilmeleri azaltmak için yapılır. Döküm, kaynak, sertleştirme ısıl işlemi, plastik şekillendirme gibi işlemler iç gerilmelere neden olur. Dönüşüm sıcaklığının altında uygun bir sıcaklığa kadar ısıtma sonra da yavaş bir şekilde soğutma olayıdır. Genellikle düşük ve orta karbonlu çelikler için  $550^{\circ}\text{C}$ - $650^{\circ}\text{C}$  arası alaşımlı çelikler için bunun biraz üzeri  $600^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$  arası sıcaklıkta tavlama gerilme giderme için önerilir. Genellikle kalın parçalarda  $300^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar fırında sonra havada, ince parçalarda ise  $500^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar fırında sonra havada soğutulması önerilir, çünkü kalın parçalarda yüzey merkez arası iç gerilmeler biraz daha fazla olduğundan süneklik arttırılmaya çalışılmalıdır. Sıcaklık tayininde de amaç dönüşüm sıcaklığının altında tutmak, fakat mümkün olabildiğince iç gerilmeleri azaltabilecek kadar yüksek sıcaklıkta yeterince sürede tavlamaaktır.

### **2.3.4 Yeniden Kristalleştirme Tavlaması**

Yeniden kristalleştirme tavlaması ile soğuk deformasyonla meydana gelen pekleşme giderilmekte ve malzeme orijinal özelliklerini geri kazanabilmektedir. Yeniden kristallenme belli bir sıcaklık aralığında meydana gelir. Bu sıcaklık artan şekil değiştirme oranı ile azalır. Çeliklerde bu sıcaklık 600°C-700°C aralığındadır. Yeniden kristallenmenin olabilmesi belli bir kuluçka dönemi olması gerekmektedir. Bu zaman zarfında yeniden kristallenmenin olması için gerekli enerji depo edilir. Yeterli enerji sağlanınca yeniden kristallenme başlar. Yeniden kristallenme sonucunda, malzeme önceki özelliklerini tekrar kazanır ve ayrıca daha ince taneli bir yapı elde edilir. Yeniden kristallenmede ihtiyaçtan daha düşük sıcaklıklarda tavlama yapılırsa, bu daha önce bahsedilen gerilme giderme tavlaması halini alır, bu da malzemenin tane yapısını değiştirmez sadece kalıntı gerilmeleri azaltır. Yeniden kristalleştirme tavlamasında tavlama sıcaklığı ve süresi arttıkça süneklik artarken mukavemet ve sertlik azalır. (Savaşkan 2009).

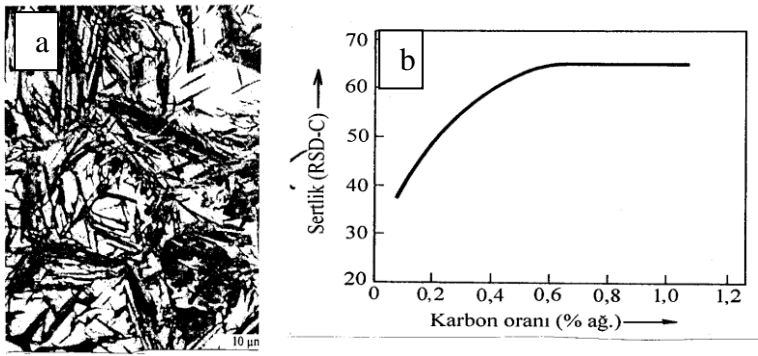
### **2.3.5 Su Verme Sertleştirme**

#### **2.3.5.1 Martenzitik Dönüşüm**

Östenitleme sıcaklığına kadar yapılan tavlama sonucunda çelik yavaş veya orta hızla soğutulursa, östenit yapıda çözülmüş olan karbon atomları difüzyon ile östenit yapıdan ayrılırlar. Bunun sonucunda da HMK yapıya sahip olan  $\alpha$  fazı oluşur. Soğuma hızı arttırılıp, belli bir değerin üzerine çıkartıldığında ise, karbon atomları difüzyon ile katı çözültiden ayrılacak yeterli zaman bulamazlar. Karbon atomları çözelti içerisinde hapsedildiklerinden HMK yapıya dönüşmezler ve farklı bir yapı oluşur. Bu yapı hacim merkezli tetragonaldir (HMT) ve martenzit adı verilir. Martenzit çok yüksek sertliğe sahiptir. Kafes yapısı distorsiyona uğramıştır. Süneklik yani şekil verme kabiliyeti oldukça düşüktür. Kafes yapısının bozulması dislokasyon hareketini zorlaştırarak veya engelleyerek sertlik ve mukavemeti büyük ölçüde arttırır. Martenzit fazı mikroskop altında iğne biçiminde gözükür. (Krauss 1999).



Martenzit dönüşümle ilgili değinilecek diğer hususlar, martenzitik dönüşüm yalnız soğuma ile meydana gelir ve soğuma engellenirse dönüşüm sona erer. Soğuma hızı azalırsa kalıntı östenit miktarı artar, sertlik düşer. Martenzitin sertliği C oranına bağlıdır. Şekil 2.5 'de görüleceği üzere C oranı arttıkça sertlik artar. C oranı belli bir değeri aştıktan sonra lineer artıştan sapmasının nedeni yüksek karbonlu çeliklerde kalıntı östenit fazı oluşma eğiliminin artmasından kaynaklanmaktadır. (Savaşkan 2009).

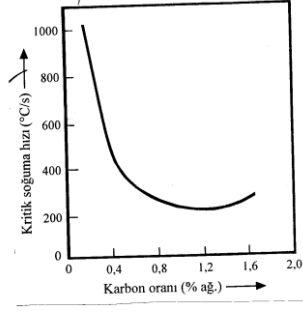


Şekil 2.5 a) Martenzit mikroyapısı, b) Çeliğin C oranına göre elde edilebilir sertlik.

a) (Eker 2008 [www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme1/Celigin\\_isil\\_islemleri.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme1/Celigin_isil_islemleri.pdf)) b) Savaşkan 2009

### 2.3.5.2 Kritik Soğuma Hızı

Çelikte ne kadar sertlik elde edilebileceği ne kadar martenzit fazı elde edilebileceğine bağlıdır. Tamamen martenzit elde edebilmek için de malzemenin tavlama işleminden sonra, kritik soğuma hızı adı verilen bir değerden daha yüksek hızla soğutulması gerekir. Yani kritik soğuma hızı tamamen martenzitik bir yapı elde etmek için gerekli en düşük soğuma hızıdır. Kritik soğuma hızı; karbon, diğer alaşım elementleri ve östenitin tane büyüklüğüne bağlıdır. Düşük karbonlu çeliklerin kritik soğuma hızı çok yüksektir. Şekil 2.6 kritik soğuma hızı ve C oranı arasındaki ilişki görülmektedir. (Savaşkan 2009).



Şekil 2.6 Karbon oranına göre çeliğin kritik soğuma hızı (Savaşkan 2009)

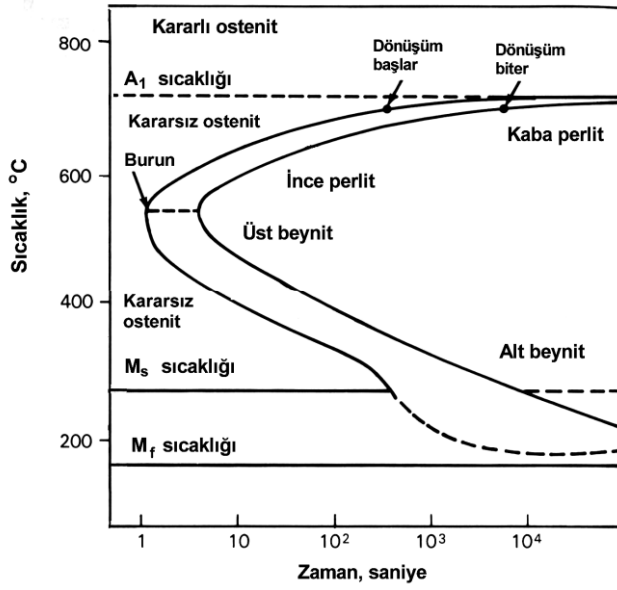
### 2.3.5.3 Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramı

Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramı adı üstünde denge koşullarını inceleyebilen bir diyagramdır. Östenitin dönüşüm süresi oluşan dönüşüm ürünlerinde ve neticede oluşan çeliğin mekanik özelliklerinde önemli etkisi vardır. Bu da ancak östenitin Ac<sub>1</sub> çizgisinin altındaki herhangi bir sıcaklıkta ne zaman dönüşmeye başlayacağı, dönüşümün ne kadar sürede tamamlanacağı ve sonuçta hangi ürünlerin oluşacağını bilinmesiyle mümkündür. Bunun için de zaman sıcaklık dönüşüm diyagramından faydalanılır.

Şekil 2.7’de %0,8 C içeren çeliğin ZSD (Zaman Sıcaklık Dönüşüm) diyagramı görülmektedir. Çeliğin karbon oranının değişmesi diyagramı da değiştirecektir. Burada ilk eğri dönüşümün başladığı, ikinci eğri de dönüşümün bittiği eğridir. Martenzitik dönüşümünün başladığı ve bittiği çizgi Ms ve Mf olarak yatay çizgilerle belirtilmiştir. Grafik yorumlanırsa, iki eğri arasındaki bölgede dönüşüm kısmen oluşmuş kısmen tamamlanmamıştır. Buradan da görüleceği üzere bu eğri belirli bir sıcaklıkta sıcaklık eksenine yaklaşmaktadır. En yakın olduğu bu bölgeye perlit burnu denir, bu burun su verilirken soğutulması gereken en yavaş hızı belirler. Diyagramın burun kısmının üstündeki bölgede oluşan ürünün perlit olduğu anlaşılmaktadır. İzotermal dönüşüm sonucunda oluşan perlitin inceliği (lameller arası uzaklık) ve malzemenin sertliği dönüşüm sıcaklığına bağlıdır. Örneğin Ac<sub>1</sub> dönüşüm sıcaklığının hemen altındaki meydana gelebilecek bir dönüşümde perlit lamelleri arası mesafe

fazla (kaba perlit) ve malzeme yumuşak ve sünekken, dönüşüm sıcaklığı düştükçe perlit lamelleri arası mesafe az ve malzeme daha serttir. (Savaşkan 2009).

Perlit burnunun altındaki ve martenzitik dönüşümün üstündeki sıcaklıkta dönüşüm meydana gelirse, ferrit matrisleri içerisine dağılmış olan sementitlerden oluşan bir yapı meydana gelir. Bu yapıya beynit adı verilmiştir. Beynit perlitten daha sert martenzitten ise daha yumuşaktır. (Savaşkan 2009).

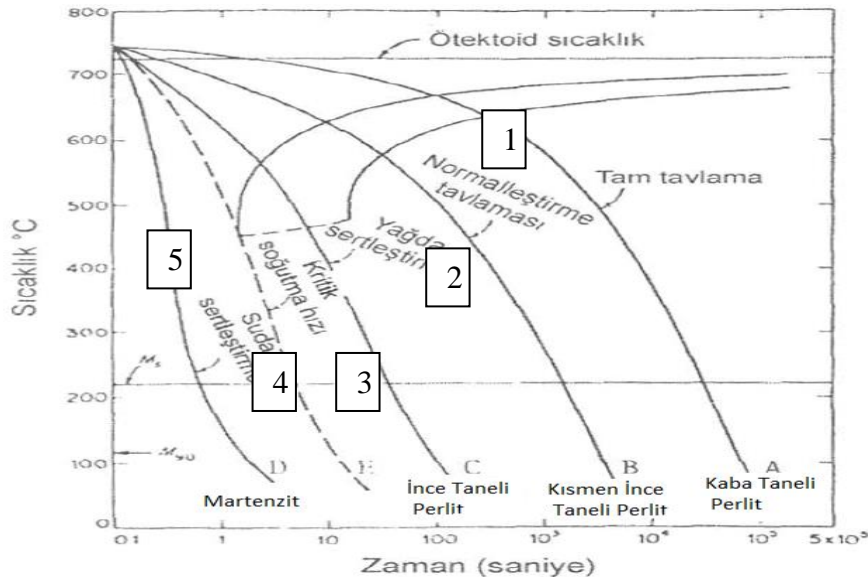


Şekil 2.7 Zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı (Keleşoğlu 2008  
<http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/isil-yansilar.html>)

#### 2.3.5.4 Soğuma Eğrileri

Soğuma eğrileri malzeme sıcaklığının soğuma süresine göre değişimini göstermektedir. Dolayısıyla bu eğriler değişik soğuma sürelerinde malzemelerin dönüşüm sıcaklığı ölçülerek çizilirler. Şekil 2.8'de kaba perlite giden 1 numaralı eğri tipik bir yumuşatma tavına ait bir soğuma eğrisini göstermektedir. Görüleceği üzere çeliğin yapısı uzun süre östenit olarak kalmaktadır. Dönüşüm tamamlandıktan sonra da yapı kaba taneli perlitik yapıdır. Orta perlite (kısmen ince taneli) giden 2 numaralı

eğri ise tipik bir normalizasyon tavlamasını göstermektedir. Dönüşümün başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki sıcaklık farkı yumuşatma tavına nazaran daha fazla olduğundan çok daha az oranda kaba perlitik kısmen ince taneli yapı içermektedir. İnce perlite giden 3 numaralı eğri ise tipik yağda soğumayı gösteren eğridir. Sonucunda da ince taneli perlitik yapı oluşur. Bir altındaki 4 numaralı eğri ise kritik soğuma eğrisini temsil eder, bu eğrinin eğimi kritik soğuma hızıdır. Bu hızdan daha düşük soğuma hızlarını gösteren 3 numaralı gibi eğrilerde burun bölgesi eğriyi kestiği için yapı tam olarak martenzite dönüştürülemez. Fakat 4 numaralı eğrinin altında gösterildiği üzere daha hızlı soğuma hızı elde edilirse örneğin suda soğutmayla erişilen 5 numaralı eğri gibi olduğu durumlarda ancak yapı tamamen martenzit haline getirilebilir. (Savaşkan 2009) ve (Keleşoğlu 2008).



Şekil 2.8 Zaman sıcaklık dönüşüm diyagramında soğuma eğrileri (Keleşoğlu 2008  
<http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/isil-yansilar.html>)

### 2.3.5.5 ZSD Eğrilerinin Durumunu Etkileyen Faktörler

ZSD diyagramına ait eğrileri sadece 2 faktör etkiler. Birincisi kimyasal bileşim diğeri ise östenitin tane büyüklüğüdür. Karbon oranı, alaşım elementi miktarı ve östenitin tane büyüklüğü arttıkça ZSD diyagramına ait eğriler sağa doğru kayar. Diyagramdaki

eğrilerin sağa doğru kayması demek kritik soğuma hızının azalması yani martenzit yapı oluşumunun kolaylaşması demektir.

Lakin alaşım elementlerinin her birisinin yaptıkları etki farklıdır yani sağa kaydırma miktarı farklıdır. Başlıca V, Mo, Cr, Mn sağa kaydıran elementlerdir. Demir gibi HMK yapıya sahip olan Co ise sağa kaydırmada etki oluşturmaz. Alaşım elementlerinin bu yaptıkları etki sertleşme derinliğinin de artmasına sebep olur. (Savaşkan 2009).

### 2.3.5.6 Su Vermede Isı Transferi

Östenitlenen çeliğin soğuması sırasında meydana gelen ısı transferi termodinamiğin birinci yasasıyla açıklanabilir. Burada soğutma ortamında yüzeyde ısı transferi meydana gelir. Yüzey alanıyla doğru orantılıdır. Malzemenin su verilerek soğutulması esnasında iletim ve taşınım mekanizmaları geçerlidir.

İletim; Fourier yasası olarak da bilinir, birim zamanda bir tabaka boyunca olan ısı akışı miktarının, sıcaklık farkının gradyanına olan oranıdır. Bu kanunla kapalı bir şekilde ortaya çıkan orantı sabiti ise ısı iletim katsayısı (k) adını alır.

$$Q_x = -k.A.(dT/dx) \quad (2.1)$$

Katı bir yüzey ile ona komsu olan hareket halindeki sıvı veya gaz halde olan akışkan arasında gerçekleşen ısı transferi şekline taşınım ile olan ısı transferi denir. Taşınım, içinde hem iletimden hem de akışkan hareketinden meydana gelen bileşik etkileri içerir. Taşınım ile meydana gelen ısı transfer hızı “Newton Soğuma Yasası” olarak bilinir.

$$Q_{(TAŞ)} = h.A.(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

Burada, yüzey ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark  $(T_s - T_\infty)$  şeklinde ifade edilir. Bu ifade Newton' un Soğuma Yasası olarak bilinir ve  $h$  ( $W/m^2.K$ ), ısı taşınım katsayısı

olarak adlandırılır. Isı transferi sırasında tıpkı elektrik devresinde olduğu gibi bir termal direnç oluşur.

$$R_{\text{tot}} = \sum R_t = \Delta T / q = 1 / (U \cdot A) \quad (2.3)$$

$$U = 1 / (R_{\text{(tot)}} \cdot A) = 1 / ((1/h_1) + (l_a/k_1)) \quad (2.4)$$

Termal direnç olayı malzemenin soğuması esnasında meydana gelir. Bunun yüzünden malzemenin merkezinde olan soğutma hızı parçanın yüzeyine nazaran düşüktür. Çünkü malzemenin merkezinde bir iletim direnci meydana gelir. Bu da malzemenin merkezinin sertliğinin malzemenin yüzeyine nazaran daha düşük olmasına neden olur. Kalın kesitli parçalarda iletim direncinde yer alan  $l$  değeri arttığından merkez ile yüzey arasındaki soğuma hızı farkı artar bu da merkezdeki sertliğin daha fazla düşmesine neden olur. (Çakır 2008).

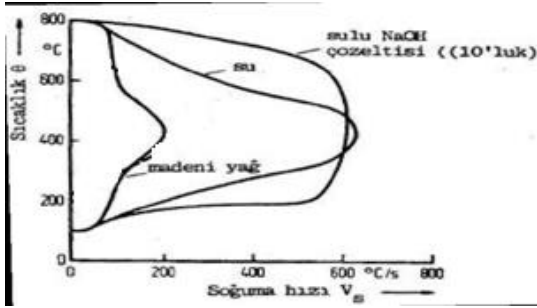
Ayrıca su verme işlemi sırasında ısı transferi mekanizması incelenirse; ilk aşamada malzemenin sıcaklığı çok yüksek olduğundan su verme ortamı buharlaşarak malzemenin üzerinde ince bir buhar filmi tabakası oluşturur. Bu da ilave bir taşınım direncinin oluşmasını sağlar. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda soğuma hızı nispeten düşüktür, fakat sıcaklık azaldıkça buhar filmi tabakası kırılır ve parça yüzeyi direkt olarak soğutucu ortamın taşınım şeklinde ısı transferine maruz kalır ve bu yüzden malzemenin sıcaklığı hızla düşer, fakat daha sonra malzemenin sıcaklığı hızla azaldığından sıcaklık gradyanı azalmıştır ve bu yüzden soğuma hızı azalır. (Savaşkan 2009).

### **2.3.5.7 Su Verme Ortamları**

Hızlı soğuma ortamında hem ısıl daralma hem de martenzitin fazı özelliğinden dolayı hacim artışı meydana getirir ki bu da çeliğin çarpılmasına (kafes yapısının bozulması) neden olur. Çarpılma riski alaşımli çeliklerde daha fazladır, bu yüzden alaşımli çelikler yavaş soğutma ortamlarında soğutulur. Belli başlı soğutma ortamları;

- Musluk suyu
- %10 NaCl içeren tuzlu su
- Yağ-su karışımı
- Yağ
- Hava (Ancak yüksek alaşımlı çeliklerin sertleştirilmesinde)

Suya %10 oranında NaCl ilavesiyle buhar filmini azaltarak 600°C civarında en hızlı soğumanın oluşmasını sağlar bu da hızlı soğuma (ısı daralma) ve martenzitik dönüşüm (hacim artışı) zamanını biraz ayırıştırarak çatlama ve çarpılma riskini biraz azaltır. Geleneksel olarak yağ ortamının kullanılması durumunda soğutma ortamının 40°C -70°C arasında olması önerilir. Çünkü yağın viskozitesinin sürekli kontrol altında tutulması gerekmektedir. Banyo sıcaklığı arttıkça yağın viskozitesi azalır, bu da ısı taşınım katsayısının ve soğuma hızının artmasına neden olur. Şekil 2.9'da ısı transferi sonucunda meydana gelen soğuma hızının farklı soğutma ortamlarında oluşumu görülmektedir. (Savaşkan 2009) ve (Tutar 2011).

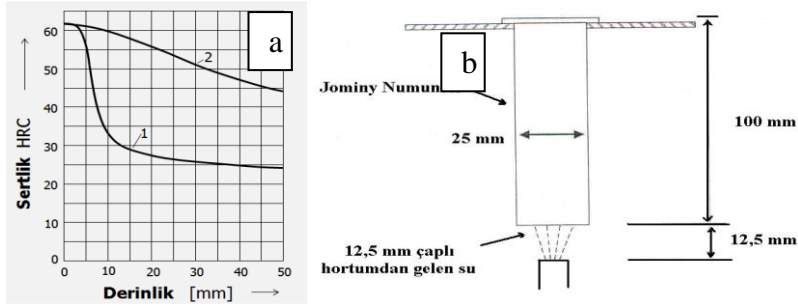


Şekil 2.9 Isı transferi sonucunda meydana gelen soğuma hızının farklı soğutma ortamlarında oluşumu (Tutar 2011 home .uludag. edu .tr/ users/ mumintutar /mm/7.pdf)

### 2.3.5.8 Sertleşebilirlik

Sertleşebilen çeliklerde tüm kesit sertleştirildiğinde, çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değerini ve yüzeyden itibaren malzemenin merkezine doğru sertlik dağılımının

ne olacağını bilmek istenir. Bu iki kavrama birlikte, yani yüzeyde ulaşılabilecek sertlik değeri ve sertliğin kesitte dağılımına, “sertleşebilirlik” denmektedir. Çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değeri, çeliğin içerdiği karbon miktarına ve östenitleştirme sonrası soğutma hızına bağlı olarak teşekkül eden martenzit miktarına bağlıdır. Eğer çeliğin yüzeyindeki soğutma hızı, bu çelik için geçerli olan üst kritik soğuma hızından daha büyük değerde ise, çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değeri yalnızca çeliğin karbon miktarına bağlı kalır. Yüzeyden itibaren merkeze doğru gidildiğinde ise ani soğutma işleminde söz konusu noktalarda soğutma hızı kritik soğutma hızından daha düşük değere inildiğinde, bu noktalarda tam martenzitik yapıya ulaşamaz. Çünkü ısı transferi sırasında iletim direncinden dolayı yeterli düzeyde değildir.



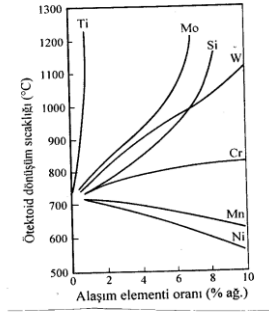
Şekil 2.10 a) Yüzeyden merkeze doğru meydana gelen sertleşebilirliğin gösterimi (1- alaşımsız çelikler, 2- alaşımlı çelikler), b) Jominy test numunesi  
a) (Tutar 2011 home .uludag. edu .tr/ users/ mumintutar /mm/7.pdf)  
b) Savaşkan 2009

Jominy tarafından geliştirilmiş olan deney yardımıyla sertleşebilirlik ölçülür. Bu yöntemde, Şekil 2.10.b’de görüleceği üzere östenitik hale ısıtılmış silindirik numune, yalnızca alan yüzeyinden su ile ani soğutulur. Daha sonra alın yüzeyinden itibaren çeşitli aralıklı noktalarla sertlik ölçümleri yapılır, bu test de sertleşebilirliğin alaşımsız çeliklerde sertleşebilmenin yetersizliğini kanıtlar. (Çelik ve arkadaşları 2006) .Şekil 2.10a’da 1. numune alaşımsız, 2 alaşımlı çeliğin sertleşebilirliğini göstermektedir.



Alaşım elementleri oranı arttıkça sertleşme derinliği artar. Soğutma yüzeylerinden daha büyük mesafelerde bile sertleşme sağlanmış olur ve aynı mesafelerdeki tam sertleşme için daha düşük soğutma hızları yeterli gelir. Alaşım elementlerinin varlığı, difüzyon hızını ve kritik soğuma hızını düşürecektir. Kritik soğuma hızının düşürülmesi de çarpımları azaltır, daha düşük soğuma hızlarında bile aynı sertliği elde etmemizi sağlar. Eğer yapı içerisinde yeteri kadar alaşım elementi mevcutsa yağda soğutma yeterlidir. Hatta bazı süper alaşımlı çeliklerde havada soğutma bile yeterli olur. H13 çeliği bu duruma örnek verilebilir.

Bunun yanında Mn, Cr, W, Mo, V ve Ti karbür oluşturu elementlerdir. Ferrit içerisine karbür olarak çökerek çeliğin sertlik ve mukavemetini hayli artırır. Ayrıca alaşım elementleri östenitleştirme sıcaklığının değişmesine de neden olur. Bu da gerekli tavlama sıcaklığının değişmesine neden olur. Şekil 2.11’de alaşım elementlerinin yüzdesel olarak arttıkça ötektoid sıcaklığının değişimi görülmektedir. Mn ve Ni dönüşüm sıcaklığını düşürecek şekilde bir davranış gösterir. Ni ve Mn sayesinde daha düşük sıcaklıklarda östenit yapı elde edebilir. Ti, Mo, Si, W, Cr ise östenit bölgesini daraltır. (Savaşkan 2009) ve (Çelik ve arkadaşları 2006).

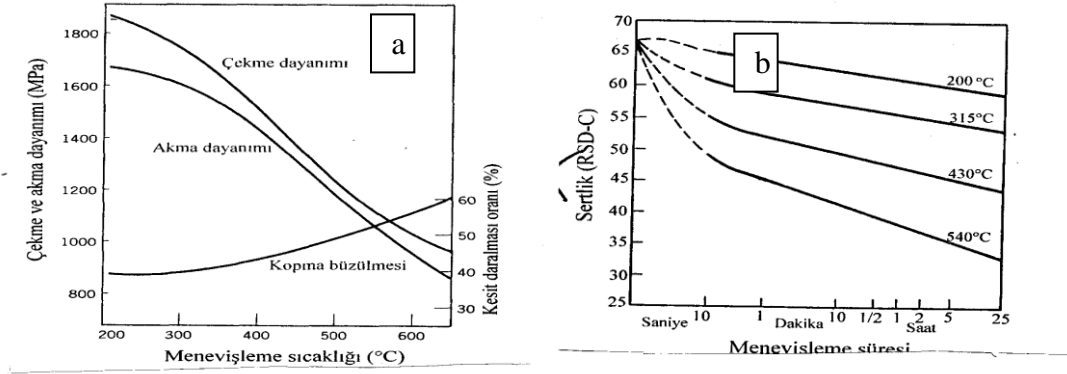


Şekil 2.11 Alaşım elementlerinin östenit dönüşümüne etkisi (Savaşkan 2009)

### 2.3.6 Menevişleme (Temperleme)

Çeliklere su verme ile elde edilen martenzitik yapı çok sert ve gevrektr. Ayrıca martenzitik dönüşüm çelik içerisinde iç gerilmeler meydana getirir. Bu nedenle bu

malzemeler pek çok mühendislik uygulaması için elverişli değildir. Sertleştirilmiş olan bu çelikler genellikle  $A_{c1}$  sıcaklığının altında tavlanylabilir. Amaç gevrekliği gidermek ve tokluğu arttırmaktır. Bu tavlama işlemine menevişleme denir. Bu işlemde çelik belli bir sıcaklıkta menevişlendikten sonra havada soğutulur. Bunun sonunda sertlikte biraz düşme meydana gelse de süneklik ve tokluk artar. Menevişleme sıcaklığı ve süresi arttıkça çeliğin sertliği azalır. Şekil 2.12'de menevişleme yapılması sonucunda meydana gelen mekanik özelliklerde değişim ve menevişleme sıcaklığı ve süresinin sertliğe olan etkisi görülmektedir. (Savaşkan 2009).



Şekil 2.12 a) Menevişleme sonucu mekanik özelliklerde değişim, b) Menevişleme sıcaklığı ve süresinin sertliğe olan etkisi (Savaşkan 2009)

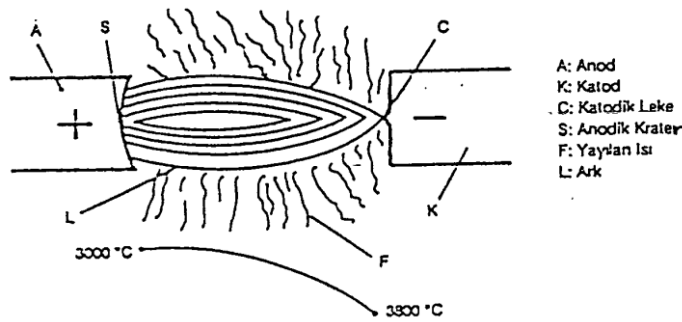
## 2.4 Kaynak

Metal ve alaşımlarının ısı etkisi veya ısıyla beraber basınç altında dolgu malzemesi kullanılarak veya bazı durumlarda kullanılmayarak birleştirilmesine kaynak denir. Tam bir tanımlamada kaynak, bir ergiyik geçişi (transferi) şeklinde yorumlanabilir. Kaynak esnasında yüksek ısı girdisi gerektirdiğinden ısıdan etkilenen bölgede tane yapısında ve mekanik özelliklerde önemli miktarda değişimler meydana getirir.

Kaynağın çelik malzemelerde tercih edilen birleştirme metodu olmasının en önemli nedeni iyi bir kaynak dikişinin istenen dayanımı ve kısmen tokluğu sağlayabilmesidir. Bu dayanımı ve kısmen tokluğu elde etmeyi sağlamak için kaynak yöntemi seçimi, ön ısıtma sıcaklığı, iş parçası çeliğin alaşım elementi içeriği ve miktarı, kaynak parametreleri (akım, kaynak hızı, koruma ortamı), iş parçasının kalınlığı, haddeleme yönü gibi birçok parametrenin hesaba katılması gerekir. Değişik uygulama alanlarına göre pek çok kaynak türü mevcuttur. Bu çalışmada elektrik enerjisinden faydalanılarak ark üretimi yapılması zaruri olan gazaltı ve elektrot kaynağı incelenecektir.

#### 2.4.1 Ark Oluşumu

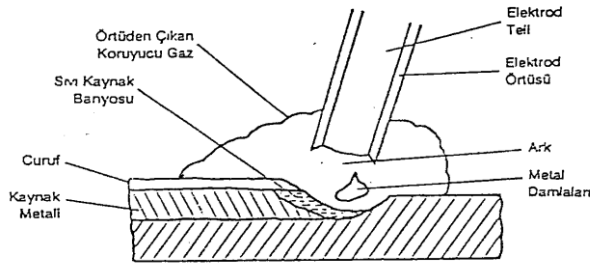
Gazaltı (MIG/MAG) ve elektrot kaynağının ortak özelliği ark üretimi sonucunda elde edilen ısıdan faydalanılarak ergitme sağlanan kaynak metodları olmasıdır. Ark; kaynaklama işlemi için tekrarlanabilir özelliğe sahip, yoğun ve çok yönlü ayarlanabilen bir ısı kaynağıdır. Düşük yanma gerilimi (15-40 V), belli bir akım şiddeti ( $I > 1A$ ), aşırı yüksek sıcaklık, yoğun ultraviyole, gözle görünür, kızılötesi ışınım şartları ark oluşumunu tanımlar. Arkın oluşumu termik iyonizasyonla sağlanır. Arkın tutuşması sayesinde damlacıklar halinde kaynak metali kopar ve yerçekimi kuvveti de damlacığı malzemeye doğru ivmelendirir. Ark üretimi sonucunda oluşan kaynak banyosunun havanın olumsuz etkilerinden korunması biçimlerine göre çeşitli kaynak metodları mevcuttur. Şekil 2.13'te arkın oluşumu gösterilmiştir. (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005).



Şekil 2.13 Ark oluşumu (Mor 2001).

## 2.4.2 Örtülü Elektrotla (Elle Ark) Kaynağı

Örtülü elektrotla yapılan ark kaynağında ark, iş parçası ile eriyen elektrot arasında oluşur ve böylece eriyen elektrot kaynak metaline halinde geçer. Ark ile birlikte elektrot örtüsü de ısıdan dolayı yanarak erir ve ergime esnasında açığa çıkan gaz ile birlikte kaynak banyosunun üzerinde oluşan cüruf kaynak dikişini örtterek kaynak metalinin, atmosferden nüfuz eden gazlara karşı kaynak metalini korur ve bu cüruf kaynak metalinin gazaltı kaynağına göre yavaş soğumasını sağlar.



Şekil 2.14 Örtülü elektrotta kaynak banyosu, cüruf ve gaz oluşumu (Mor 2001)

Elektrot çekirdek ve örtü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Çekirdek kaynak metalinin ve akımın geçişini sağlar. Örtü ise kaynak metalini havanın olumsuz etkilerinden korur, içerisindeki alaşım elementleri sayesinde kaynak dikişini alaşımlandırır bu da banyoyu metalurjik yönden etkiler ve cüruf oluşturarak kaynak dikişinin geç soğumasını sağlar, arkın tutuşmasını kolaylaştırır ve de eriyik haldeki metal damlalarına yüzey gerilmesi etki ederek tavan kaynağı yapılmasına olanak sağlar. Elektrot kaynağında elde edilen kaynak dikişinin nüfuziyeti örtünün kimyasal bileşimine bağlıdır. Rutil, bazik, selülozik, asidik ve demir tozlu örtüler mevcuttur. Burada en çok kullanılan rutil ve bazik örtüler incelenecektir. (Mor 2001).

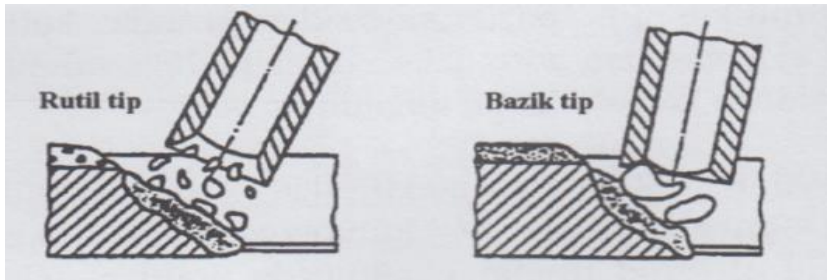
### 2.4.2.1 Rutil Elektrotlar

Bunlar az cüruf bırakan ve her pozisyonda kaynak yapılabilme olanağı sağlayan elektrotlardır. Elektrot örtüsü içerisinde titan dioksit ihtiva eder. Değişik örtü

kalınlığında üretim mevcut olup kalınlık arttıkça mekanik özellikler iyileşir. Tutuşturulmaları kolaydır, sıçrantıları da azdır. Bu yüzden kaynakçıdan istenenler de azdır. Her ne kadar cüruf nispeten az oluşsa ve cürufun metalurjik etkisi sınırlı da olsa oluşan cüruf atmosferik gazlara karşı kaynak bölgesini koruyucu özelliğe sahiptir. Rutil elektrotlar genellikle ince ve alaşımsız çeliklerin kaynağında tercih edilir. (Mor 2001).

#### 2.4.2.2 Bazık Elektrotlar

Bazık elektrotların örtü malzemesi kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile beraber CaF içerir. İş parçası açısından zorluklar beklendiğinde, çatlama karşı duyarlılık arandığında ve kalın çeliklerde kullanılır. Bazık elektrot doğru akımda (+) kutupta kaynatılır. Düşük hidrojen oranı sebebiyle diğer elektrot tiplerine nazaran daha az çatlama eğilimindedir. Cüruf tabakası kolayca temizlenebilir, tokluk ve nufuziyet derinliği açısından daha yüksek değerler elde edilebilir. Bazık elektrot dendiğinde ilk akla gelebilecek husus, bunların kesin olarak kuru yani nemden arındırılmış olmaları gerektiğidir. 1-2 saat süreyle 200°C-350°C sıcaklıkta kurutulmuş elektrotlarla çalışılmalıdır. Böylece örtünün en büyük düşmanı olan hidrojenin örtünün yanması sırasında kaynak dikişine girmesi önlenmiş olur. (Mor 2001).



Şekil 2.15 Rutil ve bazık elektrot damlacık geçişi

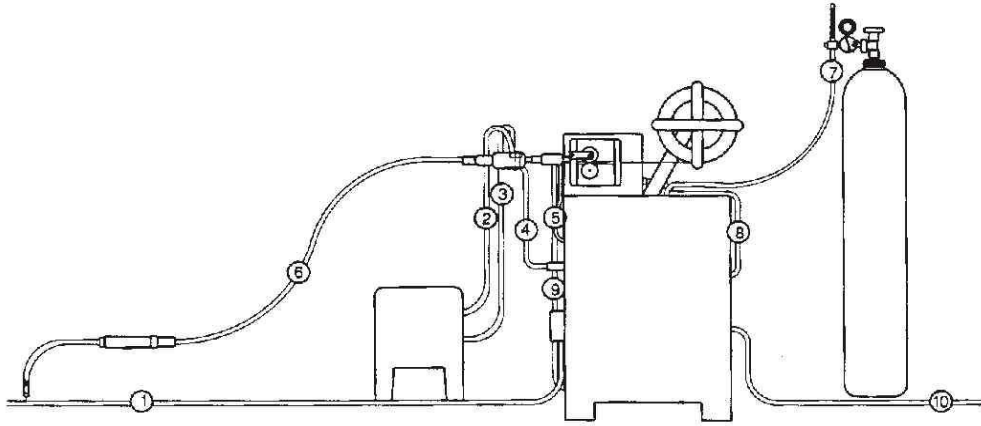
(Odu Kaynak Mühendisliği ders notu 2005)

### 2.4.3 Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı

Metal koruyucu gaz (MIG/MAG) kaynağı, koruyucu gaz atmosferi altında sonsuz ve ergiyen tel elektrotla yapılan bir ark kaynağı yöntemidir. Koruyucu gaz asal gaz ise MIG, aktif gaz ise MAG kaynağı adını alır. Çeliklerde MAG kaynağı tercih edilir.

Alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklerin kaynağı hızlıdır, kaynakçıdan beklenen azdır ve aparatlar yardımıyla mekanize edilebilir. Metal yığıma hızı elle ark kaynağına göre yüksek olduğundan hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir. Bunlar bu yöntemin avantajlarıdır. Bunun yanında çeşitli dezavantajları da mevcuttur. Özellikle kaynak dikişinin başlangıcında ısı girdisiyle dolgu malzemesinin ergimesi eşzamanlı olduğundan dikiş başlangıcı ve pasoların ek yerlerinde birleşme hatalarını önlemek mümkün olmayabilir. Düşük hızda kaynak yaparken arkın önüne akan kaynak banyosu da birleşme hatalarına neden olabilir. (Eryürek 2007 Askaynak notları).

Şekil 2.16'da gazaltı kaynak makinası donanımı verilmiştir. MIG/MAG kaynak makinası su veya hava soğutmalı olabilir. Ancak su soğutmalarda daha yüksek amperlere çıkılabilir, verim daha yüksektir. Daima doğru akım kullanılır.



Şekil 2.16 Gazaltı kaynak makinası donanımı

1- İş parçası kablosu, 2-3 Torç için soğutma suyu giriş çıkışları, 4-Torç tetiği devresi, 5- Torca koruyucu gaz devresi, 6- Kablolar, 7- Tüpten gelen koruyucu gaz, 10- Güç girişi.

(Eryürek 2007 [www.askaynak.com.tr/.../34/20110704114231\\_gazalti-ark-kaynagi.pdf](http://www.askaynak.com.tr/.../34/20110704114231_gazalti-ark-kaynagi.pdf))

### **2.4.3.1 Ark Çeşitleri**

Düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında kısa ark boyuna rastlanır. Isı girdisi düşüktür. İnce malzemelerin kaynağında çarpılma riski az olması nedeniyle, kaynak banyosunun küçük ve hemen katılaşabilir olmasından dolayı tavan kaynaklarında tercih edilir. Akım şiddeti arttırılırsa ark boyu da uzayacak ve uzun ark şekli oluşacaktır. Bu durumda sıçrantı da haliyle artacaktır. Çok hızlı damlacık oluşması, irileşmesi ve elektrot çapını aşınca da yerçekimi etkisiyle kopması gözlemlenecektir. Sprey ark ise argonca zengin gazlar kullanıldığında ve kritik akım şiddeti aşıldığında telin ucu çok ısınır, akışkanlaşır ve duşlama şeklinde damlacık geçişi gözlenir. Kalın parçaların kaynağında bilhassa dolgu ve kapak pasosu kaynağında çok uygundur. (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005).

### **2.4.3.2 Koruyucu Gazlar**

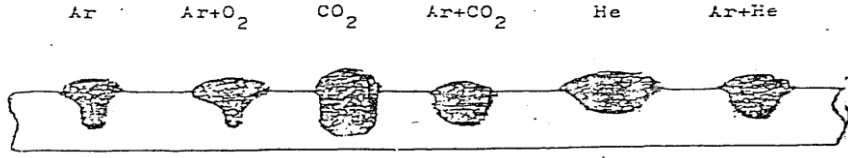
Ark bölgesini tamamen örtmek ve kaynak bölgesini atmosferik ortamdan korumak gerekir. Bunun yanında koruyucu gazın muhteviyatı ve debisinin pek çok kaynak parametresini etkilediği bilinmektedir. Nüfuziyet, dikiş geometrisi, duman oluşumu, ark kararlılığının kontrolü, sıçrantı kontrolü gibi bazı parametrelerde optimum değerler doğru içerikte ve doğru debide gaz kullanılarak elde edilebilir.

MIG/MAG kaynağında asal ve aktif veya bunların çeşitli oranlarda karışımını ihtiva eden gazlar kullanılır. Genel olarak asal gazlar tepkimeye girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif-asal gazların karışımları ise çelik malzemelerin kaynağında kullanılır. Genel olarak asal gaz olarak argon kullanılır. Çünkü helyumun maliyeti yüksektir. Aktif gazlar olarak da CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> ilk akla gelenler olmakla beraber MAG kaynağında ya CO<sub>2</sub> ya da CO<sub>2</sub>, Ar, O<sub>2</sub> karışımı tercih edilmektedir.

Çok düşük gaz debisi, yetersiz korunmaya neden olur. Öte yandan çok büyük gaz debisi değeri de türbülans oluşturup ergimiş metal damlacıklarını kaynak banyosu dışına savurarak fazla miktarda sıçramaya neden olur. 10-15 lt/dk genel uygulamalar

için yeterli denebilir. Çünkü ideal debi, koruyucu gaz, akım, malzeme alaşımı, malzeme kalınlığı... gibi pek çok parametreye bağlıdır.

CO<sub>2</sub> maliyet ve nüfuziyet açısından faydalı fakat sıçrıntı açısından dezavantajlıdır, Ar nüfuziyet için yetersizdir fakat spray ark geçişine olanak sağlar. Bu nedenle genellikle sanayide CO<sub>2</sub> veya argonca zengin Ar-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> karışımı tercih edilir. (Mor 2001).



Şekil 2.17 Koruyucu gazların nüfuziyet profili (Mor 2001)

#### 2.4.3.3 Tel Elektrotlar

Kaynak esnasında üzerinden akım geçerek ergiyen, otomatik olarak beslenme imkanı bulunan, ilave kaynak metali olarak kullanılan ve bir kangala sarılı halde bulunan tellerdir. Tel elektrotlar SG1, SG2 ve SG3 olarak 3'e ayrılır .SG1 çekme mukavemeti yönünden, SG3 de sertleşme tehlikesi yönünden dezavantajlıdır. Genellikle alaşımsız çeliklerde SG2, alaşımlı çeliklerde ise SG3 tercih edilir.Tel çapları ise 0,8-1-1,2-1,4-1,6,2-2,4 mm olarak piyasada bulunur. Kaynak yapılacak parçanın kalınlığı tel çapı seçimde etkindir.



Çizelge 2.2 Gazaltı kaynak tellerinin kimyasal içerikleri (Mor 2001)

Simge	Malzeme No	Kimyasal Bileşim %						
		C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cu ≤	Müs.Ed. Saf.
SG 1	15112	0.07– 0.12	0.5 – 0.7	1.0 – 1.3	0.025	0.025	0.30	Cr 0.15 V 0.05 Zr + Ti 0.15 Al 0.02 Ni 0.15 Mo 0.15
SG 2	15125	0.07– 0.14	0.7 – 1.0	1.3 – 1.6	0.025	0.025	0.30	
SG 3	15130	0.07– 0.14	0.8– 1.20	1.6 – 1.9	0.025	0.30	0.30	

## 2.4.5 Kaynak Bölgeleri

Bir kaynaklı birleştirme ana metal, ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) ve de ergime bölgesinden meydana gelir.

### 2.4.5.1 Ergime Bölgesi

Ergime bölgesi belli oranda ana metal ile kaynak dolgu malzemesinin karışımından oluşan bölgedir. Karışım oranı, kaynak yöntemine, dikiş türüne, ağız hazırlığına ve malzeme kalınlığına bağlıdır. (Mor 2001).

### 2.4.5.2 Isı Tesiri Altındaki Bölge

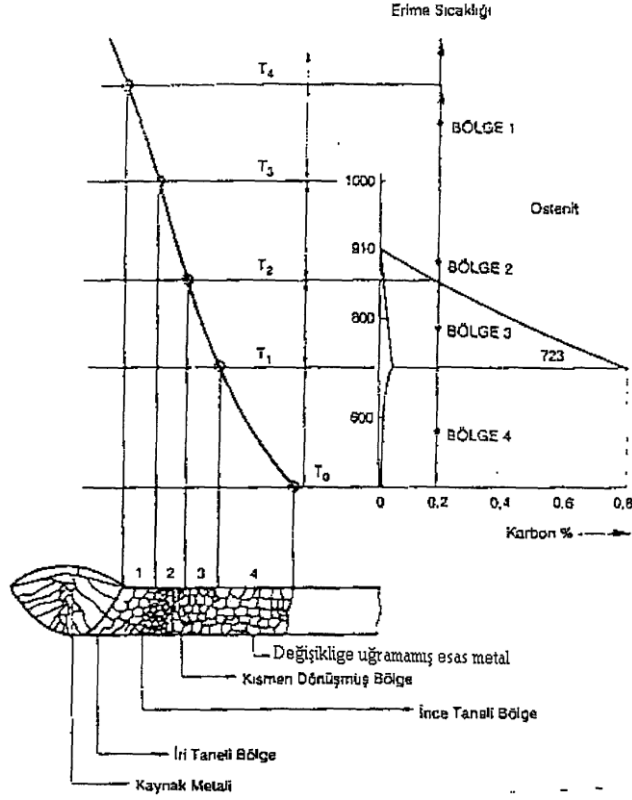
Metal malzemelerde, kaynak dikişinin hemen yanındaki bölge sıcaklık etkisinde kalır. Yapı çeliklerinde bu etki çeliğin üretimi esnasında görmüş olduğu ısıl çevrimlerden farklı olduğundan, ortaya iç yapısı ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri birbirinden farklı olan bölgeleri ortaya çıkarır. Ergime çizgisinin ana metal tarafında

kaynak esnasında uygulanmış olan ısıdan etkilenmiş ve dolayısıyla iç yapı değişimine uğramış olan bölge vardır. Bu bölgeye ITAB adı verilir. Çeliğin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450°C-700°C arasında değişmektedir. Bu bölgede elde edilmiş olan sıcaklığa bağlı olarak çeşitli mikroyapı ve mekanik özellikler görülür. Kaynak esnasında bu bölge hızlıca ısınmakta sonra malzeme kalınlığı, ön ısıtma sıcaklığı, uygulanan akım, voltaj, ilerleme, paso sayısı, malzemenin ısıl iletkenliği, kaynak hızı gibi parametrelere bağlı olarak hızla soğumaktadır. Bu dönüşüme bağlı olarak ITAB içerisinde ergiyik bölgesinden uzaklaştıkça iri taneli bölge, ince taneli bölge, kısmen dönüşüme uğramış ve mikroyapı dönüşümüne uğramamış bölgeler oluşur. Ana metalde ise mikroyapı dönüşümü beklenmez.

İri taneli bölgede malzeme ergimemiştir, fakat östenitleme sıcaklığı çok yüksek olduğundan kaba taneli yapıda elde etmeyi sağlayan dönüşüm sağlanmış, ince taneli bölgede östenit ise östenitleme sıcaklığı düştüğünden ince taneli yapı elde etmeyi sağlayan dönüşüm sağlanmıştır. Kısmen dönüşüme uğramış bölgede ise 700°C'nin üzerine çıkıldığından kısmen östenitlenmiş, mikroyapı kısmen ince tanelidir.

ITAB'ın mekanik özelliklerinin bilinmesi kaynak edilen malzemenin mukavemetini anlayabilmek açısından önem taşır. Karbon oranı sertleştirmeye uygun olan çeliklerde ITAB içerisinde genellikle istenmeyen sertleşme durumu ortaya çıkar. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde ITAB'ın ince taneli bölgesi sertleşmiş durumdadır. Kaynak metali için böyle bir tehlike söz konusu değildir. Çünkü kaynak dolgu malzemesi karbon oranı yeterince düşük tutulacak ve istenen alaşımlamayı sağlayacak şekilde alaşımlandırılmıştır. (Mor 2001).

ITAB bölgesinde sert bir tane yapısının oluşması malzemede soğuk (kılcal) çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yeterli sünekliğe sahip olmayan yani karbon oranı yüksek olan malzemelerin kaynağı her zaman için soğuk çatlak tehlikesini içerir. Kaynaktan sonra oluşan iç gerilmeler, malzemenin yüksek yükler altında kullanılması, kaynak banyosundan yayılan hidrojenin bu bölgeye yayılması, sertleşen bölgenin plastik şekillendirebilirliğinin olmaması gibi nedenler kılcal çatlakların oluşmasına neden olur. Kılcal çatlaklar yeterince büyüklüğe ulaşıncaya aniden malzemenin kaynak dikişine paralel olacak şekilde kırılmasına yol açar.



Şekil 2.18 Kaynak dolgu metali, ITAB ve ana metalin tane görünümü.

(Odtü Kaynak Mühendisliği ders notu 2005)

#### 2.4.6 Çelikteki Başlıca Yapısal Kusurlar Ve Kaynağa Etkileri

**Segregasyon:** Bir alaşım içinde alaşımı meydana getiren element ve/veya bileşiklerden bir kısmının katı ergiyik formundan çıkıp ayrı bir faz oluşturması segregasyon olarak adlandırılır. Malzemenin kimyasal bileşimi de bölgesel olarak farklılık arz edebilir. (Odtü Kaynak Mühendisliği ders notu 2005).

**Anizotropi:** Çeliğin şekillendirme ve kaynak edilebilme kabiliyeti haddeleme yönünden etkilenir. Çeliklerde kaynak edilebilme kabiliyeti haddeleme yönünde en iyi seviyede olup, hadde yönüne dik biraz daha az ve kalınlık yönünde ise en az seviyede kaynak edilebilme yeteneğine sahiptir. (Odtü Kaynak Mühendisliği ders notu 2005)

**Safsızlık (İmpurite):** Çelik yapısı içinde bulunan katılaşma maddeleridir. Sıvı, katı veya gaz halinde çelik içerisinde çözünebilirler. Çelik üretimi esnasında bu safsızlıklar giderilmeye çalışılsa da kaçınılmaz olarak kalabilir. S, P ve gaz olarak da O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> kaynağın en büyük düşmanlarıdır. S ve P üretim esnasında sınırlandırılmalıdır. Eğer yüzdesel olarak fazla ise bu çelikler kaynağa uygun değildir. Safsızlıklar nedeniyle oluşan gazlar gözenekliliğe yol açar.

#### **2.4.7 Kaynak Kusurları**

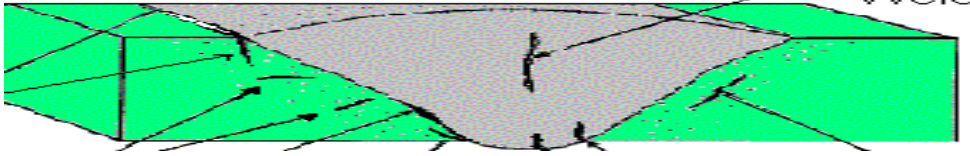
Bir malzemenin kaynağa uygun olup olmadığı o malzemenin özelliklerine ve bu özelliklerin kaynak esnasında sergilediği değişikliklere bakılarak belirlenebilir. Kaynak sonucunda çelikte ana metal, ITAB ve kaynak dikişi aranan şartları karşılıyorsa malzeme kaynağa uygundur denir. Eğer ana metal ve kaynak dolgu malzemesi arasında kabul edilebilir uyumsuzluklar var ise o zaman ilave iyileştirme yoluna gidilmelidir. Kaynağa uygunlukta problem meydana getiren başlıca kusurlar aşağıda özetlenmiştir.

##### **2.4.7.1 Sıcak Çatlaklar**

Ergime noktası düşük olan bir fazın sıvı haldeyken, büzülerek istenen gerilmeleri taşıyamaması sebebiyle oluşur. ITAB bölgesinde görülmesi halinde ergime çatlakları, kaynak banyosunda görülmesi halinde ise katılma çatlakları olarak adlandırılır. Sıcak çatlakların sebebi FeS gibi ergime noktası düşük olan fazlardır. Katılma esnasında metalin çok büyük bir kısmı katılmış durumda iken ergime noktası düşük olan bu fazlar hala tane sınırlarında sıvı haldedir. Bu sırada büzülme nedeniyle gerilmeler meydana gelir. Sıvı fazlar bu gerilmeleri taşıyamaz ve çatlaklar olur. Karşı önlem olarak malzeme tedarikinde Sülfür miktarı sınırlandırılır veya MnS ile bağlanmasını sağlayabilmek için Mn miktarı yeterli çelik sipariş edilir. Kaynak teknolojisi yönünden kesin bir tedbir olmamakla birlikte düşük ısı girdisi, ince elektrotların seçimi sıcak çatlakları azaltan unsurlar olarak değerlendirilebilir. (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005).

### 2.4.7.2 Soğuk (Kılcal) Çatlaklar

Daha önce de anlatıldığı üzere ITAB bölgesinde sert bir tane yapısının oluşması malzemede soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Yani malzemelerde kırılgenlik oluşması sebebiyle soğuk çatlaklar meydana gelir. İçyapıda sert bir fazın yer alması, segregasyonlar, malzeme geometrisinde gerilme artışına (entik faktörü) neden olan geometriler, kristal kafesten ayrışan ve malzeme içerisinden çıkmayan hidrojenin etkisi, başlangıç ve bitiş noktalarında oluşun krater hataları, kaynaktan sonra yapılan ısııl işlem sonucunda gevrek fazların ökilmesi, kaynak yapılan eliğın C ve P oranının yüksek olması, keskin köşeli iş parçası geometrisi, kaynak esnasında banyoya H<sub>2</sub> girmesi, malzemedeki segregasyonlar soğuk çatlakların oluşmasına neden olur. Şekil 2.19 soğuk ve sıcak çatlaklar görülmektedir. (ODTÜ Kaynak Mühendisliğı Notları 2005) ve (Akkor Metalurji firması slaytları 2008).

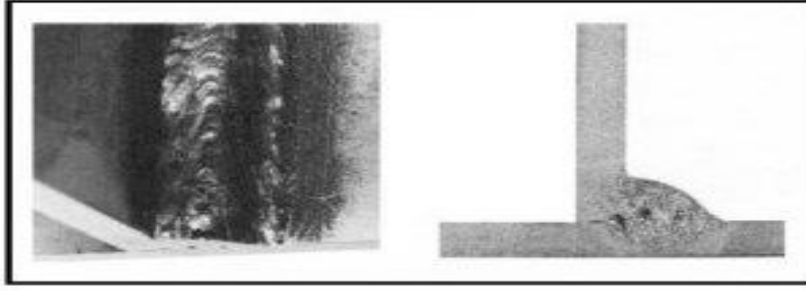


Şekil 2.19 Soğuk ve sıcak çatlakların malzemede görünümü (Akkor Metalurji firması alık 2008 [akkormetalurji.com/ FileUpload/ bs377066 /File/gorsel\\_kontrol\\_\(ppt\).ppt](http://akkormetalurji.com/FileUpload/bs377066/File/gorsel_kontrol_(ppt).ppt))

### 2.4.7.3 Gözenekler

Kaynak banyosu içerisinde yükselirken katılaşma cephesi tarafından hapsedilen ve adeta kaynak metalinin içerisinde donakalan gaz kabarcıklarıdır. Hemen hemen bütün metaller sıvı haldeyken katı halde olduğundan daha fazla gaz çözebilme yeteneğıne sahiptir. Kaynak banyosuna ortamdun gaz girişi olur ve çok hızlı bir katılaşma esnasında bu gazlar kaynak banyosunu tamamen terk edemez. Katılaşma cephesi tarafından tutulan bu gazlar da gözenek oluşumuna neden olur. Şekil 2.20’de görülen siyah noktaların gaz gözeneğı olarak kaynak dolgu metalinde kaldığı

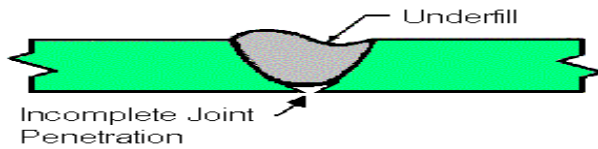
gözlemlenmektedir. O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> kaynak banyosunda gözenek oluşturan kaynak kalitesinin düşmanı olan gazlardır. O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> kaynağa havadan girebilir, H<sub>2</sub> ise elektrodun kuru olmaması, yağ, kir ve nemden kaynaklanacak şekilde kaynak banyosuna girebilir. O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>'den uygun koruyucu gaz atmosferi ve debisi kullanarak azaltılabilir. Büyük kaynak banyosu ve yavaş kaynak hızı bu tip gazların kaynak banyosundan çıkışını kolaylaştırmaktadır. (Ay 2005).



Şekil 2.20 Kaynakta oluşan gaz gözeneklerinin makro görünümü (Ay 2005 [makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynakel.pdf](http://makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynakel.pdf)).

#### 2.4.7.4 Yetersiz Ergime

Bu kusur kaynak metali ve ana metal yüzeyleri arasında ergime olmamasından kaynaklanır. Kaynak hızı çok yavaş ve bu nedenden dolayı düşen damlacıkların çok büyük olması, kaynak arkının sadece merkeze yönlendirilmesi kaynakta yetersiz ergimeye neden olur. (Akkor Metalurji firması Çalık 2008) ve (Ay 2005).



Şekil 2.21 Kaynak esnasında meydana gelen yetersiz ergime (Ay 2005 [makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynakel.pdf](http://makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynakel.pdf)).

#### 2.4.7.5 Yanma Olukları (Undercut)

Kaynak dolgu malzemesi ile ana metal arasında oyuk şeklinde bir görüntü kusuru oluşmasıdır. Akım şiddeti çok yüksek, kaynak hızı fazla, elektrot veya torç fazla zig zag yapmışsa, elektrot veya torç yanlış bir açıyla tutulmuşsa, ana metal korozyona uğramış ve/veya elektrot kurutulmamışsa yanma olukları (undercut) dediğimiz oyuk şeklinde kusur meydana gelir. (Ay 2005).



Şekil 2.22 Kaynakta meydana gelen yanma oluklarının oluşumu (Akkor Metalurji firması Çalık 2008 [akkormetalurji.com/ FileUpload/ bs377066 /File/gorsel\\_kontrol\\_\(ppt\).ppt](http://akkormetalurji.com/FileUpload/bs377066/File/gorsel_kontrol_(ppt).ppt))

#### 2.4.8 Orta Karbonlu Çeliklerin Kaynağa Uygunluğu

Soğuk çatlakların oluşması hususunda çeliğin kaynağa tam olarak uygunluğunun sağlanabilmesi için karbon oranı  $<0,2$ 'den ve fosfor oranının da  $<0,05$ 'den olması gerekmektedir. Daha yüksek olması durumunda ITAB bölgesinde sertleşme meydana gelir. Bu da kılcal çatlakların oluşmasına neden olur. Kılcal çatlakların oluşması da orta karbonlu çeliklerin kaynağında karbon oranı arttıkça belirli önlemlerin alınmasını zorunlu kılar. Kaynak hızını yavaşlatmak, daha büyük çaplı elektrotlar kullanmak, akım şiddetini arttırmak ITAB'da daha yüksek ısınma sağlayabilir, bunun sonunca kaynağa yakın bölgede daha geniş bir alanda tane irileşmesi meydana getirecektir, böylece ITAB'da soğuk çatlak riskini azaltacaktır. Malzeme kalınlığı arttıkça da tane irileşmesi sağlanan alan azalacağından soğuk çatlak riski artacaktır.

Bütün bu tedbirler ITAB'ın sertleşmesinin önüne geçebilmek için bir derece tedbir olmakla beraber karbon ve fosfor oranı koşullu olarak kaynağa uygun olan

malzemeler için en önemli tedbir ön ısıtma yapmak ve pasolar arası sıcaklığı kontrol etmektir. Ne kadar ön ısıtma yapılması gereği ise karbon eşdeğeri formülünden belirlenir. Bilindiği üzere alaşım elementleri belli karbon oranındaki çeliğin maksimum sertliğini belirlememekle beraber sertleşme derinliğini belirlediğinden alaşım elementlerinin fazla olması ITAB bölgesinde daha fazla sertleşmiş bölge olmasını beraberinde getirir. Bütün değerlendirmelerden tespit edilmiş olan ampirik karbon eşdeğeri formülü: (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005).

$$\text{Ceş: } C + \text{Mn}/6 + \text{Cr}/5 + \text{V}/5 + \text{Mo}/4 + \text{Ni}/15 + \text{Cu}/13 + \text{P}/2 \quad (2.5)$$

Alaşımız çeliklere kaynak yapılırken en kritik önemli unsur C ve P miktarıdır. Alın kaynaklarında daha önceki pasolar nedeniyle oluşan ısı girdisi sonucunda ITAB bölgesini menevişlemek amacıyla ıslah pasosu uygulanabilir.



Şekil 2.23 Islah pasosu uygulamasının gösterimi (Odtü Kaynak Mühendisliği ders notu 2005)

Ön ısıtma sıcaklığını kaynağa başlamadan önce iş parçasının o anda kaynak edilecek bölgesinde elde edilmesi gereken sıcaklık olarak tanımlarız. Malzeme kalınlığı arttıkça gereken ön ısıtma sıcaklığı da artar. Bu sıcaklığın ideal değeri aşağıda verilmiştir. (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005).

**1. Basamak:** Kaynak edilen ortamın sıcaklığı 0°C'nin altında ise düşük karbonlu alaşımız çeliklerde 20°C-100°C arasında uygulanır. Bunun yanında oda sıcaklığında



kaynak yapıyorsa ve karbon oranı %0,2-%0,25 arası alaşimsız çeliklerde, kaynağa uygunluğu iyi olan aşırı kalın parçalarda ve karbon oranı %0,2'den az ama az alaşimli çeliklerde uygulanır. 20°C-100°C arasında uygulanır.

**2. Basamak:** 100°C -300°C arası sıcaklıktır. Kalınlık, C ve alaşım elementi içeriğine göre belirlenir. Genel olarak C oranı %0,25-%0,5 arası alaşimsız ve C oranı %0,2-%0,25 arası olan alaşimli çeliklerin kaynağında uygulanır.

**3. Basamak:** Kaynağa uygun olmayan %0,5'in üzeri C içeren alaşimsız ve/veya 0,25'in üzeri C içeren alaşimli çeliğin kaynağında 300°C'nin üzerindeki sıcaklıkta uygulanır. (Odtü Kaynak Mühendisliği Notları 2005)

### 3. MATERYAL METOT

#### 3.1. Malzeme ve Yöntem

##### 3.1.1. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmaları yapmak amacıyla Mavi Çelik firmasından lama halinde temin edilen Ç1040 çeliği kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal içeriği Çizelge 3.1'de verilmiştir. Ç 1040 malzemesinin seçilmesinin nedeni; imalatta fazla kullanılması, 10 mm'lik lama olarak satılabilmesi, işlenebilirliğinin oldukça kolay olmasıdır. Eğer karbon oranı daha yüksek malzeme seçilseydi kaynakta, daha düşük seçilseydi ısıtma işlemde sorun yaşanabilirdi.

Deneysel çalışmalarda kaynaklı, elektrot ve gazaltı kaynaklı lamaların mekanik testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılması için numuneler ısıtma işlemi, tam tavlama, normalizasyon, gerilme giderme, martenzitik dönüşüm (suda soğutma), martenzit + menevişleme, yağda soğutma + menevişleme işlemlerine tabi tutularak, numunelerin çekme, eğme, çentik darbe ve sertlik testleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Satın alınan Ç1040 çeliğinin 2 ayrı numunesinin kimyasal içeriği

No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	
1	0,4287	0,215	1,097	0,0193	0,0216	0,0867	0,0068	
2	0,3829	0,2793	1,111	0,0141	0,23	0,0931	0,0101	
No	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V	Sn	Fe
1	0,0551	0,001	0,066	0,0053	0,0037	0,0196	0,002	98
2	0,0496	0,001	0,097	0,0053	0,007	0,0209	0,002	97,9

Çizelge 3.2. Deneysel çalışmalarda uygulanan işlemler

Malzeme	Grubu	Dolgu Metali	Isıl işlem
Ç1040	Kaynaksız	-	Isıl işlemsiz
			Tam tavlama
			Normalizasyon
			Martenzitik dönüşüm
			Martenzit + menevişleme
			Yağ + menevişleme
	Elektrot	Kurutulmuş bazik 3.25mm Bazik (Askaynak )	Isıl işlemsiz
			Tam tavlama
			Normalizasyon
			Gerilme giderme
			Martenzitik dönüşüm
			Martenzit + menevişleme
			Yağ + menevişleme
	Gazaltı kaynağı	SG2 1.2 mm gazaltı kaynak teli (OERLIKON)	Isıl işlemsiz
			Tam tavlama
			Normalizasyon
			Gerilme giderme
			Martenzitik dönüşüm
			Martenzit + menevişleme
			Yağ + menevişleme

Çizelge 3.3. Kullanılan elektrodun kimyasal ve mekanik özellikleri

AS B 248 (Elektrodun firma kodu)			Akma mukavemeti	Çekme mukavemeti
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	460 N/mm <sup>2</sup>	530 N/mm <sup>2</sup>
0,07	0,5	0,9		

Çizelge 3.4. Kullanılan gazaltı kaynak telinin kimyasal ve mekanik özellikleri

SG 2 1,2 mm kaynak teli			Akma mukavemeti	Çekme mukavemeti
C	Si	Mn	460 N/mm <sup>2</sup>	530 N/mm <sup>2</sup>
0,08	0,8	1,45		

### 3.1.2. Numunelerin Kaynak İşlemleri

Tek taraflı olarak 45°'lik açıyla kaynak ağzı açılmış 10 mm'lik lama halinde tedarik edilmiş olan Ç1040 malzemelere elektrot ve gazaltı yöntemleri ile kaynak yapılmıştır. 10 mm'lik malzemenin kaynak ağzı freze çakısının geometrisi nedeniyle 45°'lik olarak açılmıştır. Kaynak ağzı 8 mm derinliğinde ve V kaynağı şeklinde açıldığı için kök nüfuziyetini arttırabilmek amacıyla kaynaktan sonra tabandan 1,5 mm, üstten ise kaynak sonucunda düzlemselliği sağlamak amacıyla 0,5 mm CNC dik işlemle talaş alınmıştır. Böylece çekme ve eğme çubukları 8 mm olarak kullanılmış, çentik darbe numunelerinde ise standardı sağlamak amacıyla 7,5 mm'ye düşürülüp elde edilen joule değeri 4/3 ile çarpılarak hesaplanmıştır. Elektrot kaynağında 3,25 mm'lik kurutulmuş bazik Askaynak marka elektrot, 120-140 A'lik akım ile 4 paso halinde, gazaltı kaynağı ise SG2 1,2 mm OERLİKON marka kaynak teli 190-230 A'lik akım ile karışım gazı atmosferinde (%5 CO<sub>2</sub> + %2 O<sub>2</sub> + %93 Ar), 11- 13 lt/dak gaz debisinde ve 4 paso halinde gerçekleştirilmiştir. Gazaltı kaynağında sprey ark geçişine olanak sağlamak için karışım gazı, elektrot kaynağında ise tokluk sağlamak için kurutulmuş bazik elektrot tercih edilmiştir.

### 3.1.3. Numunelere Uygulanan Isıl İşlemler

Hazırlanan deney numunelerine sırası ile tam tavlama, normalizasyon, gerilme giderme, martenzitik dönüşüm (suda soğutma), martenzit + menevişleme, yağda soğutma + menevişleme ısıl işlemleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan ısıl işlemler AHERİN marka doğalgaz ısıtmalı ve atmosfer kontrollü fırında İSTAŞ-OSTİM

firnasında yapılmıştır. Yalnız tam tavlama ısı işlemi fırında bekletme maliyetinin (Şarz maliyeti) fazla olması nedeniyle atmosfer kontrollü fırında yapılamamıştır.

### **3.1.3.1. Tam Tavlama**

880°C'de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten sonra fırın kapatılarak fırın içerisinde kendi halinde 36 saat süreyle fırında soğuma yapılmıştır.

### **3.1.3.2. Normalizasyon Tavı**

880°C'de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten sonra, havada kendi halinde soğumaya bırakılmıştır.

### **3.1.3.3. Gerilme Giderme Tavı**

600°C'de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten sonra fırında kendi halinde 300°C'ye kadar soğutma ve daha sonra havada soğumaya bırakılmıştır. Sadece kaynaklı numunelere uygulanmıştır. Çünkü kaynaklı numuneler daha önceden herhangi bir ısı işlem veya soğuk şekillendirmeye maruz kalmadıkları için ihtiyaç görülmemiştir.

### **3.1.3.4. Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma)**

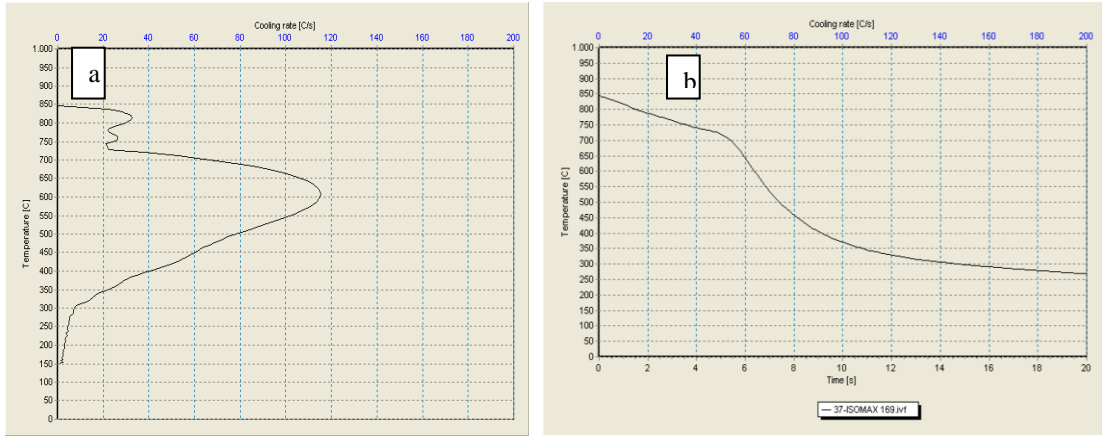
850°C'de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten hemen sonra numuneler acil su verme işlemine tabi tutulmuştur. Kullanılan soğutma ortamı musluk suyudur. Bu çalışmanın amacı 0,40 C oranına sahip olan çeliğin alabileceği maksimum sertliği belirlemektir. Aslında yapı çok kırılabilir ve çentik hassasiyeti fazla olduğundan doğru bir işlem değildir. Numunelerde yaklaşık olarak 62 HRC (750-760 HV) civarında sertlik değeri elde edilmiştir.

### 3.1.3.5. Martenzit + Menevişleme (Temperleme)

850°C’de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten hemen sonra acil su verme işlemine tabi tutulmuştur. Kullanılan soğutma ortamı musluk suyudur. Bundan sonra numuneler 350°C’de 3 saat tavlanaarak numunelerin menevişlenmesi sağlanmıştır. Genel olarak 49-50 HRC (500-510 HV) arasında sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu menevişleme sıcaklığı ve süresiyle numunelerden beklenebilir en yüksek mukavemet değerleri hedeflenmiştir.

### 3.1.3.6. Yağda Soğutma + Menevişleme

850°C’de 1 saat süreyle tavlanaacak şekilde bekletildikten hemen sonra acil yağ verme işlemine tabi tutulmuştur. Yağda soğutma işlemi için kullanılan yağ Petrofer firmasından temin edilen ISOMAX 169 marka yağıdır. 40°C’deki viskozitesi 14.6 mm<sup>2</sup>/s olup sertleşme derinliği ve sertleştirme kabiliyeti oldukça yüksektir. Şekil 3.1 a)’da ısı transferinin hangi sıcaklıklarda etkili olduğu, b)’de ise ısı işlem gören malzemenin soğuma esnasında hangi sürede hangi sıcaklıktan geçtiği verilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan yağ için, a) Isı transferinin hangi sıcaklıkta etkili olduğu, b) Soğuma esnasında hangi sürede hangi sıcaklıktan geçtiği. Petrofer firması katalog değeri

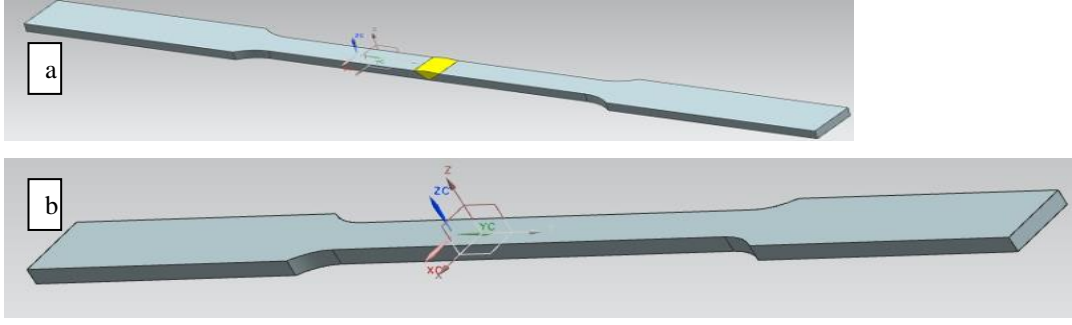
Bundan sonra numuneler 350°C'de 3 saat tavlansak numunelerin menevişlemesi sağlanmıştır. Çünkü menevişlenmemiş malzemenin sertliği martenzit + menevişlemeyle yakın olacağından ilave menevişleme yapılmıştır. Sonuç olarak 28-32 HRC (290-310 HV) civarında sertlik değerleri elde edilmiştir.

## **3.2. Uygulanan Mekanik Testler**

### **3.2.1. Numunelere Uygulanan Çekme Deneyi**

Çekme deneyi KOSGEB'te bulunan Şekil 3.3'de de görülen DARTEC marka 60 tonluk çekme cihazı ile yapılmıştır. Çekme numuneleri 10\*40\*500 mm'lik kaynaklı ve birbirleriyle alın kaynağıyla birleştirilmiş 10\*40\*250 mm ölçülerinde tedarik edilmiş olan numunelerden hazırlanmıştır. Lama malzemelerin kaynaktan sonra her iki tarafı da frezelenerek kalınlığı 8 mm'ye düşürülmüş böylece kaynaktan sonra kök nüfuziyeti iyileştirilmeye ve düzlemselliği sağlanmaya çalışılmıştır. Kaynaklı numuneler önce kaynatılıp sonra frezelenerek kaynağın başlangıç ve bitişinde oluşması muhtemel krater hataları önlenmeye çalışılmıştır. Zira çekme çubuğu geometrisinden de anlaşılacağı üzere krater hatası oluşması muhtemel kısmı kaynaktan sonra işlenmektedir. Kaynaklı çekme numuneleri de kaynaklılarla doğru mukayese yapabilmek amacıyla 10 mm'den 8 mm'ye düşürülmüştür. Çekme deneyinin yapılışı Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Çekme numunelerinin katı modeli de Şekil 3.2'de görülmektedir. Çekme numunesinin çekilen kısmının genişliği 20 mm, nominal ölçüm uzunluğu 200 mm, dış radyüsü 25 mm, çene kısmının genişliği ise 35 mm olup toplam boyu 500 mm'dir.

Kuşkusuz bahsedilen ölçülerde nominal ölçüm uzunluğu/genişlik oranı kabul edilen TS 138 ölçülerine göre uzundur. Fakat bu ölçüler KOSGEB tarafından istenen ölçülerdir. Tüm deney numuneleri aynı ölçüde işlendiğinden birbirleriyle mukayese açısından uygun olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Çekme numunelerinin katı modeli a) kaynaklı b) kaynaklız



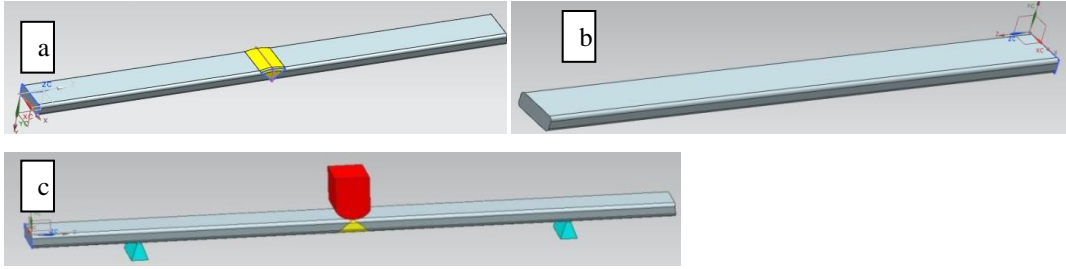
Şekil 3.3. DARTEC çekme makinesi

### 3.2.2. Numunelere Uygulanan Eğme Deneyi

3 nokta eğme deneyi ODTÜ Metalurji Müh. Laboratuvarlarında bulunan Şekil 3.5'de görülen INSTRON 5582 marka eğme makinesi ile yapılmıştır. Eğme numuneleri 10\*30\*300 kaynaklız ve 10\*30\*150 mm olan alın kaynağıyla birleştirilmiş numunelerden hazırlanmıştır. Lama malzemelerin her iki tarafı da frezelenerek 8 mm kalınlığa düşürülmüş kaynak kök nüfuziyeti arttırılmaya ve düzlemselliği sağlanmaya çalışılmış ve ayrıca eni 30 mm'den 25 mm'ye düşürülerek kaynağın başlangıç ve bitiş krater hataları önlenmeye çalışılmıştır. Kaynaklız eğme numuneleri de kaynaklı numunelerle doğru mukayese yapabilmek açısından 10\*30 mm'den 8\*25'ye düşürülmüştür. Eğme numunelerinin tümünde kuvvet akış çizgilerinin rahatlatılması amacıyla 4 kenarına da R1,5-2 mm radyüs verilmiştir. Kaynaklı numunelerde



kaynağın kökünden yük uygulanmıştır. Yükün kaynak kökünden uygulanma amacı kaynağın kök kısmı daha zayıf olduğundan, kaynağın en az ne kadar eğme yüküne dayanabileceğini tespit etmek içindir. Eğme deneyinin yapılışı Şekil 3.4.c’de gösterilmiştir. Neticede martenzitik dönüşüm (suda soğutma) ve martenzit + menevişleme olan numuneler kırılmış, diğer numuneler ise maksimum 60-70 mm veya maksimum yükün biraz altına düşünceye kadar bükülmüş sonra bırakılmıştır. Boyu 300 mm olan numunelerin destek mesnetleri arası mesafesi 200 mm olarak ayarlanmış ve 2 mm/dak hızla eğme testi uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Eğme numunelerinin katı modeli, a) Kaynaklı, b) Kaynaksız, c) Eğme deneyinin uygulama biçimi

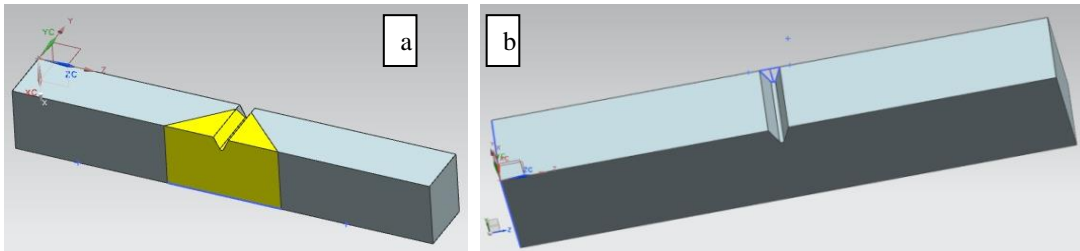
Kaynaklı eğme numunesinin muayene standardı TS 282 EN 910 olup bu standarda göre numune kırılmamalı ve çatlak büyüklüğünden de bahsedilmektedir. Deneyler neticesinde kaynaklı sadece bir numune kırılmış, bazılarında ise çatlaklar oluşmuştur. Martenzitik dönüşüm, martenzit+meneviş numunelerinin ise yüksek, gevrekliğinden kırılması beklenir. Eğme deney numunesinde ölçü standardı, ASTM E290 olup bu standart yerine, deney teknisyeninin önerdiği ölçüde numune hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. INSTRON 5582 marka eğme makinesi

### 3.2.3. Numunelere Uygulanan Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe deneyi Şekil 3.7’de görülen INSTRON WOLPERT PW30 marka çentik darbe cihazı ile Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak.Malzeme Müh. laboratuvarında yapılmıştır. Kaynaksız deney numuneleri standartlara uygun olarak 10\*10\*55 mm’lik malzemeler halinde (TS EN ISO 148-1’e göre kabul edilmiş standart ölçüsüdür) ve çentik ağzı Şekil 3.6’da görüldüğü gibi malzemenin ortasından 2 mm derinliğinde 45°’lik açı, dip radius değeri 0,25 mm olacak şekilde işlenmiştir. Kaynaklı numunelerde ise çentik ölçüleri aynıdır, ayrıca çentik kaynağın mukavemetini daha doğru ölçmek adına Şekil 3.6a’da görüleceği üzere kaynak kesiti boyunca açılmıştır. Fakat malzemelerin kaynak yapılması esnasında görmüş olduğu ısının etkisiyle malzemenin eğilmesinden dolayı malzemenin kalınlığı sadece kaynaklılarda paralelliği sağlayabilmek adına kalınlık 7,5 mm olarak hazırlanmıştır. Ölçülen joule değeri 4/3 ile çarpılmıştır. Bu yöntem de ilgili standartta da kabul edilmektedir. Çünkü çentik darbe testinde amaç kırılma tokluğunu (kırmak için harcanan enerji) ölçmektir. 10\*10\*55 mm’lik malzemenin kütlesi 7,5\*10\*55 mm’lik malzemenin 4/3 katıdır. Dolayısıyla 10 mm’lik malzemeyi kırabilmek için 7,5 mm’lik malzemeyi kırmamız için gereken enerjinin 4/3 katını harcarız. Bu nedenle kaynaklı numunelerde kırılma sonucunda elde edilen joule değerini 4/3 ile çarpılırsa kaynaklılarla aynı enerji değeri elde edilmiş olunur. Çentik darbe numunelerinin katı modeli Şekil 3.6’da, deneyin uygulama biçimi Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.6. Çentik darbe numunelerinin katı modeli a) kaynaklı b) kaynaklı.



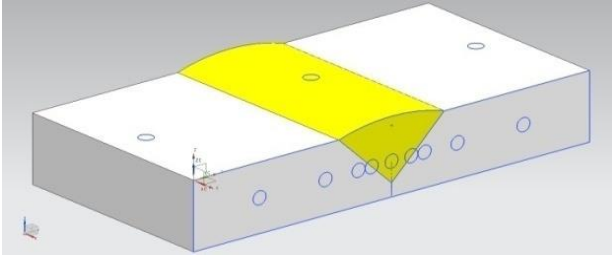
Şekil 3.7.Çentik darbe deneyinin uygulama biçimi.

### 3.2.4. Numunelere Uygulanan Sertlik Ölçme Deneyi

Sertlik ölçme işlemi ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında VICKERS (HV 30) sertlik ölçme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçme testlerinde mikroyapı incelemesi yapılmış numuneler kullanılmıştır. Bilindiği üzere sertleştirme ısıl işlemi görmüş olan çelik malzemelerin genellikle HRC yöntemiyle sertlik ölçüm testi yapılması daha uygundur. Burada sertleştirme amaçlı ısıl işlem görmemiş numuneler de bulunduğundan tüm numuneler arasında genel mukayese yapabilmek amacıyla VICKERS (HV 30) sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 3.9'da ise kullanılan sertlik ölçme cihazı görülmektedir. Kaynaksız mikroyapı ve sertlik numuneleri 10\*30\*50 mm'lik lamalardan hazırlanmıştır. Kaynaklı numunelerde ise Şekil 3.8'de görüldüğü gibi 10\*30\*30'luk iki malzeme alın kaynağıyla birleştirilerek 9\*25\*60 haline getirilmiştir. Mekanik test yapılmadığından kök nüfuziyet önemli değildir 9 mm de kaynaklı numunede paralellik sağlanmıştır.

Ölçme yöntemimiz sırasında; sertleşme sağlamayan kaynaklı ısıl işlemsiz, tam tavlama ve normalizasyon ısıl işlemleri uygulanmış olan numuneler sadece tek numunenin üst yüzeyinden oksit tabakası temizlendikten sonra 5 noktasından sertlik ölçümü yapılmıştır. Kaynaksız martenzitik dönüşüm (suda soğutma), martenzit + menevişleme ve yağda soğutma + menevişleme işlemleri görmüş numunelerde ise tek numuneden önce üst yüzeyinden oksit tabakası temizlenip 5 noktadan sertlik ölçümü, sonradan ise 10 mm olan numuneyi satıh taşlama tezgahında (0,02 kesme derinliği

verilerek) kalınlığı 5 mm'ye düşürülüp numunenin ara kesitinden 5 noktadan daha sertlik ölçümü yapılmıştır. Burada amaç sertleşen çeliğin sertleşme derinliğini ölçmektir. Kaynaklı numunelerde ise ölçme yöntemimiz mikroyapı alındıktan sonra yanal kesitten kaynak metalinin merkezi, sağından ve solundan ergime çizgisi, ITAB bölgesinde ergime çizgisinin 2 mm, 7 mm ve 17 mm yan taraflarından alınarak kaynak dolgu metalinin, ergime çizgisinin, ITAB'ın kaba taneli bölgesinin, ITAB'ın ince taneli bölgesinin ve ısıdan etkilenmemiş olan ana metalin detaylı sertlik incelemeleri yapılmıştır. Üst yüzeyden ise oksit tabakası temizlenip, kaynak dolgu metali ve de birleştirilen iki ayrı ana malzemedan birer nokta ölçüm yapılmıştır. Şekil 3.8'de gösterilen daireler numunelerden sertlik alınan noktalardır.



Şekil 3.8. Sertlik ve mikroyapı numunesi



Şekil 3.9. Sertlik ölçme cihazı

### 3.2.5. Numunelerin Mikroyapı İncelemesi

Mikroyapı incelemesi yapmak amacıyla, deney numunelerinin yanal yüzeyleri kullanılmıştır. Yanal yüzeyler öncelikle 120, 400, 800, 1200 mesh'lik zımparalarla 5'er dakika süreyle düzeltilmiştir. Daha sonra 3 ve 1 mikronluk elmas pasta ve solüsyonlarla parlatılmıştır. Parlatılan numuneler sabun ve su ile yıkanıp alkol ile kurutulmuştur. Daha sonra numuneler %2 Nital içeren dağlayıcıda 10 sn sürelerde beklenerek dağlanması sağlanıp tekrar su ve alkolle yıkanıp kurutulmuştur. Mikroyapı incelemesi ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında optik mikroskopla yapılmıştır. SEM çalışması olarak da sadece bazı numunelerden birkaç görüntü alınmıştır.

## 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çelik başta işlenebilirlik, mukavemet, alaşımlama, ısıl işlemler sayesinde mekanik özelliklerinde ilave iyileştirmeler meydana getirebilme ve maliyet bakımından üstün özelliklere sahip olabilmesinden dolayı temel yapı malzemesi olarak makina ve konstrüksiyon aksamında sıkça kullanılmaktadır. Deney numunelerinde kullanılan Ç1040 çeliği makina aksamında sıkça kullanılan bir malzemedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ilgili makina aksamının istenen dayanıklılığı (mukavemeti) yeterince sağlayıp sağlayamadığı hususudur. Bu istenen mukavemeti sağlayıp sağlayamadığımızı tespit etmeye yarayan en önemli testlerden birisi çekme testidir. Ç1040 malzemesi eğer sertleştirilmemişse sünek bir malzemedir. Bazı makina aksamları akma yüküne kadar ki yüklerde oda sıcaklığında ve statik yüke maruz kalır. Pek çok makine aksamı ise dinamik yüke veya yüksek sıcaklıklarda çalışmaya maruz bırakılır. Dinamik yüklerdeki mekanik özellikleri test edebilmek için yorulma ve yüksek sıcaklıklardaki mekanik özellikleri test edebilmek için sürünme deneyi gerekmektedir. Çekme testi yalnızca statik ve oda sıcaklıklarındaki makina ve konstrüksiyon aksamının mekanik özelliklerini tespit edebilmek için uygun bir testtir. Plastik şekillendirilebilirlik söz konusu olduğunda ise akma mukavemetinin üzerindeki yükler karşısındaki davranış değerlendirilmelidir, bu durumda malzemenin sünekliği en önemli hesaba katılması gereken husus olarak ortaya çıkmaktadır.

Deneylerde kullanılan çekme çubuğu malzemelerinin kimyasal içeriği ve ölçüleri materyal metot kısmında verilmiştir. Buradaki ölçüler KOSGEB tarafından verilen ölçülerdir. Ölçüler dikkate alındığında nominal ölçüm uzunluğu/ genişlik oranı standarttan uzundur. Fakat deney numunelerinin hepsi aynı ölçülerde işlendiği için değişik ısıl işlem ve kaynak metotlarını birbirleri ile kıyaslamak için uygundur. Şekil olarak gerilme/gerinim grafiği verilen numuneler çizelgelerde \* ile işaretlenmiş olup işaretsiz olan numunenin gerilme/gerinim grafikleri konulmamıştır. 3 numuneden seçilen grafik rastgeledir, mekanik özelliklerde elde edilen değerler incelendiğinde diğer grafiklerin benzer görüntü vereceği açıktır. Ancak deney numuneleri aynı

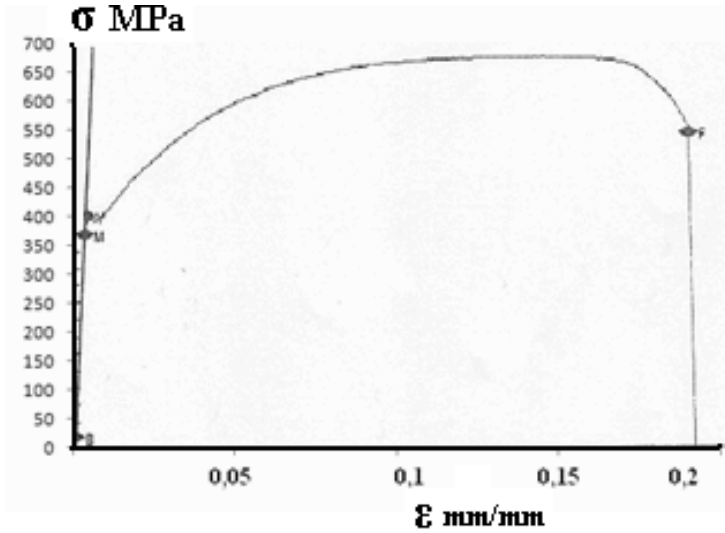
malzemeler değildir. Bu nedenle çizelgelerden anlaşılacağı üzere belli oranda farklılık içermesi beklenir. Bazı numunelerde bu farklılıklar grafiğe de yansımıştır. Bu durumda bir deney grubunda iki grafik konulmuştur.

#### **4.1.1. Kaynaksız Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları**

Kaynaksız numunelerde ısıtma işlemi, normalizasyon ve tam tavlama tavlama yapılan numuneler boyun vererek sünek kırılma davranışı, yağda soğutma + menevişleme numuneleri yarı sünek kırılma davranışı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) ve martenzit + menevişleme numuneleri ise gevrek kırılma davranışı göstermiştir.

##### **4.1.1.1. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları**

Burada elde edilen değerler tedarikçiden alınmış haliyle uygulanan çekme testi sonuçlarını göstermektedir. Bu değerler değişik ısıtma işlem ve kaynak metodlarıyla yapılan mekanik testleri birbirleriyle kıyaslamak için referans olabilecek sonuçlardır. Numunelerin akma mukavemetinin ortalama 408 MPa, çekme mukavemetinin ortalamasının ise 678 MPa olduğu ve % uzamanın da ortalama %18,2 civarında olduğu Çizelge 4.1'den görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan çelik çeşitleriyle mukayese edildiğinde bu sonuçların numunelerin taşıyabileceği yük açısından St52 sacından bile yüksek olduğu görülmektedir. Orta seviyede mukavemet gerektiren uygulamalar açısından Ç1040 çeliğinin oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir. Bu numuneler direkt haddeden çıkmış mamül olduğundan elde edilen mekanik özelliklerin değerleri birbirine çok yakındır. Akma ve çekme mukavemetinin beklenenden biraz yüksek çıkmasının nedeni materyal metot kısmında gösterildiği üzere numunelerde Mn oranının beklenen Ç1040 malzemesinden biraz daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.1'den de görüleceği üzere %0,40 karbon içermesinden dolayı düşük karbonlu çelikler kadar akma mukavemetinin üzerindeki yüklerde fazla sürekli uzama gösterememiştir. Neticede karbonun orta seviyede olması sünekliği azaltmış, sürekli akma davranışı gösterememesine neden olmuştur.



Şekil 4.1. Kaynaksız, ısıt işlemsiz numunenin gerilme/gerinim grafiği (2. numune)

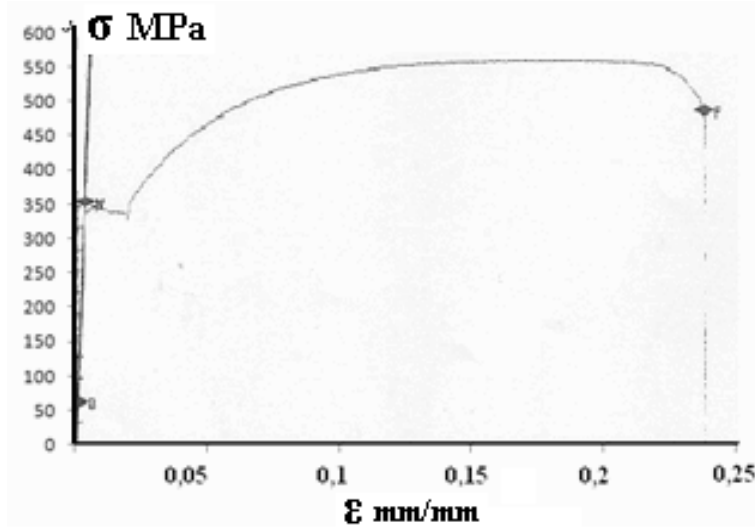
Çizelge 4.1. Kaynaksız, ısıt işlemsiz numunelerin çekme deneyi sonuçları

Kaynaksız	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Isıt işlemsiz 1	405,5	673,1	558,9	68,2	113,2	93,9	18,09
Isıt işlemsiz 2*	405,8	676,0	543,2	68,7	114,5	92,0	18,64
Isıt işlemsiz 3	412,7	685,7	573,2	68,7	114,1	95,4	17,87
Ort	408,0	678,3	558,5	68,5	113,9	93,8	18,20
SSp	4,0	6,6	15,0	0,3	0,7	1,7	0,4

#### 4.1.1.2. Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Tam tavlama ısıt işlemi malzemenin sertlik ve mukavemetini düşürüp sünekliğini arttırmak için uygulanır. Bu işlem sonucunda perlit kaba taneli bir yapıya dönüşür ve bunun sonucu olarak mukavemet oldukça düşer, süneklik ise artar. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'den görüleceği üzere akma mukavemeti ortalama 408 MPa'dan ortalama 335 MPa'ya kadar düşmüş, çekme mukavemeti ise ortalama 678 MPa'dan ortalama 558 MPa'a kadar düşmüştür. Bu da yaklaşık %20 lik bir mukavemet kaybına tekabül

eder. Numunelerin % uzama miktarı ise ortalama %18,2 den ortalama %22,8'e çıkmıştır, bu da yaklaşık %25'lik süneklik artışına tekabül eder. Şekil 4.2'ye bakılacak olunursa, malzeme akma sınırına ulaştıktan sonra hiçbir mukavemet artışı göstermeden belli bir miktar sürekli olarak uzamıştır. Bunun sonucunda malzemelerin sünekliği hayli artmıştır. Bu sürekli uzama davranışının da soğuk şekillendirme uygulamalarında avantaj sağladığı ve bu yüzden bu işleminin soğuk şekillendirme davranışını arttırmakta avantaj sağladığını ispatlamaktadır.



Şekil 4.2. Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (1. numune).

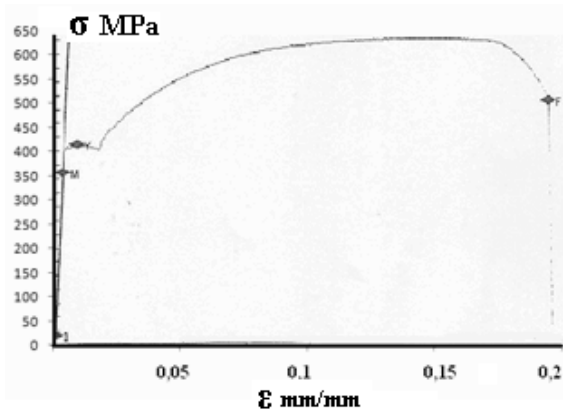
Çizelge 4.2. Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Kaynaksız							
Tam Tavlama1*	330,0	553,0	470,9	52,8	88,5	76,8	23,64
Tam Tavlama2	330,4	553,1	482,5	52,9	88,5	77,2	22,45
Tam Tavlama3	344,8	569,1	498,1	55,2	91,1	79,7	22,23
Ort	335,1	558,4	483,8	53,6	89,3	77,9	22,77
SSp	8,4	9,3	13,6	1,3	1,5	1,6	0,76



#### 4.1.1.3. Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Normalizasyon işlemi havada soğutma sayesinde kısmen ince taneli perlitik yapı elde etmemizi sağlayan bir ısıl işlemdir. Bu açıdan bakıldığında sünekliğin çok az oranda azalması mukavemetinin ise çok az oranda artması beklenir. Numunelerin akma mukavemeti değeri çok az da olsa artmıştır. Akma mukavemeti Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.3'den de görüleceği üzere ortalama 408 MPa'dan ortalama 417 MPa'ya çıkarak akma mukavemetini çok az da olsa artırmıştır. Akma mukavemetinden daha fazla yük uygulandığı durumda ise çekme yükünün vermiş olduğu deformasyon etkisi sonucunda kısmen ince taneli perlitik yapıda mikro boşluklar meydana gelmiştir. Bunun yanında normalizasyon tavının yapılması sayesinde numunelerde iç gerilmeleri giderlip, dislokasyonlar yeniden düzenlenip şekillendirebilme kısmen kolaylaşmıştır. Bu sayede numunelerin belirli bir miktarda sürekli uzamaya zorladığı düşünülmektedir. Bu bölgedeki sürekli uzama davranışı kısmen daha kolay talaşlı işleyebilme ve plastik deformasyonla şekillendirme konusunda avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca tam tavlama göre daha ekonomik olması ve yüksek mukavemet özelliklerini yitirmemesi de bu ısıl işlemi oldukça üstün kılmıştır. Sürekli akma davranışı neticesinde numunelerin çekme mukavemeti ortalama Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.3'den de görüleceği üzere 678 MPa'da 645 MPa'a kadar düşmüş lakin % uzaması ise ortalama %18,2 den %19,3'e kadar artış sağlamıştır.



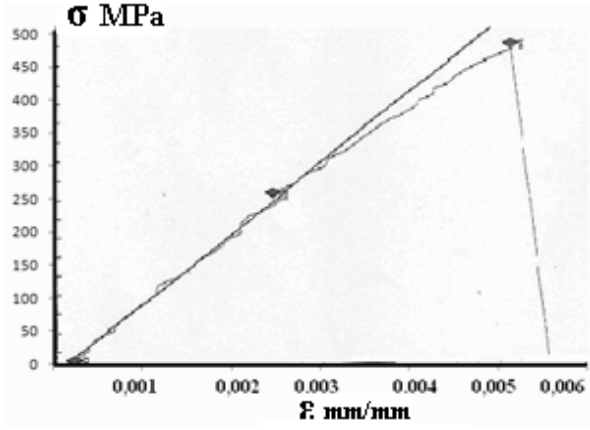
Şekil 4.3. Kaynaksız, normalizasyon tavı yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (3. numune)

Çizelge 4.3. Kaynaksız, normalizasyon tavı yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Kaynaksız	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Normalize1	415,7	643,5	548,1	71,7	111,0	94,6	19,37
Normalize2	415,4	644,1	515,4	71,0	110,1	88,1	18,98
Normalize3*	421,7	647,9	513,0	71,0	109,2	86,4	19,47
Ort	417,6	645,2	525,5	71,3	110,1	89,7	19,27
SSP	3,5	2,4	19,6	0,4	0,9	4,3	0,26

#### 4.1.1.4. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Martenzit bilindiği üzere çok sert ve gevrek bir fazdır. Tamamen martenzitik yapı elde edilmiş malzemenin sertliği çok yüksek değerlere çıkarken sünekliği tamamen kaybolur. Malzeme aktığı anda kopar. Mukavemet ise teorik olarak artar, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.4'e bakılırsa kopma mukavemetinin ortalama 408 MPa'dan malzemenin içerisindeki kusurlara rağmen ortalama 430 MPa'ya çıktığı görülmüştür. (Hatta 1.ve 2. numunede 480 MPa'dan fazla). Fakat malzemenin içerisinde doğal olarak impuritelere ve dislokasyon kusurları mevcuttur. Bu kadar sert ve gevrek bir yapıda bu kusurlar hemen çentik etkisi meydana getirir ve malzemenin aniden kopmasına yol açar. Bu nedenle martenzitik yapıya ulaşan malzemeler işletme şartlarında kullanılmadan önce muhakkak menevişlenmesi gerekir. Çentikler gevrek malzemelerde yük altında aniden büyüyerek malzemenin kırılmasına neden olur. Şekil 4.4'teki grafiğe bakılırsa gerilme/gerinim çizgisinin lineer olmamasının nedeni yük değişimlerine karşı hassasiyetin çok fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen mukavemet değerlerindeki farklılık ise her numunenin farklı malzeme olmasından dolayı farklı dislokasyon kusurlarına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle 3. numunede dislokasyon kusurunun fazla olduğu görülmüştür. Martenzitik dönüşüm esnasında ısı işlem öncesinde HMK yapıya sahip olan malzeme önce YMK, sonra çok kısa sürede HMT yapıya dönüşür. Bu sırada hem hacim artışı, hem de aşırı hızlı soğuma nedeniyle büzülme meydana gelir, yani malzeme aşırı iç gerilmeye sahip, akma mukavemeti düşmüştür.



Şekil 4.4. Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (1. Numune).

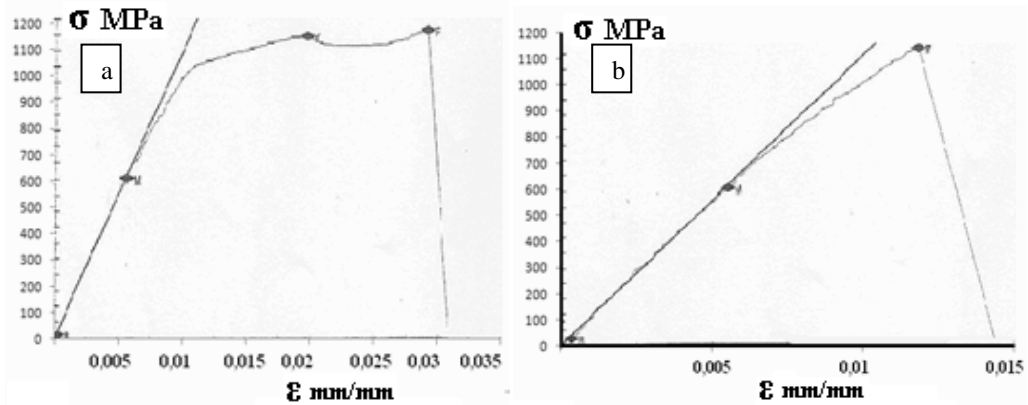
Çizelge 4.4. Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Kaynaksız	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Martenzit1*	485,0	485,0	485,0	82,5	82,5	82,5	0,52
Martenzit2	499,6	499,6	499,6	82,9	82,9	82,9	0,43
Martenzit3	306,0	306,0	306,0	51,4	51,4	51,4	0,30
Ort	430,2	430,2	430,2	72,3	72,3	72,3	0,42
SSp	107,8	107,8	107,8	18,1	18,1	18,1	0,11

#### 4.1.1.5. Kaynaksız, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Malzemelerin sertleştirmesindeki temel amaç akma mukavemetini yükseltip yüksek yüklere karşı dayanımını artırmaktır. Lakin daha önceki sonuçlarda da görüleceği üzere tamamen martenzitik yapı elde edilmiş malzemelerde iç gerilmeler çok fazla artmış ve yüksek akma mukavemetine ulaşamamıştır. Yüksek akma mukavemetine ulaşabilmek için malzemenin iç gerilmelerinin giderilip tokluğunun kısmen artırılması gerekmektedir. Ancak tokluğunun artması sünekliğinin de artması ve akma

mukavemetinin de düşmesi anlamına gelir. Bundan dolayıdır ki menevişleme sıcaklığı ve süresi artırılırsa sertlik ve mukavemet azalmaya başlar. Bu çalışmada, mümkün olduğu kadar akma mukavemetini yüksek tutabilmek amacıyla menevişleme süresi ve sıcaklığı oldukça düşük (350°C-3saat) tutulmuştur. Bu sayede hem iç gerilmeler giderilerek mukavemet arttırıldı hem de sertlik ve mukavemet kaybı mümkün olabildiğince az oldu. Numunelerin içerisindeki Mn miktarının da beklenenden biraz yüksek olması nedeniyle akma mukavemeti Ç1040 çeliğinden beklenebilir değerlerin üzerine çıktı. % uzama değeri ise martenzitik yapı elde edilmiş malzemeye göre biraz artmakla birlikte menevişleme süresi ve sıcaklığı yüksek olmadığından artışın sınırlı olduğu görülmüştür. Öyle ki; ortalama 1000 MPa'ın üzerinde akma mukavemetine erişildiği görüldü. Elde edilen mukavemet değerlerinin birbirinden farklı olmasının nedeni numunelerin aynı malzemeler olmadığı için numunelerin herbirisinin dislokasyon kusurlarının farklılığı bu sayede menevişlemenin sağladığı iç gerilmelerin giderilmesi etkisinin farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1. numunede Çizelge 4.5'den de görüleceği üzere menevişleme sayesinde süneklik biraz artırılabilmiş, bunun neticesinde malzeme aktıktan sonra biraz uzayabilmiş ve %3'e yakın bir % uzama sağlayabilmiştir. Diğer iki numunede ise % uzamada meydana gelen artış sınırlı kalmış, numunelerin aktığı anda koptuğu gözlenmiştir. Bunun nedeni bu iki numune için ise menevişleme işleminin iç gerilmeleri yeterince giderilmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



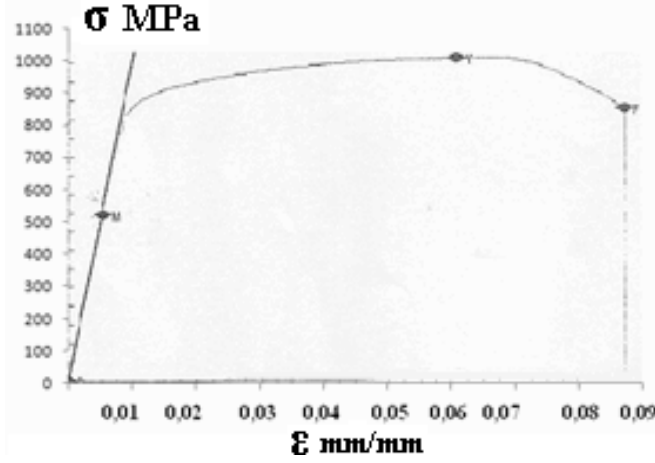
Şekil 4.5. Kaynaksız, martenzitik dönüşüm + menevişleme yapılmış numunelerin gerilme/gerinim grafiği. a) 1. numune, b) 2. numune.

Çizelge 4.5. Kaynaksız, martenzitik dönüşüm + menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Kaynaksız	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Mar+Menv1*	1063,5	1189,4	1189,4	172,7	193,2	193,2	2,93
Mar+Menv2*	1142,3	1142,3	1142,3	191,9	191,9	191,9	1,18
Mar+Menv3	982,2	982,2	982,2	161,1	161,1	161,1	0,89
Ort	1062,7	1104,6	1104,6	175,2	182,1	182,1	1,66
SSp	80,0	108,6	108,6	15,6	18,2	18,2	1,10

#### 4.1.1.6. Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Ç 1040 gibi orta karbonlu bir çelik için yağ, su kadar çok etkin bir soğutma ve bu sayede çok fazla oranda sertleştirme sağlayan bir soğutma ortamı değildir. Bu nedenle yağda soğutma sonucu oluşan mikroyapı Ç 1040 için ince taneli perlittir ve malzemenin sertliği martenzit fazına kıyasla oldukça düşüktür. Bu nedenle elde edilen mukavemet değerleri de kısmen düşük ve % uzama miktarı da yüksek olacaktır. İlave menevişleme yapılması da sertliği düşürecek ve sünekliği artıracaktır. Yalnız malzemenin yağda soğutulması malzemenin kafes yapısının bozulmasını önler, iç gerilmelerin suda soğutmaya göre daha az olmasını sağlar. İlave menevişleme yapılmış olması da daha fazla iç gerilmelerin giderilmesini ve tokluğun da artmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda, % uzama değeri ortalama Çizelge 4.6'dan görüleceği üzere % 7,7'ye kadar çıkarılabilmektedir. Akma mukavemeti ise martenzit + menevişleme işlemine kıyasla yağın aşırı sertleştirici bir soğutma ortamı olmamasından dolayı oldukça düştüğü yalnız yağda soğutmanın soğutucu ortam olarak fazla iç gerilme meydana getirmemesinden dolayı biraz arttığı düşünülmektedir. Neticede akma mukavemetinin martenzit + menevişleme işlemine göre biraz düşük kaldığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.6'ya bakılırsa numunelerin süneklik kazanmasından dolayı aktığı anda kopmadığı ve bu sayede ortalama 1000 MPa'nın üzerinde bir çekme mukavemeti elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4.6. Kaynaksız, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (2. numune).

Çizelge 4.6. Kaynaksız, yağda soğutma+ menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Kaynaksız							
Yağ+Menv1	961,1	1065,7	869,0	158,4	175,6	142,2	7,69
Yağ+Menv2*	871,1	1007,7	847,1	148,4	171,7	144,4	8,71
Yağ+Menv3	848,3	975,3	797,4	139,8	160,7	131,4	6,66
Ort	893,5	1016,2	837,8	148,9	169,4	139,3	7,68
SSp	59,7	45,8	36,7	9,3	7,7	6,9	1,03

#### 4.1.2. Elektrot Kaynaklı, Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Bilindiği üzere malzemelerin kaynaklarının yapılması esnasında hem kalifiye olmuş kaynakçı, hem de kaynak parametrelerinin çok doğru seçilmiş olması gerekmektedir. Burada yapılan kaynak türü alın kaynağıdır ve alın kaynağının köşe kaynağına göre özellikle kök nüfuziyeti açısından daha fazla özen gerektirdiği bilinmektedir. Ç 1040 çeliğinin karbon oranının kısmen yüksek olması da malzemenin kaynaklanabilirliğini oldukça kısıtlar. Normal koşullarda %0,25 karbondan daha fazla karbon içeren çeliklerde ön ısıtma yapılması gerekmektedir. Ancak deney numunelerinin sayısının

fazla olması, süreci uzatıp maliyeti arttırması gibi nedenlerle deney numunelerine ön ısıtma yapılamamıştır. Çekme testi esnasında kaynak dikişinin olduğu bölge giderek artan aksenal yüke maruz kalır. Bu yük de yapışma noksanlığı (eksik nüfuziyet), gözenekler, yetersiz ergime, hidrojen gevrekliği, kılcal çatlaklar (soğuk çatlaklar) gibi kaynak esnasında meydana gelmiş olan operatör ve parametre hatalarını hemen ortaya çıkartır. Hata miktarının artması ile elde edilen % uzama miktarındaki azalma arasında lineer ilişki mevcuttur. Yeterli sünekliğe sahip olan malzeme kaynaktan kopmaz. Çünkü kaynak metalinin karbon oranı ana malzemeye göre oldukça düşüktür. Fakat kaynak esnasında meydana gelen en ufak toleransın üzerinde olan hata bile akma yükünün üzerindeki yüklerde kaynak dikişinin mukavemetini düşürür ve kaynak bölgesinden kopmasına sebebiyet verir.

Gazaltı olsun elektrot olsun kaynaklı bazı numunelerde kopma mukavemetinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kopma mukavemetinin bu derece numuneden numuneye farklı olmasının nedeni farklı numunelerde kaynak hatalarının ve kaynağı yeterince güvenli bölgelerin birarada olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak hataları sünekliği ve mukavemeti aşırı derecede düşüren bir etmendir. Çekme esnasında numunelerin büyük çoğunluğu kaynak metali ve ITAB bölgesinden koptuğu için kaynak sonrasında numunelerde kaynak operatörü hatalarının yanı sıra ilave olarak soğuk çatlaklarında oluşmuş olabileceği düşünülmektedir. Bazı numunelerde kılcal çatlaklar yavaş yavaş büyümüş büyürken de sünekliği hayli düşürmüş, yükün daha da artırılması malzemeyi uzatmadan kopmasına neden olmuştur. Bazılarında ise kopma mukavemeti yüksek çıkmış bu tip numunelerde kılcal çatlaklar aniden kopmaya sebep olmuş bu nedenle kopma mukavemeti yüksek görünmüştür.

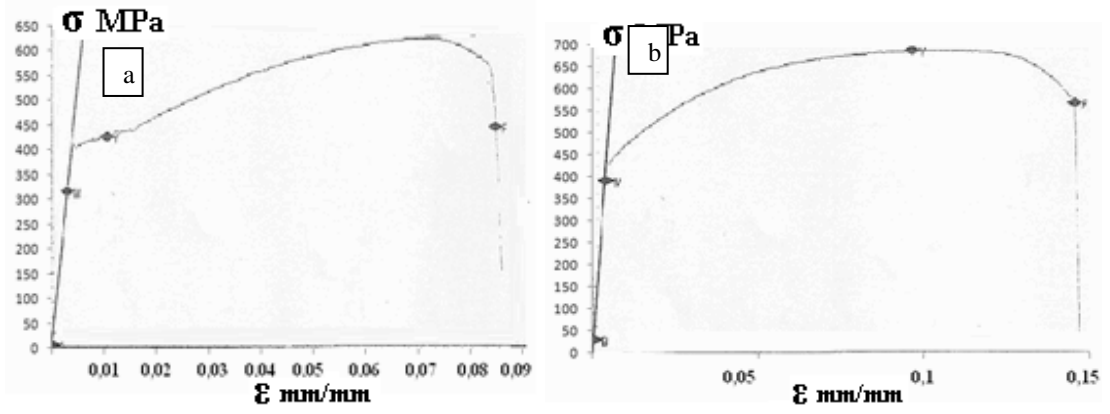
#### **4.1.2.1. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları**

Bilindiği üzere kurutulmuş bazik elektrot ile kaynak yapmanın dezavantajı tutuşturabilmenin zor olması ancak avantajı nüfuziyet ve tokluk yönünden gazaltı ve rutil elektrotla yapılan kaynağa nazaran daha olumlu sonuçlar vermesidir. Bu sayede kurutulmuş bazik elektrot ile yapılan kaynak neticesinde daha yüksek mekanik

özellikler elde edilir. Bilhassa akma mukavemetinin üzerindeki yüklerde kullanılacak ve/veya kalın malzemelerin kaynağında bazik elektrot tercih edilip yeterince kurutulduktan sonra kullanılmalıdır. Deney sonuçlarına bakılırsa, Şekil 4.7.b’de gösterilen ve de Çizelge 4.7’de 3 numaralı numunede hemen hemen hiç hata yoktur ve ön ısıtma uygulaması yapılmamış olmasına rağmen numune ana malzemeden kopmuş ve kaynaklı numunelerin % uzama değerine yakın değer olan % 14,6’lık uzama değeri elde edilmiştir. Bu numunenin akma mukavemetinde 450 MPa değerine ulaşılmış, kaynaklı numunelerin ortalama akma mukavemeti Çizelge 4.1’e bakılırsa ortalama 408 MPa elde edilmiştir. Çekme mukavemetinde de 687 MPa elde edilmiş, ki bu değer Çizelge 4.1’e bakıldığında kaynaklı numunelerin ortalaması olan 678 MPa’dan bile fazla olduğu görülmektedir. Ancak diğer iki numunede ise kaynak hataları meydana gelmiş en ufak toleransın üzerinde hatanın bile özellikle yüksek yüklerde mukavemet ve süneklik kayıplarına neden olduğu bilindiğinden ortalama % uzama miktarı %8’lere ve çekme mukavemeti de ortalama 640 MPa’ya kadar düştüğü Çizelge 4.7’den görülmektedir. Görüleceği üzere en ufak kaynak hatasından dolayı meydana gelecek süneklikteki azalma miktarı, oransal olarak çekme mukavemetindeki azalma miktarından daha fazladır. Bunun nedeni çok yüksek aksiyel yüklerde kaynak dikişindeki hatalar kendini daha fazla göstermektedir. Her ne kadar diğer iki numunede kaynak hataları meydana gelmişse de kurutulmuş bazik elektrotla yapılan kaynağın çekme mukavemeti yönünden gazaltı kaynağına göre yüksek, kaynaklıya yakın değerlerdedir. Bunun yanında kaynak hataları oluşmuş olsa da kurutulmuş bazik elektrotla kaynaklı numunelerin akma mukavemeti kaynaklı numunelerden daha yüksektir. Makina aksamının akma mukavemetinin altındaki yüklerde kullanıldığı bilinmektedir. Bu sonuçlar akma mukavemetinin altındaki ve statik yüklerde çalışan makina ve konstrüksiyon aksamında kurulmuş bazik elektrotla yapılan kaynak dikişinin oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir. Akma mukavemetinin üzerindeki yüklerde kullanılıp şekillendirme gerektiren konstrüksiyon aksamında ve yorulmaya maruz kalabilecek dinamik yükler altında çalışması gerektiren makina aksamında da kurutulmuş bazik elektrotla ne kadar ihtiyaç duyulduğunu da ayrıca bu sonuçlar göstermektedir. Isıl işlemsiz gazaltı ve elektrot kaynağındaki akma mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında ise, bazik elektrot ile gazaltı kaynağı arasında akma mukavemeti açısından fark bazik elektrot lehinedir. Ama aradaki fark azdır. Bu sonuç da gazaltı kaynağının daha az kalifiye kaynakçı



gerektirmesi ve hızlı olabilmesi sayesinde seri imalatta avantaj kazandırmasından dolayı akma mukavemetinin altındaki ve statik yüklerde çalışacak makina ve konstrüksiyon aksamında neden bu kadar tercih edildiğini göstermektedir.



Şekil 4.7. Elektrot kaynaklı, ısıl işlemsiz numunelerin gerilme/gerinim grafiği.  
a)1. numune, b) 3. Numune.

Çizelge 4.7. Elektrot kaynaklı, ısıl işlemsiz numunelerin çekme deneyi sonuçları

Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Isıl işlemsiz 1*	415,7	628,5	446,5	68,2	103,1	73,2	8,22
Isıl işlemsiz 2	425,4	652,3	327,0	70,3	107,8	54,0	7,12
Isıl işlemsiz 3*	450,3	687,1	566,2	73,5	112,3	92,4	14,58
Ort	430,5	655,9	446,6	70,7	107,7	73,2	9,97
SSp	17,8	29,5	119,6	2,7	4,6	19,2	4,03

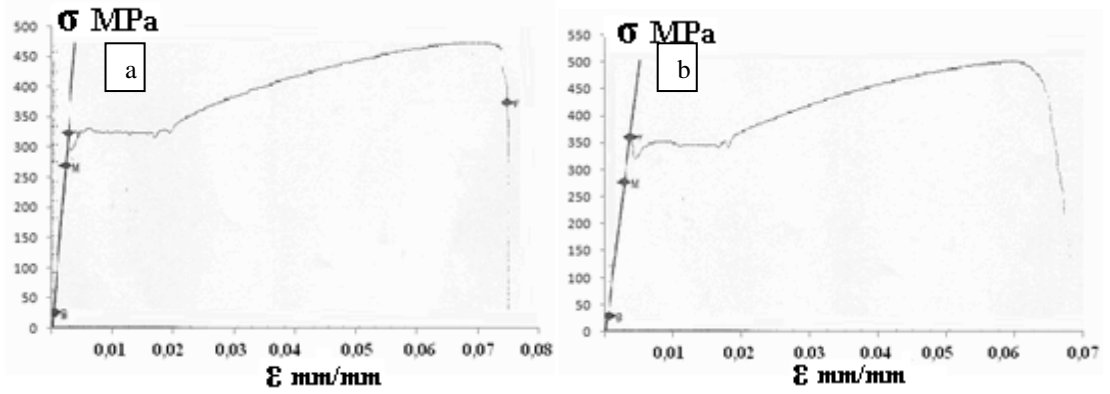
Elde edilen sonuçtan şu değerlendirme yapılabilir. Kaynak ani ısı girdisi gerektiren bir işlem olduğundan, sonuçların standart sapması kaynaklılardan fazla olmuştur.

#### 4.1.2.2. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Tam tavlama ısıl işlemi teorik olarak kaynaklı malzemelere de uygulanabilir ve istenen süneklik artışı sağlanabilir. Fakat burada beklenen netice alınamamıştır, yani süneklik artışı sağlanamamıştır. Çünkü Şekil 2.1'de verilen Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramına bakılacak olunursa, Ç1040 malzemesi için (%0,4 C içerdiğine göre) Şekil 2.1'den, 820°C-830°C civarı östenit dönüşümü sağlanır. Su vererek sertleştirme istenen ısıl işlemlerde östenitleme sıcaklığının 20°C-40°C arasında fazla bir sıcaklık; normalizasyon, tam tavlama gibi sertleştirme istenmeyen ısıl işlemlerde ise 50°C-70°C arası fazla bir sıcaklık tavlama için uygun görülmektedir. Buradaki amaç östenitin homojen bir dağılım göstermesini yani karbonun tüm östenit yapısında homojen olarak çözünebilmesini sağlamak amacıyla daha yüksek sıcaklık önerilir. Fakat sıcaklığın daha fazla artırılması tanelerin aşırı derecede büyümesine, oksidasyon ve malzemeden istenen mekanik özelliklerin elde edilememesine neden olacaktır. Bu nedenle tavlama sıcaklığı çok da fazla arttırılmaz. Ancak kaba tane tavlama istenen ısıl işlemlerde arttırılır. Kaynak dolgu metalinin karbon oranına bakılacak olunursa, % 0,07 firma değeri olarak verilmiştir. Dolayısıyla tamamen östenitleyebilmek için en azından Şekil 2.1'den görüleceği üzere 890°C civarında tavlama gerekir. Bu sıcaklık da östenitin homojen olarak karbon çözebilmesini sağlaması açısından yeterli değildir, 920°C-950°C arası kaynak dolgu metali için uygun tavlama sıcaklığı olduğu görülmektedir. Fakat hem kaynaklı hem de kaynaklı olmayan numuneler için ayrı fırın şarj maliyeti söz konusu idi. Bunun yanında 920°C'de tavlama yapılırsa ana metal fazla yumuşayacak ve kaynak metali o kadar yumuşamayacağı için yine iç gerilmeler meydana gelecekti. Ayrıca ana metalin mekanik özelliklerinde beklenenden fazla azalma meydana gelecekti. Sonuç olarak 880°C'de yapılan tam tavlama işlemi elektrot kaynaklı numuneler için yeterli sünekliği sağlamamıştır. Fakat yumuşatma açısından bakıldığında ana metal yumuşadığı için akma mukavemeti kaynaklı ile hemen hemen aynı düzeye ortalama 333 MPa'ya düştüğü Çizelge 4.8 'den görülmektedir. Çekme mukavemetlerine bakılacak olunursa, kaynak hatalarının var olması ve ana metalin yumuşaması çekme mukavemetini kaynaklıya göre biraz daha düşürerek 482 MPa ortalama değerine düşürmüştür. Yine kaynaklı tam tavlama benzer bir şekilde ana metal yumuşadığı

için akma mukavetinin hemen üzerinde mukavemet artışı gözlenmeden sürekli akma davranışı gözlemlenmiştir. Neticede genel olarak kaynak dolgu metali ile ana metal karbon oranı farklılığından ve kaynak dolgu metalinin yapısından dolayı tam tavlama işlemi ile elde edilebilecek şekillendirilebilirlik artışının sınırlı kaldığı görülmüştür. Ayrıca kaynak sonrası yapılan tam tavlama ısıl işlemi kaynağın meydana getirmiş olduğu ani ısıl etkiyi ortadan kaldırmış numunelerden elde edilen sonuçların birbirine yakın olmasını sağlamıştır.

Şekil 4.2, Şekil 4.8 ve Şekil 4.15 analiz edildiğinde gazaltı olsun elektrot olsun kaynaklı numunelere tam tavlama ısıl işlemi uygulanması sonucunda kaynaklı çekme numuneleri kaynaklısızdan farklı olarak akma yükünün üzerindeki yüklemelerde yük arttırıldıkça önce hafif mukavemet kaybına uğrayıp daha sonra hemen geri toparlanıp tekrardan kaynaklısız numunelere göre sünekliği azalmasına karşın belirli miktarda sürekli uzama davranışı gösterip koptuğu görülmektedir. Bu ani gerilme kaybının numuneler tam tavlama ısıl işlemi sonucunda yumuşadığından akma sınırının üzerindeki yüksek aksenal yüklemeler sonucunda kılcal çatlakların ilerlemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.8. Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin gerilme/gerinim grafiği. a)1. numune, b) 3. numune

Çizelge 4.8. Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

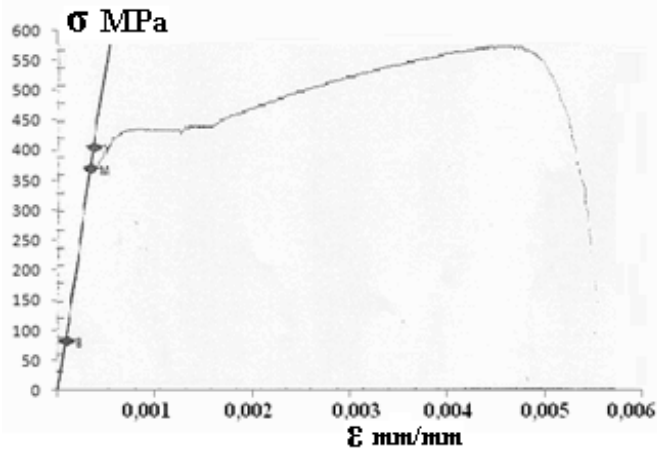
Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Tam Tavlama1*	336,7	500,8		54,9	81,7		7,00
Tam Tavlama2	337,8	475,3	138,8	55,1	77,6	22,7	5,72
Tam Tavlama3*	324,5	470,6	368,8	53,0	76,8	60,2	7,42
Ort	333,0	482,2	253,8	54,3	78,7	41,4	6,71
SSp	7,4	16,2	162,6	1,2	2,6	26,5	0,88

#### 4.1.2.3. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Tam tavlama ile ilgili yorumda bahsedilen kaynak metalinin tavlama esnasında tam olarak östenitlenmemesi durumu normalizasyon tavlama için de geçerlidir. Burada % uzama değerleri daha fazla düşmüştür. Bunun nedeni numuneler östenitleme sağlanmadan yüksek sıcaklığa çıkartıldığı halde hava gibi nispeten hızlı soğumaya terk edilmesi ve bunun kaynak hataları ile birleşmesi sonucu kaynak metalinde iç gerilmelerin yeterince giderememiş olması ve de sonraki paragrafta anlatılacak olan uygulanan ısıl işlem sonucunda kısmen de olsa meydana gelen mikroyapı dönüşümünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine de östenitleyememe, iç gerilmelerin yeterince giderilememesi ve de kısmi mikroyapı dönüşümüne rağmen akma mukavemetinde, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.9'a bakılacak olunursa, kaynaklı ile hemen hemen aynı değerler elde edilmiş, kaynak hataları ve anlatılan etkiler nedeniyle çekme mukavemeti, % uzama değeri oldukça düşmüştür. Kaynaklı normalizasyon tavlama sırasında olduğu gibi akma mukavemetinin biraz üzerinde az da olsa sürekli akma davranışı gözlemlenmiştir.

Bunun yanında, tüm kaynaklı normalizasyon tavı yapılmış numunelerde kısmen, sertleştirme ısıl işlemi yapılan numunelerde de çok daha fazla oranda yaşanan en önemli mikroyapı probleminden burada bahsetmek gerekir. Bu problemin kaçınılmaz olarak yaşanmış olması da kaynaklı normalizasyon tavı yapılmış numunelerde

kısmen, sertleştirme ısıl işlemleri yapılmış olan numunelerde de daha fazla oranda süneklik ve mukavemet kaybına neden olduğu düşünülmektedir. Bilindiği üzere kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgesinin mikroyapısı değerlendirildiğinde, sırasıyla kaynak dolgu malzemesi, ITAB kaba tane, ITAB ince tane, kısmen dönüşüm bölgesi ve de değişime uğramamış ana metalden oluştuğu bilinmektedir. Her zaman için ITAB kaba taneli bölgeyi daha geniş tutmak istenildiği kuramsal temeller kısmında bahsedilmişti. Böylece kılcal (soğuk) çatlakların azaltılması sağlanır. ITAB kaba taneli alanı arttırabilmek amacıyla kaynağa koşullu uygun malzemelerde ön ısıtma önerilir. Normalizasyon tavı ise kısmen ince taneli mikroyapı elde etmek için yapılır. Fakat burada kaynaktan sonra yapılan normalizasyon ısıl işlemi sonucunda kaynak dolgu malzemesi hariç tüm malzeme kısmen ince taneli yapıya kavuşmuştur. Yani ITAB kaba taneli alan kısmen daralmıştır. Sonuçta, kaynak dolgu malzemesinin yük taşıma kapasitesi ve sünekliği düşmüştür. Çünkü mikroyapıyı değerlendirildiğinde, kaynak metalinden direkt kısmen ince taneli yapıya geçiş söz konusu olmuştur.



Şekil 4.9 Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (2. numune)

Çizelge 4.9. Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

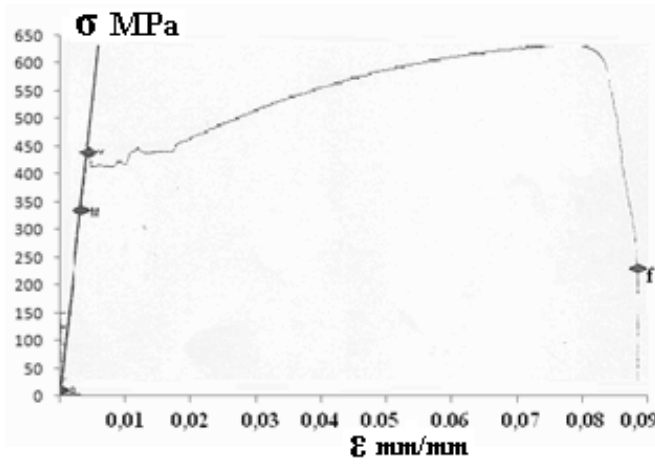
Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Normalize1	412,6	559,9	266,3	65,8	92,1	43,8	5,06
Normalize2*	428,9	578,1		70,9	95,5		5,40
Normalize3	405,5	544,8	461,3	67,3	90,5	76,6	5,29
Ort	415,6	560,9	363,1	68,0	92,7	30,1	5,25
SSP	12,0	16,7	137,9	2,6	2,6	23,2	0,18

#### 4.1.2.4. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin m Çekme Deneyi Sonuçları

Gerilme giderme tavlamaı plastik Şekil verme, kaynak gibi malzemelerde i gerilme oluşturan iŐlemlerden sonra uygulanır. Sadece iç gerilmeler bir miktar azaltılabilir, fakat mekanik özelliklerde çok da fazla iyileşme beklenemez. Deney numunelerinde gerilme giderme tavlamaı da mekanik özelliklerde fazla bir değişim meydana getirmediği izelge 4.7 ve izelge 4.10'dan görülmektedir. Bunun yanında bu ısıl işlem uygulanırken kaçınılmaz olarak yaşanmış olan bir problemden de ilave olarak belirtmek gerekir. Bu problem genel manada gerilme giderme tavlamaının kaynaktan hemen sonra değil de tüm malzemeler kaynatıldıktan uzun bir süre sonra uygulanmış olmasındır. Burada uzun sreden kasıt kaynak bölgesi henüz sıcakken gerilme giderme tavı uygulamasının yapılmasının daha verimli olabileceği düŐüncesinden ileri gelmektedir; burada buna uyulamamıŐtır. Çünkü kaynak bölgesi henüz sıcakken kaynak yapıldıktan sonraki birkaç dakika içerisinde gerilme giderme tavı uygulanılmıŐ olsaydı bu işlem sayesinde belki biraz daha fazla süneklik kazancı sağlanılabileceği düşünülmektedir.

Bütün bu olumsuzluklara rağmen, izelge 4.7 ve izelge 4.10' a bakılacak olunursa, elektrot kaynaklı ısıl işlemsiz ve kaynağı çok iyi olmayan iki numune (izelge 4.7 1. ve 2. numune) ve izelge 4.10'daki gerilme giderme tavlamaı yapılmış olan iki numunenin mekanik özelliklerini birbirleriyle kıyaslanırsa, akma ve çekme mukavemetinin birbirine olduğa yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Fakat %

uzama olarak karşılaştırıldığında ise gerilme giderme tavlama yapılmış iki numunenin % değerinin ısılsız ve kaynağı iyi olmayan iki numuneden biraz fazla olduğu gözlemlenmiştir. %7,67 değeri ısılsız kaynağı iyi olmayan iki numunenin % uzama ortalaması ve %8,80 değeri ise kaynaktan sonra gerilme tavlama uygulanmış olan iki numunenin % uzama değerinin ortalamasıdır. Bunun yanında Şekil 4.10'a bakıldığında da akma mukavemetinin üzerindeki değerde biraz da olsa sürekli akma da gözlemlenmiştir. Buradan da sınırlı da olsa gerilme giderme tavlama sonucunda sünekliğin biraz arttığı düşünülmektedir.



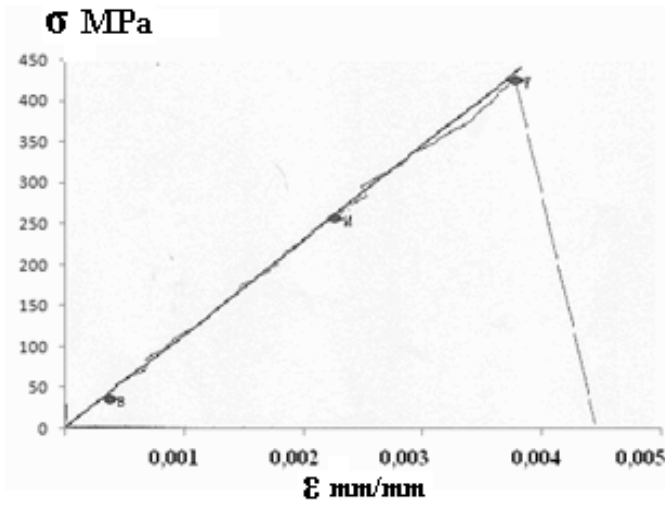
Şekil 4.10. Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavlama yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (1. numune).

Çizelge 4.10. Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavlama yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Gerilme Gider1*	416,2	632,6	224,1	68,3	103,7	36,8	8,82
Gerilme Gider2	411,8	631,5	297,3	67,5	103,6	48,8	8,78
Ort	414,0	632,1	260,7	67,9	103,7	42,8	8,80
SSP	3,1	0,8	51,7	0,5	0,1	8,5	0,03

#### 4.1.2.5. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Teorik olarak kaynak yapılmış malzemelere su ve benzeri hızlı soğutma ortamlarında uygulanan sertleştirme işlemi uygulanmaz. Burada da uygun olmadığını göstermek için bu deney uygulanmıştır. Bilindiği üzere martenzit çok sert ve gevrek bir fazdır, kaynaklı martenzitik numunelerde olduğu gibi akma, aktığı anda kopma ve çok düşük % uzama durumu kaynaklı için de geçerlidir. Burada ilaveten kaynak hatalarının, soğuk çatlakların var olması, ITAB'ın aşırı sert olması, daha önce anlatıldığı üzere uygulanan ısıl işlem sonucunda ITAB kaba taneli alanın tamamen ortadan kalkması, ana malzeme ve kaynak dolgu malzemesinin mikroyapı ve sertlik davranışının farklı olmasından Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.11'e bakıldığında akma mukavemeti ortalama 430 MPa'dan 377 MPa'ya % uzama değeri de %0,41'den %0,33'e düşmüştür. Numuneler çok daha sert olan ana malzemeden ve kaynağa uzak bölgeden kopmuştur.



Şekil 4.11. Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (2. numune)

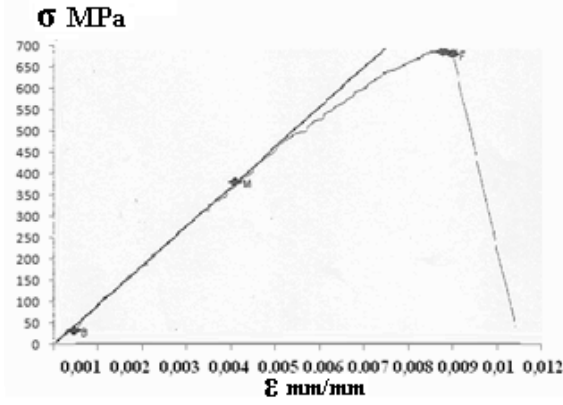


Çizelge 4.11. Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Martenzit1	342,5	342,5	342,5	55,6	55,6	55,6	0,29
Martenzit2*	422,0	422,0	422,0	67,5	67,5	67,5	0,38
Martenzit3	368,4	368,4	368,4	59,5	59,5	59,5	0,34
Ort	377,6	377,6	377,6	60,9	60,9	60,9	0,34
SSp	40,5	40,5	40,5	6,1	6,1	6,1	0,05

#### 4.1.2.6. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Burada da martenzitik dönüşümle benzer bir durum söz konusudur, yani kaynaklı malzeme bu ısı işlemi yapılmaya çok uygun değildir. Menevişleme sayesinde kaynaklıda olduğu gibi iç gerilmeler kısmen giderilmiş, tokluk artırılmış ve bunun sonucunda da akma mukavemeti çok fazla, % uzamada biraz artmıştır. Fakat bu artış kaynak hatalarının var olması, ITAB'ın aşırı sert olması, ITAB kaba taneli alanın tamamen ortadan kalkması, ana malzeme ve kaynak dolgu malzemesinin mikroyapı ve sertlik davranışının farklı olması sebebiyle sınırlı kalmıştır. Kaynaklı martenzit+menevişleme işleminde akma mukavemeti Çizelge 4.5'de ortalama 1062 MPa iken burada Çizelge 4.12'de ortalama 721 MPa'ya ancak çıkabilmiş, % uzama değeri de ortalama 1,66'dan 0,79'a düşmüştür. Kaynaklı numunelerin bir kısmı akmadan koparken bir kısmı aktıktan sonra çok az uzayabilmişti, fakat kaynak dolgu malzemesinin mukavemeti yeterli olmadığından bir kısmı aktığı anda kopmuş bir kısmı da aktıktan sonra çok az mukavemet kaybına uğrayıp kopmuştur.



Şekil 4.12. Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (1. numune)

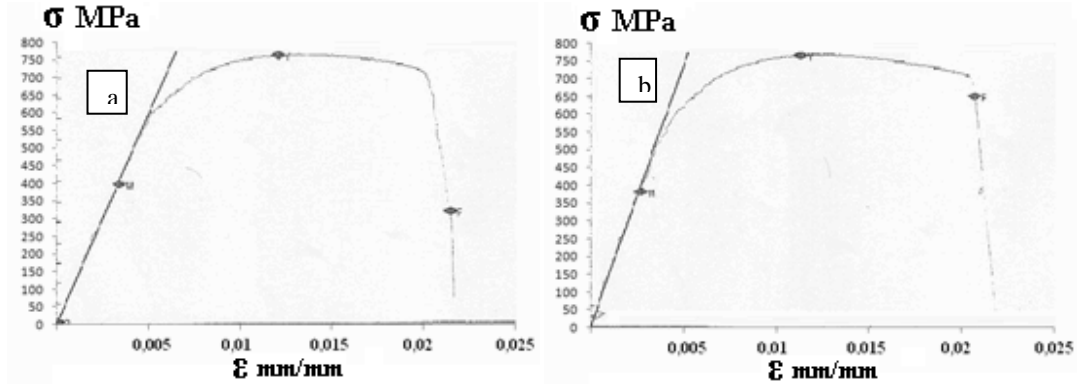
Çizelge 4.12. Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Mar+Menv1*	673,5	673,5	667,1	108,8	108,8	107,8	0,90
Mar+Menv2	781,2	781,2	781,2	126,9	126,9	126,9	0,85
Mar+Menv3	708,5	708,5	708,5	86,3	86,3	86,3	0,61
Ort	721,1	721,1	718,9	107,3	107,3	107,0	0,79
SSp	54,9	54,9	57,8	20,3	20,3	20,3	0,16

#### 4.1.2.7. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Burada martenzit + menevişleme kaynaklı ile martenzit + menevişleme elektrot kaynaklı numuneler arasındaki fark ile ilgili bahsedilen hususlar aynen geçerlidir, hatta % uzama değerinde düşme daha fazla belirgin hale gelmiştir. Kaynak hatalarının, soğuk çatlakların var olması, ana malzeme ve kaynak dolgu malzemesinin mikroyapı ve sertlik davranışının çok farklı olması, daha önce anlatıldığı üzere uygulanan ısı işlem sonucunda ITAB kaba taneli alanın büyük ölçüde ortadan kalkması, ITAB'da sertleşme durumu ve kaynak dolgu malzemesinin

mukavemet değerinin yeterli olmaması gibi sebepler nedeni ile ortalama akma mukavemeti Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.13'den görüleceği üzere ortalama 893 MPa'dan 726 MPa'ya, ortalama çekme mukavemetinin ortalama 1016 MPa'dan 781 MPa'ya % uzama değeri de ortalama %7,68'den %2,03'e düştüğü gözlemlenmiştir. Sertleştirme uygulamalarından görüleceği üzere kaynak edilmiş malzemenin hızlı soğutma ortamlarında sertleştirilmesi doğru bir ısıl işlem uygulaması değildir. Bununla birlikte eğer mecbur kalınırsa yağ gibi suya göre daha yavaş hızla soğuma sağlayan bir ortamda sertleştirilip menevişleme yapılması kısmen uygundur. Düşük menevişleme sıcaklığına rağmen en azından %2'lik bir % uzama değeri yakalandığı ve 726 Mpa'ya varan akma mukavemeti artışı sağlandığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.13. Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış malzemelerin gerilme/gerinim grafiği. a) 2. numune, b) 3. numune.

Çizelge 4.13. Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Elektrot	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Yağ+Menv1	770,7	820,9	679,9	131,3	139,9	115,9	1,90
Yağ+Menv2*	709,7	762,4	319,2	122,6	132,2	55,2	2,14
Yağ+Menv3*	699,4	761,7	642,2	118,1	128,6	108,4	2,07
Ort	726,6	781,7	547,1	124,0	133,6	93,1	2,04
SSp	38,5	34,0	198,3	6,7	5,8	33,1	0,12

Şekil 4.13 a) ve b)'de görülen kopma mukavemeti değerlerindeki farklılıkların nedeni kaynakla ilgili kopma durumlarının değerlendirildiği giriş kısmında belirtilen nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

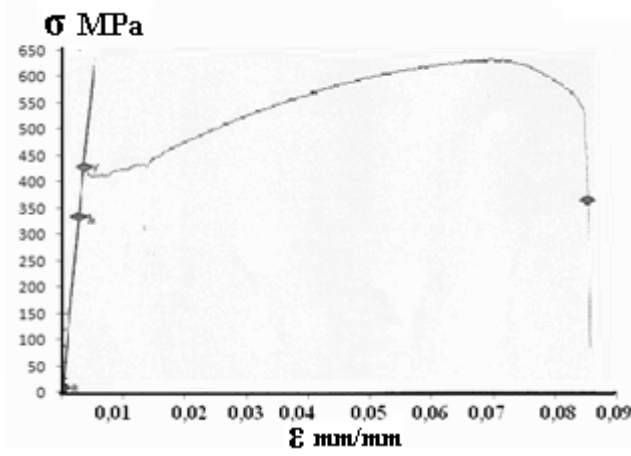
#### **4.1.3. Gazaltı Kaynaklı, Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları**

Gazaltı kaynağı yarı otomasyon olması yani kolayca mekanize edilebilmesi, kalifiye kaynakçı gerektirmemesi ve hız avantajı nedeniyle kapalı mekan uygulamalarında tercih edilen bir kaynak metodudur. Yalnız özellikle kök nüfuziyeti açısından yeterli değildir, bunu artırabilmek için kök pasosu için kurutulmuş bazik veya TIG kaynağı tokluk istenen uygulamalarda tercih edilmelidir. Gazaltı kaynağının diğer dezavantajları ise kaynak banyosunun hızlı soğuması, atmosferden korunması elektrot kaynağına nazaran yetersiz olmasıdır, bu ve benzeri nedenlerden dolayı süneklik beklenmez, akma mukavemetinin üzerindeki ve/veya dinamik yüklemelerde tercih edilmez. Deney malzemeleri %0,4 C ve %1 civarı Mn içerdiğinden bu numunelerin gazaltı kaynağıyla yapılan kaynakta yüksek yüklemelere uygun olmadığı açığa çıkmaktadır. Bu durumda ön ısıtma daha kritik duruma dönüşmüştü fakat başta anlatılan durumlardan dolayı ön ısıtma yapılamadı. Ancak elektrot kaynağıyla kıyaslama yapılması açısından değerlendirmesi daha sağlıklı olacaktır.

##### **4.1.3.1. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları**

Gazaltı kaynağı ile kaynak yapılmış numunelerin ortalama akma mukavemetinin elektrot kaynağına göre biraz düşme olduğu ama kaynaksızdan da çok az oranda daha yüksek olduğu Çizelge 4.1, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.14'den görülmektedir. Bu durum gazaltı kaynağının akma mukavemetinin altındaki ve statik yüklerde kullanımının ne kadar uygun olduğunu açıklar. Çekme mukavemeti değerlendirildiğinde elektrot kaynağına nazaran biraz düşme gözlemlenmiştir. Bunun sebebi gazaltı kaynağının yapısından kaynaklanan yetersiz nüfuziyet, hızlı soğuma ve kaynak banyosunun atmosfer korumasının elektrot kaynağıyla kıyasla yetersiz olması gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elektrot ile kaynak yapılmış olanlar arasında ana

metalden kopan numuneyi hariç tutacak olursak % uzama değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Aslında elektrot ile kaynak yapılan numunelerin tokluk faktöründen dolayı daha sünek olması beklenirdi. Fakat gazaltı kaynağının yapılması daha kolay olduğu için daha az kaynak hatası oluşmuş bunun da aradaki süneklik farkını telafi ettiği düşünülmektedir. Ancak elektrot ile kaynak yapılan Çizelge 4.7’de 3\* numaralı numune kadar % uzama, akma ve çekme mukavemeti değerini herhangi bir gazaltı kaynağı ile birleştirilmiş malzemeden beklemek çok zordur.



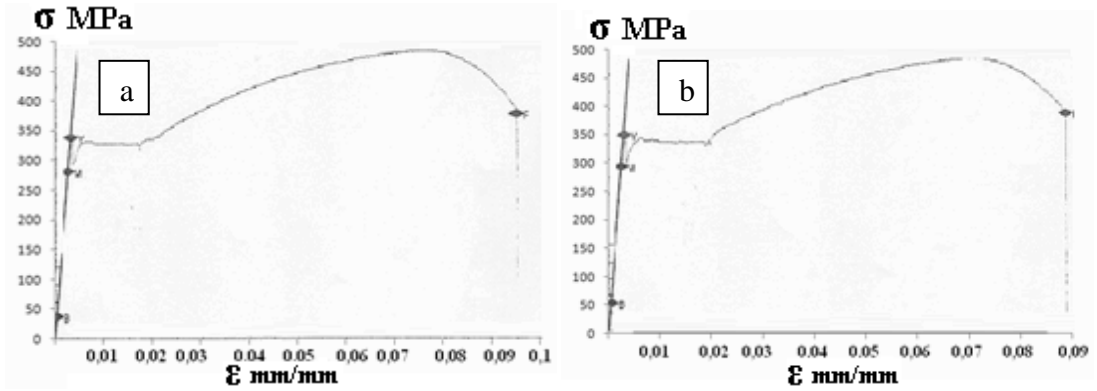
Şekil 4.14. Gazaltı kaynaklı, ısı işlemsiz numunenin gerilme/gerinim grafiği.  
(3. numune)

Çizelge 4.14. Gazaltı kaynaklı, ısı işlemsiz numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Isıl işlemsiz 1	418,2	589,1	483,3	70,5	99,0	81,2	7,45
Isıl işlemsiz 2	413,4	629,7	515,3	67,1	102,3	83,7	8,46
Isıl işlemsiz 3*	414,5	629,2	362,0	67,3	102,2	58,8	8,36
Ort	415,4	616,0	453,5	68,3	101,2	74,6	8,09
SSp	2,5	23,3	80,9	1,9	1,8	13,7	0,56

#### 4.1.3.2. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Tam tavlama işlemi elektrot kaynağında olduğu gibi gazaltı kaynağı için de istenen neticeyi vermemiştir, yani gerekli süneklik artışını sağlayamamıştır. Şekil 2.1'deki Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramı değerlendirildiğinde östenitleme sıcaklığı teorik olarak sifira yakın karbon içeriği için 912°C, %0,8 C içeriği için ise 723°C'dir. Bu bölgede karbon miktarı arttıkça istenen östenitleme sıcaklığı hızla düşer. Gazaltı kaynağında kaynak dolgu malzemesinin karbon içeriği elektroda göre % 0,01 daha fazladır. %0,01'lik artış bile gerekli östenitleme sıcaklığını birkaç derece düşürebilmektedir. 880°C civarı kaynak dolgu malzemesi için tamamen östenitlemeye geçiş sıcaklığı olduğu Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramından görülmektedir. Bu nedenle 880°C'de yapılmış olan tam tavlama işlemi elektrot kaynağına nazaran çok az daha fazla etkili olabilmiştir. (Çünkü karbon oranı gazaltı kaynak telinin %0,01 daha fazla). Tam tavlama işlemi sayesinde belki ortalama %8 çıkabilmesi muhtemel olan % uzama değeri ortalama % 8,5'a çıkartabildiği tahmin edilmektedir. Yine ana metal yumuşadığı için akma mukavemeti de beklenen seviyeye düşmüş çekme mukavemetini de Çizelge 4.5'den görüleceği üzere gazaltı kaynağının yapısal problemlerinden dolayı kaynaklı tam tavlama işlemine göre biraz düşürmüştür.



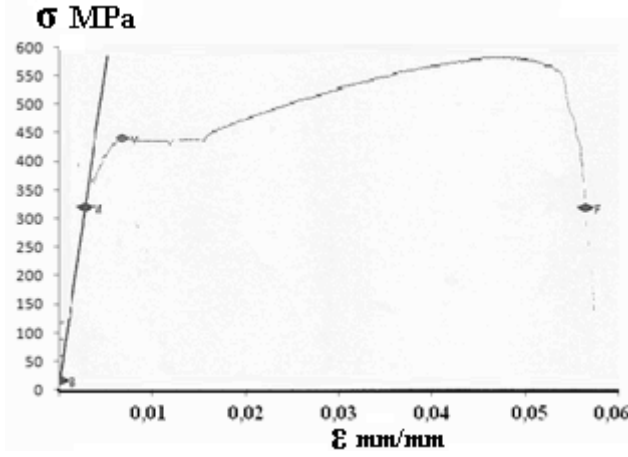
Şekil 4.15. Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin gerilme/gerinim grafiği. a) 1.numune, b) 3. numune

Çizelge 4.15. Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Tam Tavlama1*	333,4	484,8	386,0	54,7	79,5	63,3	8,84
Tam Tavlama2	334,6	486,0	438,2	54,9	79,7	71,9	7,29
Tam Tavlama3*	324,2	486,1	379,2	53,2	79,3	62,2	9,49
Ort	330,7	485,6	401,1	54,2	79,5	65,8	8,54
SSp	5,7	0,7	32,3	0,9	0,2	5,3	1,13

#### 4.1.3.3. Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Elektrot kaynağıyla kaynak yapılmış ve sonradan normalizasyon tavlaması yapılmış numuneler hakkındaki yapmış olduğumuz yorumlar gazaltı kaynağı için de geçerlidir. Yani malzeme yeterince östenit hale getirilemeden hava gibi nispeten hızlı soğutma ortamına terk edilmesi sonucunda istenen süneklik artışı sağlanamamıştır. Bunun yanısıra kaynaktan sonra uygulanmış olan ısıl işlem sonrasında daha önce anlatıldığı üzere ITAB kaba taneli alan kısmen daralmıştır. Akma mukavemeti Çizelge 4.3, Çizelge 4.9, Çizelge 4.16'dan görüleceği üzere kaynaklı ve elektrot kaynaklı numunelerle kıyasla hemen hemen aynıdır. Çekme mukavemeti ise kaynaklıya göre gazaltı kaynağının yapısal problemlerinden dolayı düşme göstermesi normaldir. Yine de sürekli uzama davranışı az da olsa gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16. Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavlı yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (3. numune)

Çizelge 4.16. Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavlı yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

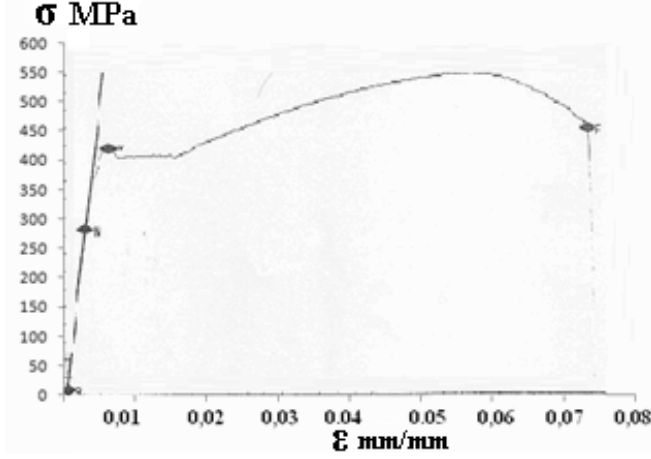
Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Normalize1	405,0	541,9	490,8	66,9	89,6	81,1	5,46
Normalize2	404,6	542,4	452,9	67,5	90,5	75,6	5,77
Normalize3*	433,5	583,5	318,0	72,0	96,9	52,8	5,65
Ort	414,3	555,9	420,6	68,8	92,3	69,8	5,62
SSP	16,6	23,8	90,8	2,8	4,0	15,0	0,16

#### 4.1.3.4. Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavlı Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Mekanik özelliklerde zaten gerilme giderme tavlaması fazla bir artış meydana getirmez sadece iç gerilmeleri azaltır. Elektrot kaynağında bahsedildiği üzere, gerilme giderme tavlamasının kaynaktan hemen sonra değil de tüm malzemeler kaynatıldıktan uzun bir süre sonra uygulanmış olmasının mekanik özelliklerde iyileşmeyi tamamen ortadan kaldırdığı düşünülmektedir. Süneklığın bu derece düşük çıkmasının nedeni



bu 2 numunede ilave olarak kaynak hatalarının fazlalığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.17. Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği (1. numune)

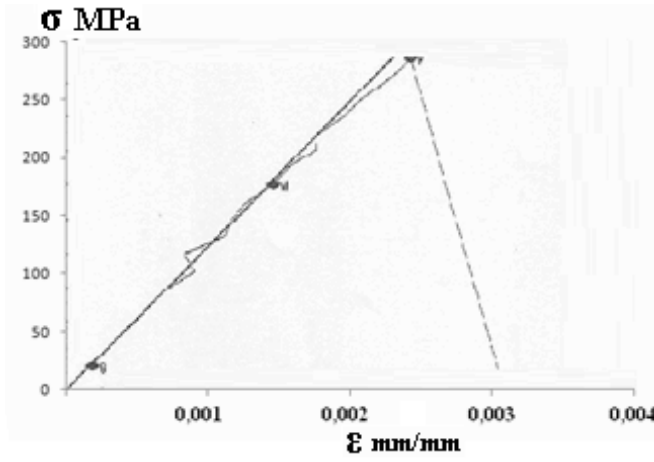
Çizelge 4.17. Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Gerilme Gider1*	421,2	551,4	456,6	69,1	90,4	74,9	7,23
Gerilme Gider2	423,2	598,4		67,7	95,7		5,50
Ort	422,2	574,9		68,4	93,1		6,37
SSP	1,4	33,3	-	1,0	3,8	-	1,23

#### 4.1.3.5. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Elektrot kaynağında anlatılan durumlar burada da geçerlidir. Yani kaynak hatalarının var olması, ITAB'ın aşırı sert olması, daha önce anlatıldığı üzere uygulanan ısıl işlem sonucunda ITAB kaba taneli alanın tamamen ortadan kalkması ve ana malzeme ve

kaynak dolgu malzemesinin mikroyapı ve sertlik davranışının farklı olması sebebiyle akma mukavemeti ve % uzama değeri kaynaksıza göre daha düşük çıkmıştır. Burada gazaltı kaynağının yapısal nüfuziyet problemi de devreye girerek numunelerin hemen çok düşük yükte bile hiç akmadan kopmasına sebep olmuş, Çizelge 4.11’de ortalama akma mukavemeti 377 MPa olan değer Çizelge 4.18’den görüleceği üzere yaklaşık 300 MPa’a düşmüş, ortalama % uzama değeri de %0,34’ten %0,26’ya düştüğü görülmektedir. Yine ana metal çok sert olduğundan numuneler kaynağa çok uzak bölgeden kopmuştur.



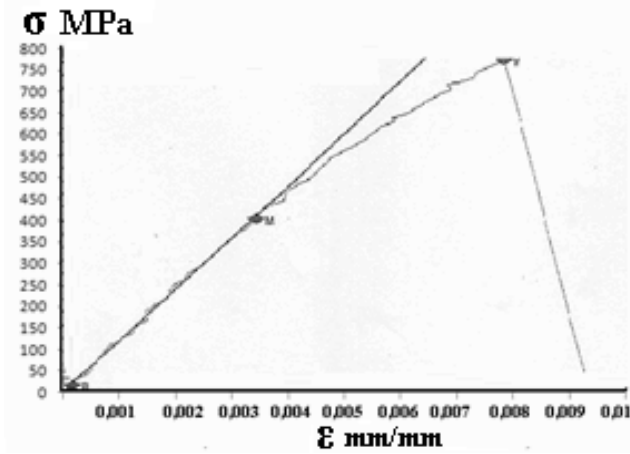
Şekil 4.18. Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin gerilme/gerinim grafiği (1. ve 2. numune)

Çizelge 4.18. Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Martenzit1*	286,4	286,4	286,4	47,7	47,7	47,7	0,24
Martenzit2*	286,4	286,4	286,4	47,7	47,7	47,7	0,24
Martenzit3	325,8	325,8	325,8	52,6	52,6	52,6	0,30
Ort	299,5	299,5	299,5	49,3	49,3	49,3	0,26
SSp	22,7	22,7	22,7	2,9	2,9	2,9	0,03

#### 4.1.3.6. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Elektrot kaynağında bu işlem için anlatılan durumların hepsi gazaltı kaynağı için de geçerlidir. Gazaltı kaynağının yapısal problemlerinden dolayı akma mukavemeti Çizelge 4.12’de ortalama 721 MPa olan değer Çizelge 4.19’da 661 MPa’ya düşmüş ortalama % uzama değeri de ortalama %0,79’dan %0,72’ye düşmüştür. Gazaltı kaynağının nüfuziyet problemi, daha önce anlatıldığı üzere uygulanan ısı işlem sonucunda ITAB kaba taneli alanın tamamen ortadan kalkması, ITAB’ın aşırı sert olması ve soğuk çatlaklar istenen mukavemet artışının yeterince sağlanamamasında etken olduğu düşünülmektedir.



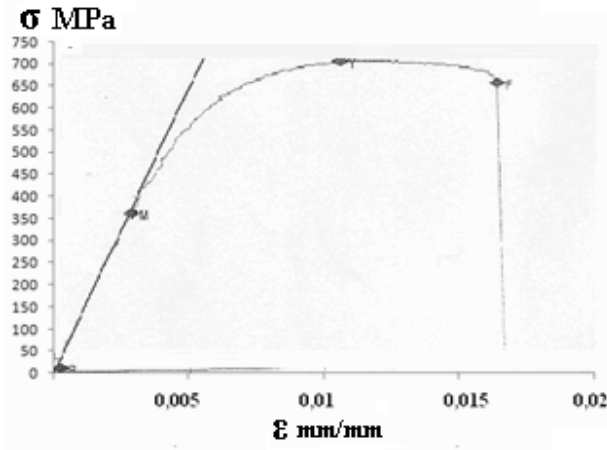
Şekil 4.19. Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (3. numune)

Çizelge 4.19. Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Mar+Menv1	643,3	643,3	641,7	102,9	102,9	102,7	0,70
Mar+Menv2	556,2	556,2	523,4	92,1	92,1	86,7	0,67
Mar+Menv3*	783,6	783,6	783,6	125,4	125,4	125,4	0,78
Ort	661,0	661,0	649,5	106,8	106,8	104,9	0,72
SSp	114,7	114,7	130,3	17,0	17,0	19,4	0,06

#### 4.1.3.7. Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Gazaltı kaynağı özellikle seri imalattaki büyük avantajlarına rağmen nüfuziyet açısından problemleri de beraberinde getiren bir kaynak metodudur. Bu problemlerin sertlik istenen ısı işlemler kaynaklı malzemeye uygulandığında daha belirgin hale geldiği gözlemlenmektedir. Bu sayede elektrot kaynaklıya göre Çizelge 4.13’de ortalama akma mukavemeti 726 MPa olan değer Çizelge 4.20’de ortalama 605 MPa’a, ortalama çekme mukavemeti 781 MPa’dan 606 MPa’a, ortalama % uzama değeri de %2’den %1,1’e düştüğü gözlemlenmiştir. Buradan menevişleme işlemi sayesinde malzemede sağlanan tokluk artışı ve iç gerilmelerin giderilebilmesi durumu elektrot kaynaklı numunelerde kısmen sağlanmış olmasına rağmen gazaltı ile kaynatılmış numunelerde sağlanamamış, bunun sonucunda da numunelerde istenen mukavemet artışı elde edilememiştir. Buradan genel olarak şu yorumu yapabiliriz. Kaynak edilmiş malzeme ilave sertleştirme ısı işlemine uygun değildir. Eğer sertleştirilmesi zorunlu ise yağda soğutma ve ilave meneviş yapılması ve öncesinde kurutulmuş bazik elektrot kaynağı gibi tokluk sağlayabilen bir kaynak yöntemiyle kaynak edilmiş olması zarurietini ortaya çıkar. Gazaltı kaynağı tokluk ve nüfuziyet açısından yetersiz kaldığından yağda soğutma + menevişleme işleminde yeterli mukavemet ve % uzama gösterememiştir.



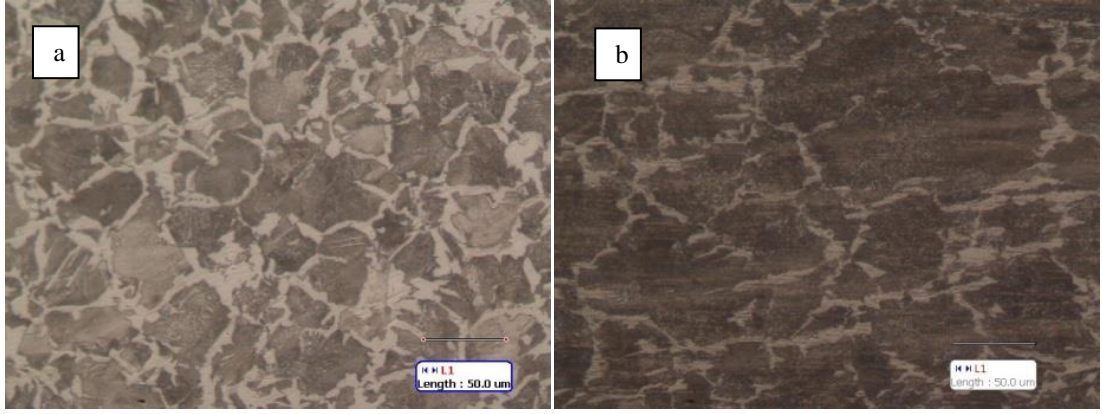
Şekil 4.20. Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin gerilme/gerinim grafiği. (2. numune)

Çizelge 4.20 Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunelerin çekme deneyi sonuçları

Gazaltı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Kopma Muk. (MPa)	Akma Yüğü (kN)	Maks Yüğü (kN)	Kopma Yüğü (kN)	Yüzde Uzama (%)
Yağ+Menv1	663,4	665,0	631,6	113,3	113,3	107,6	0,80
Yağ+Menv2*	705,3	705,3	648,2	120,2	120,2	110,4	1,65
Yağ+Menv3	448,5	448,5	220,0	76,4	76,4	37,5	0,83
Ort	605,8	606,3	499,9	103,3	103,3	85,2	1,10
SSp	137,8	138,1	242,6	23,5	23,5	41,3	0,48

#### 4.1.4. Çekme Deneyi Genel Mikroyapı Analizi

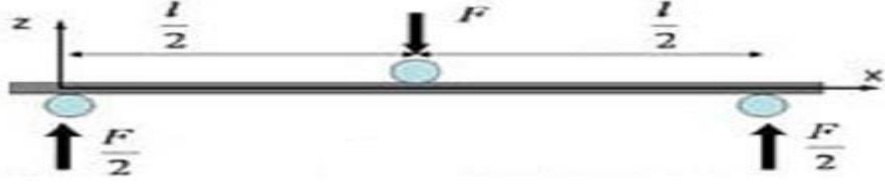
Şekil 4.21'den görüleceği üzere çekme deneyi sonucunda numuneye tek eksenli çekme yükü uygulanmış taneler bu doğrultuda uzamıştır. Şekil 4.21'de ısılsiz numunenin çekme testi öncesinde ve çekilip kopma gerçekleştikten sonra alınan mikroyapıları görülmektedir. Beyaz bölgeler ferrit siyah bölgeler perlittir. Ferrit çok daha yumuşak bir faz olmasından dolayı yük altında daha fazla süneklik göstermiş, tane sınırları üzerinden akmaya çalışmıştır. Buradan da karbon oranı düştükçe ferrit oranı artacağından çeliğin sünekliğinin artacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.21 Ç1040 çeliğinin mikroyapısı a) Çekme deneyinden önce, b) Çekme deneyinden sonra

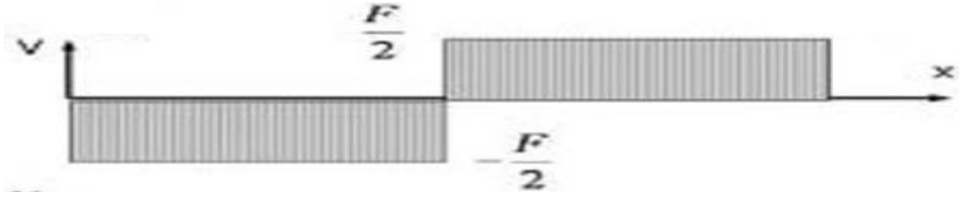
#### 4.2. 3 Nokta Eğme Deneyi Sonuçları

Üç nokta eğme testi sanayide çelik parçaların daha çok hidrolik preslerle yapılan bükme işlemidir. Bilindiği üzere Ç 1040 çeliği sünek bir metaldir, bu da tek noktadan yük uygulanması sonucunda bükülebilmeye olanak sağlar. Bükme esnasında çeliğin akma mukavemetinin üzerinde yük uygulayıp çekme mukavemetinin altında yük uygulanması esastır. Sünek malzeme olma koşulu akma mukavemetine kadar yük uygulandığında geri eski şeklini almayı, akma mukavemetinin üzerindeki yüklerde kalıcı şekil değiştirmeyi, belirli bir süre sonra da maksimum alabileceği yükü elde etmeyi mümkün kılar. Çekme testinde malzemeye aksel doğrultuda yük uygulanmıştı bu yükün kesit alanına bölünmesiyle aksel doğrultuda  $\sigma$  (çekme) gerilmesi elde edilmişti. Burada ise aksel çekme ( $\sigma$ ) gerilmesi mevcut değildir. Onun yerine belirli bir oranda  $\tau$  (kayma gerilmesi) etkimekle beraber esas etkiyen gerilme  $\sigma$  eğme gerilmesidir. Eğme gerilmesine yol açan kuvveti serbest cisim diyagramında gösterilirse;



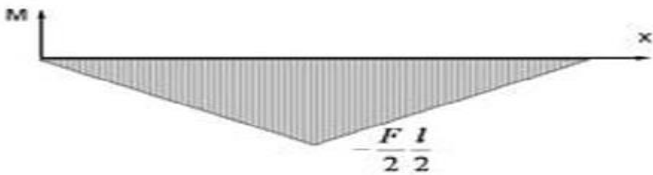
Şekil 4.22. Eğme deneyinin serbest cisim diyagramı

Şekil 4.22’de serbest cisim diyagramı görülmektedir. Materyal metot kısmında belirtildiği üzere numuneler 25\*300\*8 ölçülerinde olup ortadan 2 mm/dak hızla yük uygulanmakta bu yük serbest cisim diyagramında F olarak gösterilmiş, doğal olarak iki mesnetten de F/2 kuvvetiyle karşı konulmuştur. Mesnetler arası mesafe l olup  $l=200$  mm’dir. Üç nokta eğme testi için kuvveti diyagramı Şekil 4.23’de görülmektedir.



Şekil 4.23. Eğme deneyinde toplam kuvvet diyagramı

Bu kuvvetin etkisiyle cisimde moment oluşur. Oluşan moment diyagramı ise Şekil 4.24’de görülmektedir.



Şekil 4.24 Eğme deneyinde toplam moment diyagramı

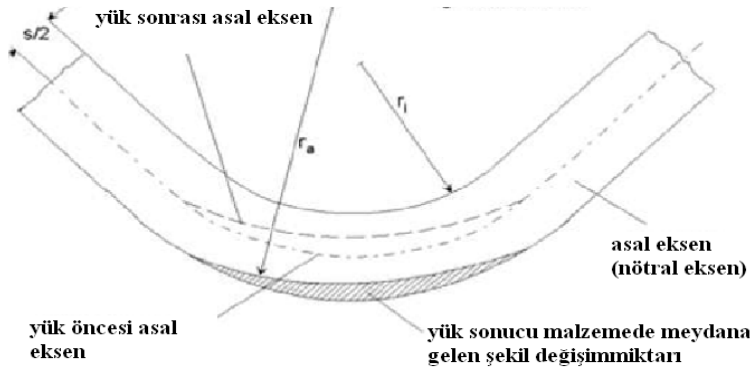
Görüleceği üzere ıstampaya yakın kısımlarda moment fazladır, yükün uygulandığı noktada maksimumdur. O noktadaki değeri  $M=F.l/4$  tür. Eğme gerilmesi belirtilen momentten kaynaklanır. Değeri;

$$\sigma = M.c/I' \text{ dir.} \quad (4.1)$$

M: moment, c: malzeme kalınlığının yarısı,

I: cismin atalet momentidir, malzemenin bükülmeye karşı gösterdiği direncini ifade eder.

Bu gerilmenin etkisiyle malzeme şekil değişimine uğrar. Malzemede meydana gelen şekil değişimi yük uygulandığı bölgede büzüşme tersi tarafında ise aksenal yönde uzama ve kalınlık yönünde daralma şeklinde gerçekleşir. Bu şekil değişimi Şekil 4.25’de verilmiştir. Her malzemenin aksenal merkez çizgisini nötral eksen olarak kabul edilirse gerilme sonucunda nötral eksen yükün uygulandığı tarafa kayar, bu da yük sonucunda kalınlık yönündeki daralmanın sonucudur. Yük uygulanması sonucunda meydana gelen şekil ve nötral eksen değişimi Şekil 4.25’de görülmektedir.



Şekil 4.25 Eğmede yük uygulanması sırasında malzemedeki şekil, asal eksen değişimi

Eğme deneyi sonuçlarında yük/uzama (kuvvet/sehim) grafiği verilmiştir. Bu grafik bize bir kirişe ne kadar yük uygulandığında kalıcı şekil değişimi meydana getirdiğini,



bu kirişin bükme için maksimum noktada kaç Newton kuvvet uygulamamız gerektiği ve bu yükteki meydana gelen sehim açıklar.

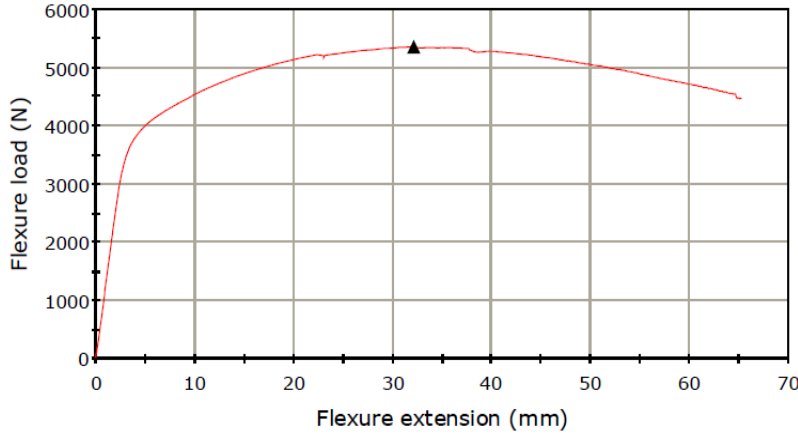
Bahsedildiği üzere 3 nokta eğme deneyi için 30\*10'luk lamalar kullanılmıştır. Bu tedarik edilen lamaların bazılarının ilgili kuvvet değerleri beklenenin dışında sonuç vermiştir. Bunun nedeni olarak da bazı numunelerin kimyasal içeriğinin 1040 çeliğini tam olarak karşılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### **4.2.1. Kaynaksız Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Şekil olarak kuvvet/sehim grafiği verilen numuneler çizelgelerde \* ile işaretlenmiştir. Seçilen grafik rastgeledir, mekanik özelliklerinde elde edilen değerler incelendiğinde diğer grafiklerin de benzer görüntü vereceği açıktır. Ancak deney numuneleri aynı malzemeler değildir. Bazı numunelerde elde edilen farklı değerler grafiğe de yansımıştır. Bu durumda bir deney grubunda bir grafik yerine iki grafik konulmuş olup konulan grafikler \* ile işaretlenmiştir. Sertleştirilen kaynaklı numunelerin bir kısmı kırılırken bir kısmında çatlak ilerlemesi oluşmuştur.

##### **4.2.1.1. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Burada üç ayrı ısıl işlem görmemiş numunenin üç nokta eğme deneyi sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.21 'den görüleceği üzere ortalama 3791 N yük uygulanması halinde %0,2'lik kalıcı şekil değişimi meydana geldiği görülmektedir. Ortalama 5098 N'luk kuvvet değeri ise deneylerde numuneleri şekillendirme esnasında elde edilen maksimum kuvvet değeridir. Eğme işlemine devam edilip daha fazla şekillendirilme yapıldığında harcanması gereken kuvvet giderek azalmaktadır. Bu numuneler malzeme satın alındığı gibi kullanıldığı için diğer deneyler için referans teşkil etmektedir. Burada 1. numune için maksimum yük değerine erişildiğinde 32 mm'lik bir sehim meydana gelmiş, bu noktaya gelinceye kadar 147 J'lük bir enerji harcanmış, yaklaşık 66 mm'lik sehim meydana geldiğinde makina durdurulmuştur.



Şekil 4.26 Kaynaksız, ısılsız işlemsiz numunenin yük/uzama grafiği.(1.numune)

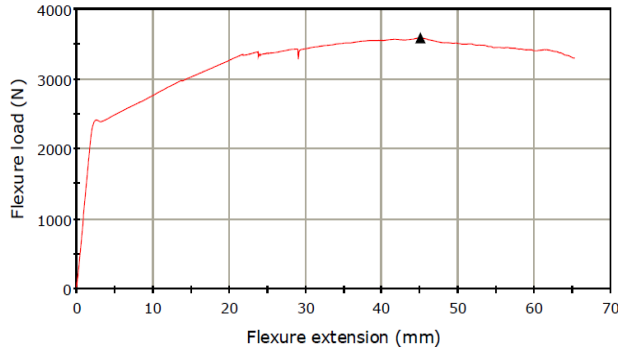
Çizelge 4.21 Kaynaksız, ısılsız işlemsiz numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Kaynaksız, ısılsız işlemsiz</b>	1.numune*	2. numune	3. numune	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	3965,6	3747,0	3661,0	3791,2	157,0
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	12,1	11,5	11,8	11,8	0,3
Maksimum eğme yükü (N)	5360,9	5041,9	4892,0	5098,3	239,5
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	147,1	139,5	154,8	147,1	7,6

#### 4.2.1.2. Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Tam tavlama ısılsız işleme çeliğin akma mukavemetini düşürerek yumuşattığı, belirgin şekilde akma yeteneği kazandırdığı ve bu sayede çeliğe daha kolay plastik şekillendirebilme davranışı kazandırdığı bilinmektedir. Bu deneyde de çeliğin bükülebilirliğinin arttığı açıkça gözlenmiştir. Kalıcı şekil değişimi için gerekli kuvvet Çizelge 4.22 'den da görüleceği üzere ortalama 2527 N'a kadar düşmüş ve ortalama 6,8 J kadar düşük bir enerji değeri %0,2'lik bir şekil değişimi için yeterli olabilmiştir. Plastik şekillendirme esnasında harcadığımız maksimum yük değeri ortalama 3618

N'a kadar düşmüş ve bu yükte Şekil 4.27'de görüleceği üzere 3. numunede 45 mm kadarlık bir sehim meydana gelmiştir. Çizelge 4.21'den de bakarak ısıtılıp işlemsizle karşılaştırıldığında bükülebilmemiz için harcanması gereken yükün ne kadar azaldığı ve ne kadar daha fazla sehim imkanı sağladığı görülmektedir. Şekil 4.27'de yük/uzama grafiği üzerindeki ani kuvvet iniş çıkışının akma yükünün üzerindeki yüklerde numunenin mesnetlerden kaymasından kaynaklanmaktadır. Mesnetlerden kaymasının nedeni numunelerin tam tavlama işlemi sonucunda yumuşamasından kaynaklanmaktadır.



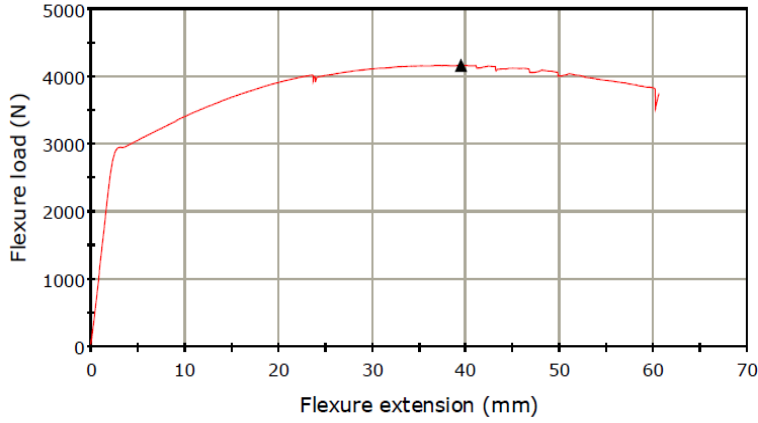
Şekil 4.27 Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (3.numune).

Çizelge 4.22 Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Kaynaksız, tam tavlama</b>	1. numune	2.numune	3. numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2597,7	2568,1	2415,6	2527,1	97,7
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	7,0	6,9	6,4	6,8	0,3
Maksimum eğme yükü (N)	3679,7	3584,0	3590,5	3618,1	53,4
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	228,9	130,8	139,5	166,4	54,3

#### 4.2.1.3.Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Normalizasyon tavlama da çeliğin şekillendirme kabiliyetini ve % uzama miktarını az oranda da olsa arttırdığı daha önceden bilinmektedir. Bunun nedeni normalizasyon tavlama ile malzemelerin iç gerilmelerinin giderilmiş olmasından ve tavlama sayesinde dislokasyon yapılarının yeniden düzenlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenlerden dolayı normalizasyon tavlama işleminin çelikte bükülebilirlik konusunda tam tavlama kadar olmasa da plastik şekillendirme yeteneğini arttırmıştır. Burada elde edilen sonuçlarda malzemedeki kaynaklanan problem ortaya çıkmaktadır. 1. numune normalizasyon tavlama sayesinde beklenen akma yükü ve maksimum yük elde edilmişken, 2 ve 3 numaralı numunelerde muhtemelen numuneler Ç1040 niteliği taşımamaktadır.



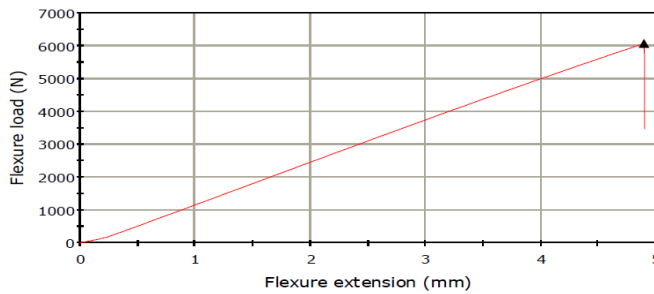
Şekil 4.28 Kaynaksız, normalizasyon tavlama yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (1.numune).

Çizelge 4.23 Kaynaksız, normalizasyon tavlı yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Kaynaksız, normalizasyon tavlı</b>	1. numune*	2.numune	3. numune	ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2994,3	2321,2	2297,8	2537,8	395,5
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	8,5	6,2	6,0	6,9	1,4
Maksimum eğme yükü (N)	4171,3	2828,8	2790,1	3263,4	786,5
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	143,5	77,8	92,1	104,5	34,6

#### 4.2.1.4. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Su vererek martenzitik dönüşüm sağlayan ısı işlemin malzemenin dayanıklılığını arttırdığı bilinmektedir. Bu sayede deney numuneleri Çizelge 4.24'den de görüleceği üzere sırasıyla 6072, 4332, 5676 N'luk yüklere kadar dayanabilmiştir. Ancak bütün malzemelerde dislokasyon kusurları mevcuttur. Yükleme artırıldıkça bu dislokasyon kusurları çentik oluşturmakta ve bu çentikler artan yüklerde giderek büyümekte malzemenin gevreklik kazanmış olması sonucunda malzemenin aniden kırılmasına yol açmaktadır. Kırılma yükü farklılıkları numunelerin satın alındığında mevcut dislokasyon kusurlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Numuneler çok gevrek yapıya sahip olduğundan akma göstermeden kırılmışlardır.



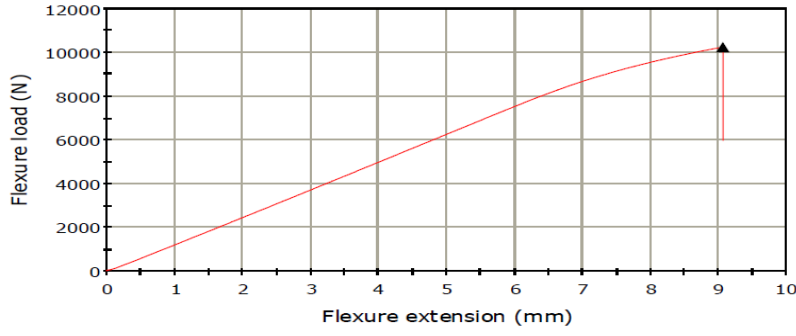
Şekil 4.29 Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin kırılma grafiği (1.numune).

Çizelge 4.24 Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

<b>Kaynaksız, martenzitik dönüşüm</b>	1.numune*	2.numune	3. numune	Ortalama	Ssp
Kırmak için harcanan enerji(J)	14,8	8,4	13,2	12,2	3,3
Kırmak için harcanan yük (N)	6072,4	4332,1	5676,7	5360,4	912,2

#### **4.2.1.5. Kaynaksız, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Menevişleme sayesinde malzemenin mukavemeti çok az oranda azalmakla birlikte deneylerde menevişleme süresi ve sıcaklığı düşük tutularak bu azalmanın etkisi azaltılmıştır. Lakin menevişleme sayesinde martenzitik yapıdaki iç gerilmeler büyük oranda giderilmiş, tokluk artırılmış, bu tokluğun artırılması daha önce anlatılan dislokasyon kusurlarının yüksek yükler karşısında büyümesine engel olmuştur. Bu sayede numuneler daha yüksek yüklere de dayanabilmiştir. Çizelge 4.25'den de görüleceği üzere ortalama 9575 N gibi çok yüksek yüklere dayanım mümkün olmuştur (hatta 1. numune 10000 N'un üzeri). Ortalama 9000 N'a kadar yük karşısında uzama lineer olmuş ancak bu yükün üzerinde lineerlikten biraz sapacak kadar fazla uzama meydana gelmiş ortalama 9575 N'luk yük uygulaması sonucunda kırılmıştır. Bütün bunlar menevişleme yapılmasından kaynaklanan yüksek mekanik özelliklerin sonucudur. Bu sayede numuneler yüksek yüklere dayanabilmiştir.



Şekil 4.30 Kaynaksız, martenzit+menevişleme yapılmış numunenin kırılma grafiği.  
(1.numune).

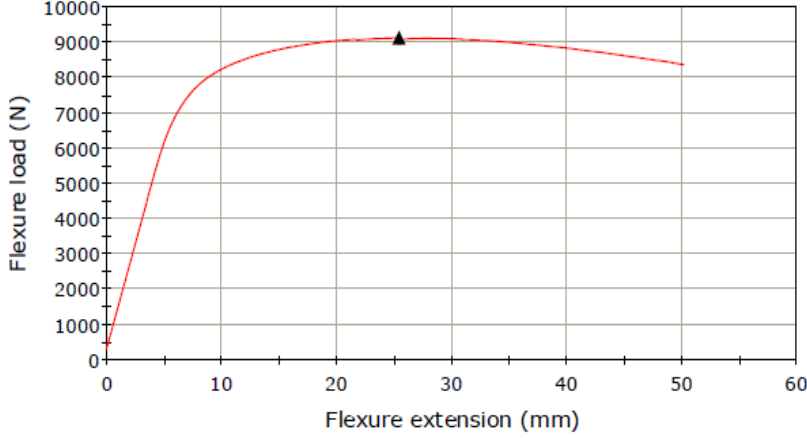
Çizelge 4.25 Kaynaksız, martenzit +menevişleme yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

<b>Kaynaksız, martenzit+menevişleme</b>	1. numune*	2.numune	3. numune	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	9365,6	8330,0	9332,6	9009,4	588,6
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	50,1	41,0	53,6	48,2	6,4
Kırılma yükü (N)	10257,5	9068,4	9400,9	9575,6	613,5
Kırmak için gereken enerji(J)	50,3	41,2	55,2	48,9	7,1

#### 4.2.1.6. Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Bilindiği üzere yağ su kadar fazla sertleştiren bir soğutma ortamı değildir. İlave menevişleme yapılmış olması da sertliği 30 HRC (300 HV) civarına düşürmüştür. Bu değerdeki bir sertlik numuneleri kırmamıza yetmemiştir. Lakin malzeme satın alındığı şartlara göre daha fazla sert ve yüksek yüklere karşı dayanıklıdır. Bu nedenden dolayı Çizelge 4.26 'dan da görüleceği üzere ortalama 7748 N'luk bir yük uygulandığında ancak %0,2'lik kalıcı şekil değişimi mümkün olabilmiştir. Bunun için de yalnız kalıcı şekil değişimi için bile ortalama 35,7 J kadar enerji uygulanması gerekmektedir. Maksimum yük uygulandığı noktadaki 3.numune için sehim 25

mm'ye kadar düşmüş fakat uygulamamız gereken yük ortalama de 9120 N'a kadar çıkmıştır. Buradan malzemelerin iç gerilmeleri giderilerek tokluk sağladığı, kısmen sertleştirilerek de dayanımını hayli arttığı ve bu yüzden şekillendirmenin oldukça zor hale geldiği görülmektedir. Bütün bunlar yağ gibi kısmen sertlik kazandırılabilen soğutma ortamı ve ilave menevişlemenin sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.31 Kaynaksız, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (3.numune).

Çizelge 4.26 Kaynaksız, yağda soğutma+menevişleme yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

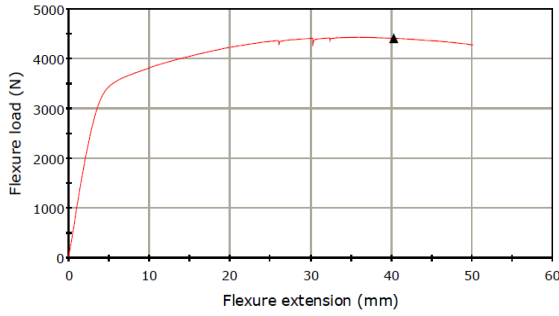
<b>Kaynaksız, yağda soğutma + menevişleme</b>	1. numune	2.numune	3. numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	7516,7	7990,8	7737,2	7748,2	237,3
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	33,5	37,2	36,5	35,7	2,0
Maksimum eğme yükü (N)	8799,3	9435,2	9128,0	9120,8	318,0
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	173,2	180,9	190,3	181,5	8,6



## 4.2.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

### 4.2.2.1. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları,

Elektrot kaynağının belirli bir oranda kusurlar içermesinden dolayı eğme esnasında uygulanabilecek en yüksek yük Çizelge 4.21’den de görüleceği üzere ortalama 5098 N’den Çizelge 4.27’den de görüleceği üzere 4385 N’a ve bunun yanında minimum %0,2’lik kalıcı şekil değişimi için gerekli yük de ortalama 3791 N’den 3422 N’a düştüğü gözlemlenmiştir. Malzeme sünekliğini yitirmediği için kırılmadığı düşünülmektedir. Şekil 4.32 ‘de görüleceği üzere maksimum yüke yakın bölgede kuvvet iniş çıkışları görülmesinin nedeni kılcal çatlakların yük arttırılması nedeniyle ilerlemesinden ileri geldiği düşünülmektedir.



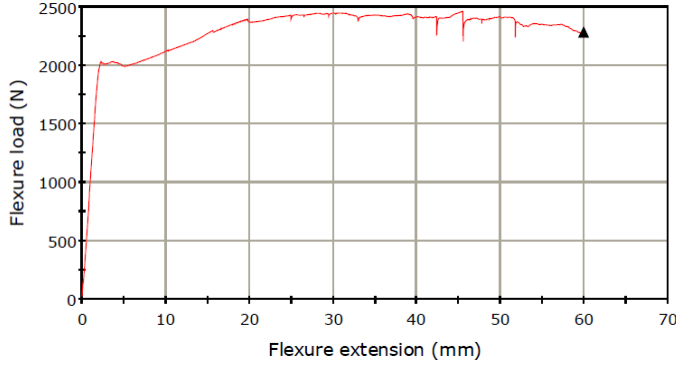
Şekil 4.32 Elektrot kaynaklı, ısıl işlemsiz numunenin yük/uzama grafiği (3.numune).

Çizelge 4.27 Elektrot kaynaklı ısıl işlemsiz numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, ısıl işlemsiz</b>	1. numune	2.numune	3. numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	3390,0	3400,8	3475,1	3422,0	46,3
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	11,0	11,0	11,3	11,1	0,2
Maksimum eğme yükü (N)	4450,9	4287,2	4417,0	4385,0	86,4
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	140,84	142,44	158,08	147,12	9,53

#### 4.2.2.2. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Uygulanan tam tavlama ısıl işlemi sonucunda numuneler yumuşamış ve böylece %0,2'lik kalıcı şekil değişimi için harcanılması gereken yük Çizelge 4.28'den de görüleceği üzere ortalama 2166 N'a kadar, eğme esnasında uygulanması gereken maksimum yük de 2727 N'a kadar düşmüştür. Kaynaksıza göre biraz daha da düşük olmasının nedeni kaynak dolgu metali ve ITAB'daki kılcal çatlak ve kaynak kusurlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekillendirmenin ileri aşamalarında Şekil 4.33'de görüleceği üzere maksimum yükün uygulandığı bölgede numunelerin yumuşamasından dolayı mesnetlerden kayma meydana gelmiş olduğu bunun yanında kılcal çatlakların ilerleemesinden dolayı meydana gelen etkilerle birleşerek yüklemeye iniş çıkışların daha belirgin hale geldiği görülmektedir.



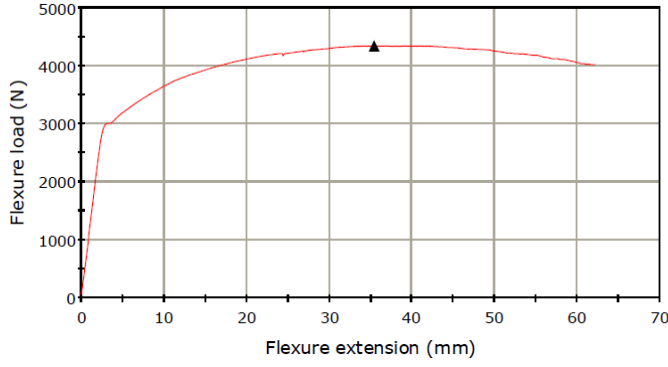
Şekil 4.33 Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (2.numune).

Çizelge 4.28 Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, tam tavlama</b>	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2299,2	2033,0	2166,1	188,2
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	6,1	5,3	5,7	0,6
Maksimum eğme yükü (N)	3167,4	2286,6	2727,0	622,8
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	74,0	136,4	105,2	44,1

#### **4.2.2.3. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Normalizasyon ısıtma işlemi çeliğin bükülebilirliği konusunda tam tavlama kadar olmasa da benzer şekilde şekillendirmeyi iyileştirici etki yaptığı daha önceden belirtilmişti. Normalizasyon tavı sonucunda iç gerilmeleri giderdiği, dislokasyonları yeniden düzenlediği ve bu yolla bükülebilirliği arttırdığı düşünülmektedir. Bu sayede %0,2'lik kalıcı şekil değişimi için gerekli yük Çizelge 4.29'dan da görüleceği üzere ortalama 3422 N'dan(ısıtma işlemisiz elektrot kaynaklı değeridir) Çizelge 4.27'den de görüleceği üzere 3003 N'a, şekil değişimi sırasında uygulanan maksimum yük de ortalama 4385 N'dan(ısıtma işlemisiz elektrot kaynaklı değeridir) 4243 N'a düştüğü görülmektedir. Fakat sertlik azalmadığından yükteki azalma sınırlı kalmıştır.



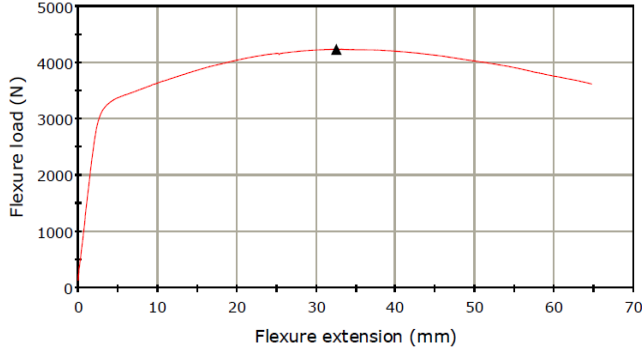
Şekil 4.34 Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (2.numune)

Çizelge 4.29 Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı</b>	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2898,7	3107,0	3002,9	147,3
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	8,2	9,0	8,6	0,6
Maksimum eğme yükü (N)	4141,9	4344,6	4243,2	143,3
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	134,3	133,0	133,7	0,9

#### 4.2.2.4. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

2. numune için değerlendirme yapılırsa, gerilme giderme tavı sayesinde şekillendirme için gerekli kuvvet çok az oranda azalmış, Çizelge 4.27'den de görüleceği üzere ortalama 3422 N'dan Çizelge 4.30'da 3320 N'a, şekillendirme esnasında uygulanan maksimum yük ortalama 4385 N'dan 4240 N'a düşmüştür. Numuneler dönüşüm sıcaklığının altında da olsa ısıl işlem görüp çok az iç gerilmeler giderilip daha kolay şekillendirme sağlandığı düşünülmektedir. 1. numune Ç1040 niteliği taşımamaktadır.



Şekil 4.35 Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (2.numune).

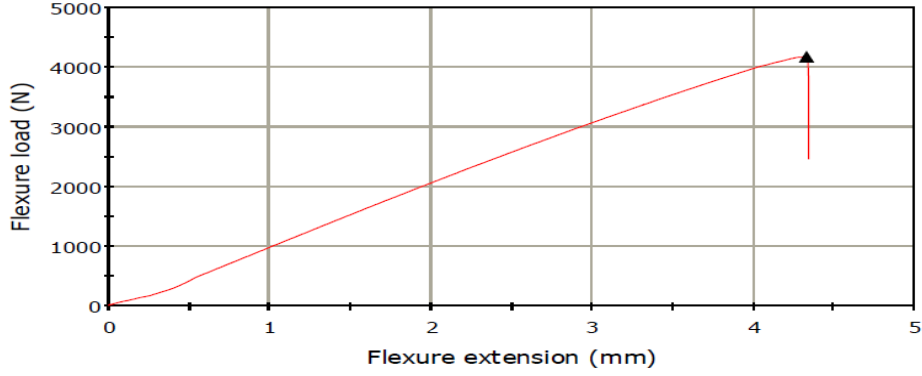
Çizelge 4.30 Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavı</b>	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2294,5	3320,5	2807,5	725,5
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	6,2	9,7	8	2,4
Maksimum eğme yükü (N)	2732,6	4239,9	3486,3	1065,8
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	72,8	120,4	96,6	33,7

#### 4.2.2.5. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Kaynaksız numunelerde anlatıldığı üzere numuneler aşırı sert ve gevrek olduğundan malzemelerde dislokasyon kusurları nedeniyle gelen yükleme karşısında çentik oluşumu ve artan yüklerde malzemenin aniden kırılması durumu burada da geçerlidir. Yalnız kaynaksız numunelerde Çizelge 4.24'den de görüleceği üzere ortalama 5360 N'a kadar numuneler dayandığı halde burada kaynak kusurları (gözenekler, soğuk çatlaklar) ve ITAB bölgesinin aşırı sert olması yüzünden numuneler Çizelge 4.31'den

de görüleceği üzere ortalama 4094 N'a kadar ancak dayanabilmiş, numuneler aniden kırılmıştır. Yük tam ortadan uygulandığı halde kırılma tam ortadan değil ergime çizgisinin 10 mm yanısıra sert olan ITAB ince taneli bölgede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.36 Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm(suda soğutma) yapılmış numunenin kırılma grafiği (1.numune).

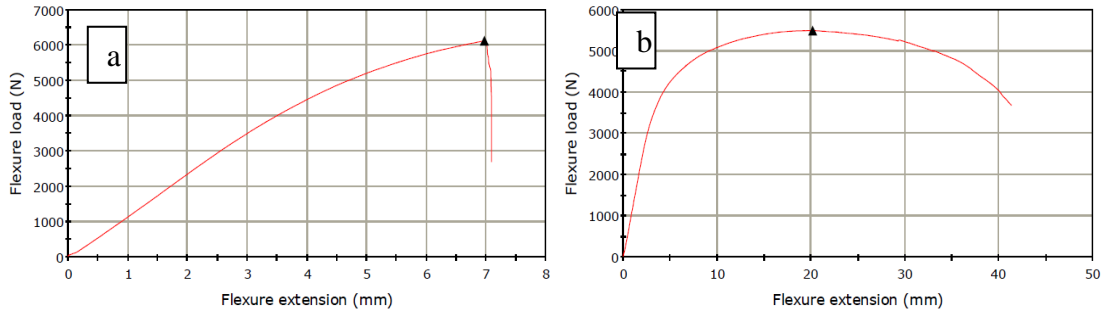
Çizelge 4.31 Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm(suda soğutma) yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, martenzit</b>	1. numune*	2.numune	Ortalama	Ssp
Kırmak için harcanan enerji (J)	7,4	9,5	8,4	1,5
Kırmak için harcanan yük (N)	4004,1	4183,8	4093,9	127,1

#### 4.2.2.6. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Uygulanan ısı işlem sonucunda 1. numunenin kırılma davranışı kaynaklı martenzit + menevişleme işlemine çok benzerdir. Ancak kaynaklı numuneler Çizelge 4.25'den de görüleceği üzere ortalama 9575 N gibi çok yüksek bir yük tatbiki sonucunda kırılabilmişken kaynak kusurları ve ITAB ince taneli bölgede ilave sertleşme durumu nedeniyle numuneler ancak Çizelge 4.32'den de görüleceği üzere 6124 N'luk yük

sonucunda kırılmıştır. Yine kırılmaya yakın yükte menevişleme sayesinde yük/uzama grafiğinde lineerlikten sapma 1. numunede kaynaklı numunelerde olduğu gibi gözlemlenmiştir. 2. numunede ise malzeme kaynak esnasında meydana gelen kılcal çatlaklar ve uygulanan yüksek yüklemenin etkisiyle mikro çatlaklar aniden büyümüş ve gözle görülür çatlak oluşmuştur. Bunun neticesinde çatlak artan yükleme etkisiyle hızla büyümüş sonuçta 2.numunede kaynak hatalarının daha fazla olmasından dolayı şekillendirme için daha fazla yükü taşıyamamıştır.



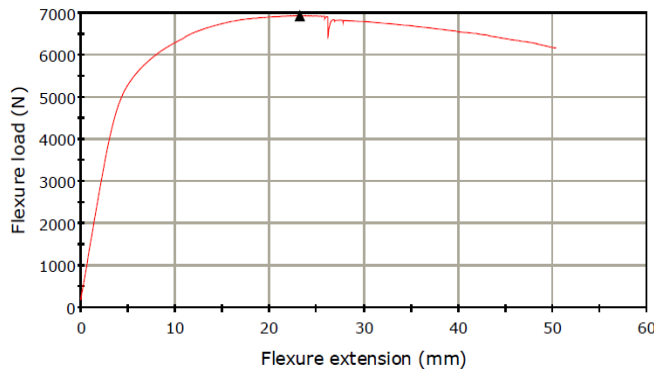
Şekil 4.37 Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunelerin yük sonucunda kırılma grafiği, a) 1. numune, b) 2. numune

Çizelge 4.32 Elektrot kaynaklı, martenzit+menevişleme yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme</b>	1. numune*	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	6029,0	4306,5	5167,7	1218,0
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	23,6	13,8	18,7	6,9
Kırılma yükü (N)	6124,0	5492,3	5808,2	446,7
Kırmak için gereken enerji (J)	25,4	91,2	58,3	46,6

#### 4.2.2.7. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Uygulanan ısı işlem neticesinde numuneler 30 HRC (300 HV) sertlik alabilecek kadar sertleşmiş ama bu sertlik numuneleri kırmaya yetmemiş, fakat şekil değiştirme meydana getirebilmek için gereken yük oldukça artmıştır yani kaynaklı numuneleri ile benzer bir durum söz konusudur. Fakat kaynak kusurları ve ITAB'da meydana gelen sertleşme neticesinde numuneler kaynaklı numuneleri kadar yükü taşıyamamıştır. Kaynaklı numunelerde Çizelge 4.26'dan da görüleceği üzere ortalama 7748 N olan %0,2'lik kalıcı şekil değişimi için gereken yük Çizelge 4.33'den de görüleceği üzere ortalama 5398 N'a, şekil değişimi esnasında uygulanan maksimum yük de ortalama 9120 N'dan ortalama 6727 N'a düşmüştür. Fakat maksimum yükün elde edildiği noktada meydana gelen sehim kaynaklı numunelerde Şekil 4.31'den de görüleceği üzere 25 mm iken kaynaklı numunelerde Şekil 4.38'den de görüleceği üzere 2. numune için 23 mm'ye kadar düşmüş bu da şekil değiştirme yeteneğinin az da olsa azaldığını göstermiştir. Bunun yanında maksimum yükü elde ettikten sonraki şekillendirmelerde Şekil 4.38'den de görüleceği üzere kuvvet iniş çıkışı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de yüksek yüklere çıkılması sonucunda kaynak dolgu metalindeki kılcal çatlakların şekil değişimi esnasında ilerleyerek bu kadar yükü kaldıramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.38 Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin yük/uzama grafiği (2. numune).



Çizelge 4.33 Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Elektrot kaynaklı, yağda soğutma+ menevişleme</b>	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	5269,5	5526,5	5398,0	181,7
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	20,7	19,9	20,3	0,6
Maksimum eğme yükü (N)	6516,8	6937,4	6727,1	297,4
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	128,3	134,4	131,4	4,3

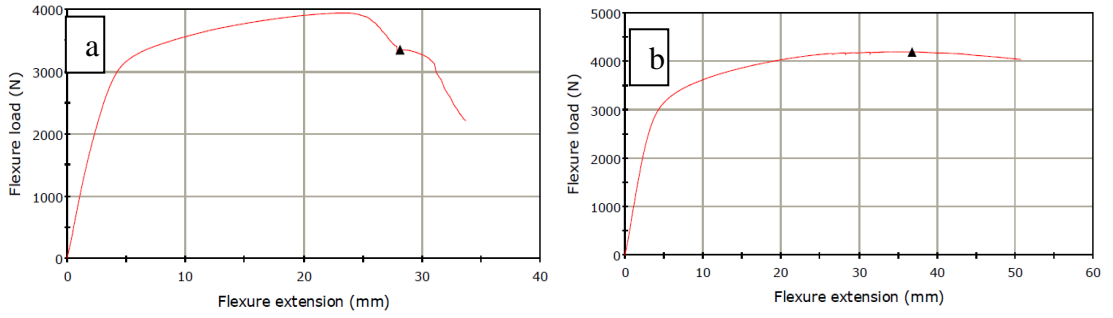
#### **4.2.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Elektrot kaynağında kaynak banyosunun örtü ile kaplanması, cüruf oluşturarak kaynak metalini geç soğutması, gazaltı kaynağının koruyucu malzemesinin sadece gaz olup banyosunun katılma esnasında atmosferden korunması düzeyinin elektrot kaynağına göre biraz yetersiz kalması, elektrot kaynağının kaynak banyosunu hidrojenden koruması gibi avantaj nedeniyle gazaltı kaynaklı numunelerinde yükleme neticesinde daha kolay kılcal çatlak ilerlemesi oluşmasından dolayı gazaltı kaynaklı numunelerin çoğunluğunda ilgili kuvvet değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

##### **4.2.3.1. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları**

Burada Şekil 4.39'dan da görüleceği üzere çok fazla kaynak hatası olan numune ve kaynak hatası fazla olmayan 2 adet numune bulunduğu görülmektedir. Akma mukavemetine kadar kaynak hataları sonucu meydana gelen mukavemet kaybı çok etkin değildir. Fakat akma mukavemetinin üzerindeki şekillendirme için gerekli olan yüklerde kaynak hataları kendini belli ederek 1. numunede aniden çatlak büyümesi meydana gelmiştir. Bunun sonucunda maksimum uygulanan şekillendirme yükü 3354 N'a kadar düştüğü Çizelge 4.34'de görülmektedir. 1. numune şekillendirmeye devam edildiğinde çatlak daha fazla büyümüş bunun sonucunda uygulanan yük çok hızlı bir

şekilde düştüğü Şekil 4.39 a’da görülmektedir. Diğer 2 numunede ise böyle bir durum gözlemlenmemiş gazaltı kaynaklı malzemelerde beklenebilecek şekillendirme sağlanmıştır. Gazaltı kaynağının yapısal problemlerinden dolayı %0,2’lik şekillendirme için gereken yük diğer iki numunede elektrot kaynaklıya göre Çizelge 4.27’den de görüleceği üzere ortalama 3422 N’dan Çizelge 4.34’den de görüleceği üzere 3194 N’a, şekillendirme sırasında gözlenen maksimum yük de ortalama 4385 N’dan 4116 N’a düşmüştür.



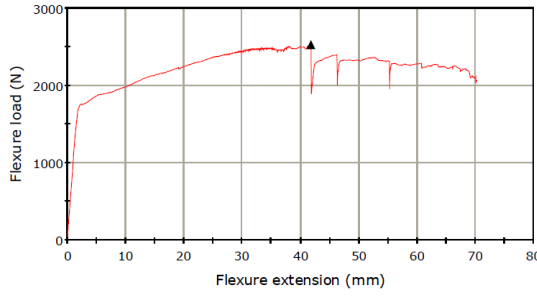
Şekil 4.39 Gazaltı kaynaklı, ısıl işlemsiz numunelerin yük/uzama grafiği,  
a) 1. Numune, b) 3. numune

Çizelge 4.34 Gazaltı kaynaklı, ısıl işlemsiz numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Gazaltı kaynaklı, ısıl işlemsiz</b>	1. numune*	2.numune	3. numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	3184,6	3204,2	3184,6	3191,1	11,3
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	10,1	10,3	10,3	10,2	0,1
Maksimum eğme yükü (N)	3353,9	4035,5	4197,2	3862,2	447,6
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	95,3	109,4	135,0	113,2	20,1

#### 4.2.3.2. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Numuneler ısıtılma işlem sonucunda yumuşamış ve bu sayede şekillendirme için gereken yük de düşmüştür. Elde edilen mukavemet değerleri elektrot kaynaklı numunelerle benzerlik göstermiştir. Yine benzer şekilde maksimum yükün uygulandığı bölgede numunelerin yumuşamasından dolayı mesnetlerden kayma meydana gelmiş bunun yanında kılcal çatlakların ilerleemesinden dolayı meydana gelen etkilerle birleşerek yüklemde iniş çıkışların Şekil 4.40'da görüleceği üzere daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Gazaltı kaynağının bahsedilen dezavantajları ihtiyaç duyulan yükü elektrot kaynağına nazaran hayli düşürmüştür, bunun yanında çatlak ilerlemesi ve ısıtılma işlem sonucu malzemenin yumuşaması sonucu mesnetlerden kayma daha belirgindir.



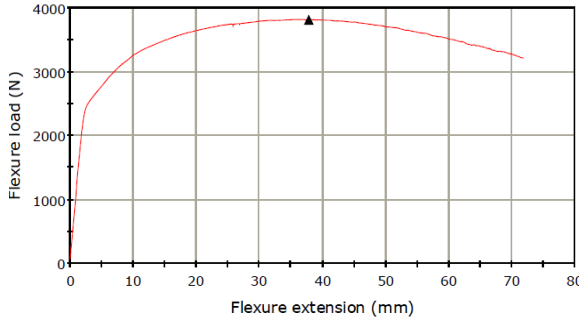
Şekil 4.40 Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin yük/uzama grafiği.(2.numune)

Çizelge 4.35 Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

Gazaltı kaynaklı, tam tavlama	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	1962,7	1787,6	1875,2	123,8
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	5,0	4,6	4,8	0,3
Maksimum eğme yükü (N)	3038,4	2528,6	2783,5	360,5
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	108,5	90,9	99,7	12,5

#### 4.2.3.3. Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Daha önceden de bahsedildiği gibi burada da 1. ve 2. numuneler arasındaki mukavemet farklılıkları malzemelerin farklılığından ileri geldiği düşünülmektedir. 1. numune için değerlendirme yapılacaktır olunursa elde edilen mukavemet değerleri elektrot kaynağına yakın değerlerdir fakat biraz düşük olmasının nedeni gazaltı kaynağının dezavantajlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 4.36'dan da görüleceği üzere 2. numunedeki düşüş beklenenden fazla olmasının nedeni malzeme özelliğinin muhtemelen Ç1040 özelliği taşımasından kaynaklanmaktadır.



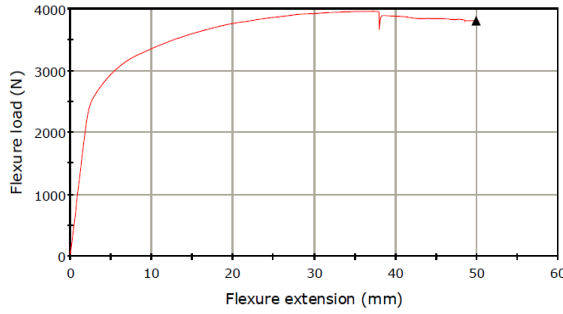
Şekil 4.41 Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin yük/uzama grafiği.(1.numune).

Çizelge 4.36 Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

<b>Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı</b>	1. numune*	2.numune	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2660,4	1938,2	2299,3	510,7
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	7,3	5,8	6,6	1,1
Maksimum eğme yükü (N)	3816,6	2803,5	3310,1	716,4
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	126,9	91,6	109,3	25

#### 4.2.3.4. Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

İç gerilmeler gerilme giderme tavyıyla kısmen giderildiğinden ve numuneler dönüşüm sıcaklığının altında da olsa belirli bir ısı gördüğünden ilgili kuvvet değerleri çok az azalmış bu sayede ısıl işleme göre az oranda şekillendirebilme yeteneğinde iyileşme sağlanmıştır. Elektrot kaynaklı gerilme giderme numuneleriyle mukayese yapılacak olunursa Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.37'ye bakıldığında ilgili yük değerlerinde azalma meydana gelmiştir. % 0,2 şekil değişimi için gerekli kuvvet 3320 N'den ortalama 2886 N'a, şekil değiştirme esnasında harcanan maksimum yük de 4240 N'den ortalama 3876 N'a düşmüştür. Bu düşüşün meydana gelmesinin nedeni gazaltı kaynağının belirtilen devantajlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



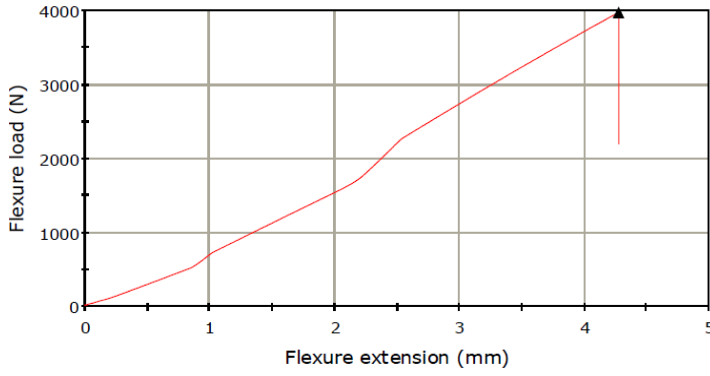
Şekil 4.42 Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin yük/uzama grafiği.(1.numune)

Çizelge 4.37 Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunelerin eğme deneyi sonuçları

Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme	1. numune*	2.numune	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	2839,2	2932,3	2885,8	65,8
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	8,2	8,2	8,2	0,0
Maksimum eğme yükü (N)	3808,4	3944,8	3876,6	96,4
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	177,7	123,1	150,4	38,6

#### 4.2.3.5. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

İki ayrı numuneyi kırmak için gereken yükün farklı olmasının nedeni numuneler arasındaki dislokasyon ve belirli yapısal kusurların farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gazaltı kaynağının dezantajlarından dolayı kırılma yükü elektrot kaynağına göre daha düşüktür. Yine yük tam ortadan uygulanmış olmasına rağmen kırılma ITAB ince taneli bölgeden (ergime çizgisinin 10 mm yanı) gerçekleşmiştir.



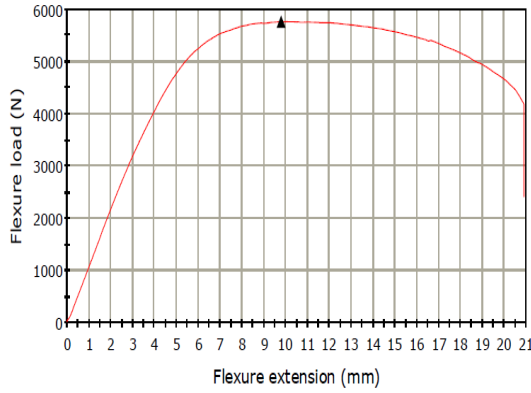
Şekil 4.43 Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm(suda soğutma) yapılmış numunenin kırılma grafiği.(1.numune).

Çizelge 4.38 Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

Gazaltı kaynaklı, martenzit	1. numune*	2.numune	Ortalama	Ssp
Kırmak için harcanan enerji (J)	7,9	3,3	5,6	3,3
Kırmak için harcanan yük (N)	3972,9	2516,3	3244,6	1029,9

#### 4.2.3.6. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Numunelere yüksek düzeyde yük uygulandığından ve gazaltı kaynağı yapısı gereği çok yüksek yüklere dayanımın uygun olmadığından kaynak yapılması esnasında meydana gelen gözenek ve kılcak çatlaklar sonucunda mikro çatlaklar aniden büyümüş ve gözle görülür çatlak oluşmuş, bu çatlak yüksek yük etkisiyle hızla büyümüş neticede numuneler şekillendirme için daha fazla yükü taşıyamamıştır.



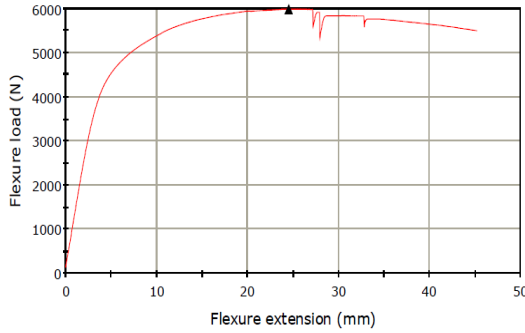
Şekil 4.44 Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin kırılma grafiği.(1.numune).

Çizelge 4.39 Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunelerin kırılma deneyi sonuçları

<b>Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişme</b>	1. numune*	2.numune	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	5443,7	4151,3	4797,5	913,9
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji(J)	21,3	14,1	17,7	5,1
Kırılma yükü (N)	5766,2	5069	5417,6	493,0
Kırmak için gereken enerji (J)	39,2	61,5	50,3	15,8

#### 4.2.3.7. Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunelerin Eğme Deneyi Sonuçları

Uygulanan ısı işlem neticesinde numuneler 30 HRC (300 HV) sertlik alabilecek kadar sertleşmiş ama bu sertlik numuneleri kırmaya yetmemiş, fakat şekil değiştirme meydana getirebilmek için gereken yük oldukça artmıştır yani kaynaklı eğme numuneleri ile benzer bir durum söz konusudur. Fakat kaynak kusurları ve ITAB'da meydana gelen sertleşme neticesinde numuneler kaynaklı eğme numuneleri kadar yükü taşıyamamıştır. Çizelge 4.40'dan da görüleceği üzere 1. numunenin ilgili kuvvet değerlerinin beklenenin üzerinde çıkmasının nedeni kaynağın kusursuza yakın yapılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Maksimum yükü elde ettikten sonraki şekillendirmede Şekil 4.45'den de görüleceği üzere kuvvet iniş çıkışı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni de yüksek yüklere çıkılması sonucunda kaynak dolgu metalindeki kılcal çatlakların şekil değişimi esnasında ilerleyerek bu kadar yükü kaldıramamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.45 Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin yük/uzama grafiği.(2.numune).



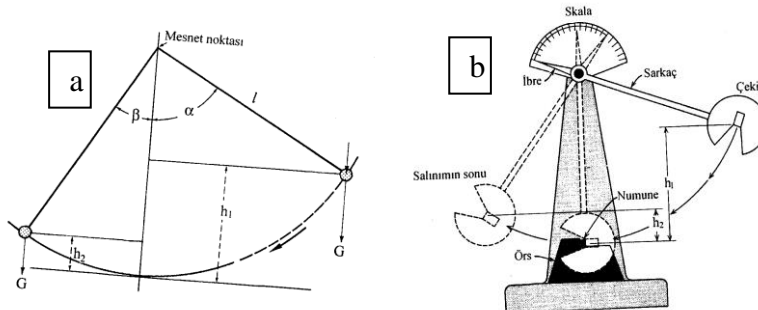
Çizelge 4.40 Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunelerin deneyi eğme sonuçları

Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma+ menevişleme	1. numune	2.numune*	Ortalama	Ssp
%0,2 şekil değişimi için harcanan yük (N)	7491,4	4640,6	6066,0	2015,8
%0,2 şekil değişimi için harcanan enerji (J)	33,6	15,7	24,6	12,7
Maksimum eğme yükü (N)	8744,6	5991,7	7368,1	1946,6
Maksimum yük uygulandığında harcanan enerji(J)	173,4	123,4	148,4	35,4

### 4.3. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Çentik darbe deneyi malzemelerin dinamik yükler karşısındaki kırılma enerjisini belirlemek için yapılan deneydir. Şekil 4.46'da gösterildiği gibi  $l$  uzunluğundaki sarkacın ucundaki  $G$  ağırlığına sahip olan çekiç belli bir  $h_1$  yüksekliğinden serbest olarak bırakılmakta ve potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşmektedir. Bu enerji de üzerinde çentik açılmış olan numunenin kırılması için harcanır. Malzeme kırıldıktan sonra sarkaç geri  $h_2$  yüksekliğine çıkar. Bu aradaki yükseklik farkına  $h$  denirse cismin çentik darbe enerjisi (kırmak için gereken enerji) değeri;

$$m \cdot g \cdot h \cdot (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (5.2)$$



Şekil 4.46 a) Çentik darbe deneyinin serbest cisim diyagramı b)Çentik darbe deneyi uygulama metodu

Şekil 4.46.b'da çentik darbe deneyinin uygulama metodu görülmektedir. Her zaman için tok ve sünek yapıya sahip olan malzemeleri çentik etkisiyle kırmak oldukça zordur. Sert malzemelerde ise çentik gibi var olan bir kusur en ufak yüklemelerde bile aniden bu kusurun büyüyerek kırılmasına neden olur. Dolayısıyla çentik darbe enerjileri düşüktür. Bu yüzden genellikle malzemenin darbe enerjisi ile tokluğu arasında doğru orantılı ilişki mevcuttur. Bunun yanında malzemenin çentik darbe enerjisi düşük sıcaklıklarda daha düşüktür. Oda sıcaklığında yüksek darbe enerjisi değeri gösteren malzemelerin eğer düşük sıcaklıkta kullanılacaklarsa darbe enerjilerinin dolayısıyla tokluğunun da düşebileceği hesaba katılmalıdır. Darbe enerjisi değerinin birden arttığı sıcaklık geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

#### **4.3.1. Kaynaksız Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları**

Çeliklerin farklı ısıl işlemlere tabi tutulması ile malzemelerde değişen içyapı ile birlikte tokluk (kırabilmek için gereken enerji) değerleri de değişmektedir. Çizelge 4.41'de Ç1040 malzemesine uygulanan ısıl işlemler, her ısıl işlem grubu için hazırlanmış olan 3 adet numunenin çentik darbe enerjisi ve bu değerlerin ortalaması görülmektedir. Çizelge 4.41'de her ayrı ısıl işlem uygulanmış malzeme grubu incelendiğinde her ısıl işlem grubu için kendi numuneleri arasında darbe enerjilerinde fazla önem arz etmeyen değişimler görülmektedir. Burada ısıl işlemsiz numunelerin ortalama darbe enerjisi değerinin 58 joule olduğu görülmektedir. Tam tavlama ısıl işlemi yapılmış numunelerin değeri ise perlitin kaba taneli yapıya kavuşmuş olmasından ve sünekliğinin artacağı bir ısıl işlem uygulanmasından dolayı ortalama darbe enerjisi değerinin 104 joule olduğu ve en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Tam tavlama ısıl işlemi yapılmış numunelerin Çizelge 4.45'de sertlik deney sonuçlarına da bakılacak olunursa ortalama 127 HV sertliği ile en yumuşak malzemeye sahip olması tokluğunun artmasına ve bu da malzemenin enerji absorbe edebilme yeteneğini arttırdığından darbe enerjisi de buna bağlı olarak arttığı düşünülmektedir. Çizelge 4.41'de normalizasyon tavlama yapılmış numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 67 joule olduğu görülmektedir. Normalizasyon tavlama ile beraber malzeme hava ortamında soğutulduğu için kısmen ince taneli olmasına rağmen yapı içerisinde mikro boşluklar içerecek şekilde ve bunun yanında

tavlama sonucunda iç gerilmelerinden arındırılmış, dislokasyonların yeniden düzenlenecek şekilde bir yapıya ulaşmış olmasından dolayı malzemenin mekanik özelliklerinde artışa neden olduğu düşünülmektedir. Böylece normalize edilmiş malzemenin tane sınırları da yeniden düzenlendiği için ısı işlemsiz nazaran çok az daha fazla enerji absorbe edebilmiştir. Gerek ısı işlemsiz gerekse de normalize edilmiş numuneler hızlı soğutma ortamlarına göre daha tok bir yapıya sahip olduğundan darbe enerjisi değeri yüksek lakin tam tavlanmış numunelere nazaran oldukça düşüktür. Ç 1040 gibi orta karbonlu numuneler östenitlendikten sonra ani soğutma ortamlarında sert ve kırılğan bir davranış sergilediği bilinmektedir. Çizelge 4.41 'e bakıldığında martenzitik yapı elde edilmiş numunelerin darbe enerjisi ortalama 8 joule olduğu görülmektedir. Malzemeler sert yapıya ulaştıklarından gevrekleşerek kırılğanlık özellikleri arttırdığı bilinmektedir. Martenzitik yapı çok gevrek bir faz olduğundan numunelerin darbe enerjisinde büyük oranda düşüş, böylece çentik hassasiyetinde aşırı artış kaydedilmektedir. Numunelerin aniden suda sertleştirilmesi sonucu çentik hassasiyeti çok zayıf hale gelmiştir. Aynı numunelere menevişleme yapıldığında ise darbe enerjisinin ancak ortalama 15 joule kadar arttığı görülmektedir. Çünkü burada menevişleme sıcaklık ve süresi oldukça düşüktür. Bu sayede martenzitik yapı elde edilmiş malzemeye ilave menevişleme yapılması malzemenin tokluğunu bir miktar artırsa da bu artış değerinin oldukça sınırlı bir değer olduğu düşünülmektedir. Malzemeler yağ ortamında daha stabil soğuma gerçekleştirirler ve ilave menevişleme işlemi yapılması da malzeme içerisindeki iç gerilmelerin kısmen giderilmesini sağlayacaktır. Fakat Ç1040 çeliğinde bulunan yaklaşık %0,4 karbon oranı bu malzemenin kısmen sertleşmesini sağlayacağından bu yapı da kısmen gevrek bir yapı oluşturacaktır. Çizelge 4.41'de görüldüğü gibi yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 44 joule olduğu görülmektedir, bu değer malzemedeki oluşan ince taneli yapılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak malzemenin sertliğiyle darbe enerjisi arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Malzemenin sertliği arttıkça çentiğe karşı hassasiyeti azalır, gevrek bir şekilde aniden kırılır. Malzeme yumuşadıkça, tokluğun artması durumunda ise kaba taneli yapıya ulaşır, bu tane yapısı da malzemenin çentiğe karşı hassasiyeti azaltır, sünek bir şekilde kırılmasını sağlar.

Çizelge 4.41 Kaynaksız numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları

<b>Çentik Darbe Enerjisi (J)</b>					
<b>uygulanan ısı işlem</b>	<b>1. numune</b>	<b>2. numune</b>	<b>3. numune</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Ssp</b>
Isıl İşlemsiz	57	58	59	58	1
Tam tavlama	98	104	109	104	6
Normalizasyon tavlı	65	68	69	67	2
Martenzitik dönüşüm	7	7	9	8	1
Martenzit + menevişleme	13	14	17	15	2
Yağda soğut + meneviş..	41	43	47	44	3

#### 4.3.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.42’de elektrot kaynaklı, uygulanan ısı işlemi göre numunelerin göstermiş olduğu darbe enerjisi değerleri ve bu değerlerin aritmetik ortalaması görülmektedir. Burada kaynak dolgu malzemesi hadde mamüle göre çok daha düşük seviyede karbon içermektedir. Sertlik deneylerinden de bilindiği üzere kaynak dolgu malzemesinin olduğu bölge ana metale göre daha yumuşak kalmıştır. Çentik de numunenin tam kaynağın ortasından Şekil 3.6 ‘da görüleceği üzere kaynak kesitini kapsayacak şekilde açıldığından, bu da enerji absorbe edebilme yeteneğini arttırdığı düşünülmektedir. Kaynak kusurları numuneden numuneye değiştiğinden standart sapma değeri de kaynaksızlara göre daha haliyle fazladır. Bunun yanında kaynaksız ile kaynaklı çentik darbe enerji değerlerini karşılaştırma yapabilmek için kaynaklı numunelerin çentik darbe enerjileri 4/3 ile çarpılıp yuvarlatılmıştır. Çünkü kaynaksız numuneler 10\*10\*55 mm ölçülerinde, kaynaklı numuneler ise 7,5\*10\*55 mm ölçülerinde işlenmiştir. Kaynaksız Ç1010 malzemesi ile Ç1040 malzemesinin darbe enerjisini karşılaştırılırdı, Ç1010 un çok daha fazla yüksek çıkacağı bilinmektedir. Burada ise kaynak dolgu metalinin karbon oranı Ç1010 un da altındadır. Tüm malzemenin karbon miktarı ise kısmen Ç 1010’un altında kısmen de Ç1040 tır. Ancak gerek kaynak dolgu malzemesi impuritelere, gaz gözeneklerine gerekse de kaynak dolgu metali ve ITAB, kılcal çatlaklara, hidrojen gevrekliğine ve yapı kusurlarına sahiptir. Bütün bu faktörler değerlendirildiğinde kaynaklı malzemenin darbe enerjisi değeri büyük oranda artması ve yapıdaki kusurlar oranında az veya çok

azalması gerekir. Bu nedenle darbe enerjisi değerindeki artışın sınırlı kalması beklenir. Kaynaklı malzeme yapı itibari ile küçük kusur ve kılcal çatlaklara sahip olduğundan hassasiyeti de fazladır. Burada aynı ortam ve şartlarda kaynak yapılan numunelerin darbe enerjilerinde kaynak kusurlarına bağlı olarak aynı ısıl işlem şartlarında darbe enerjisi değerlerinde farklılıklar olduğu görölmektedir. Darbe deneyinde çentik kaynaklı malzemede malzemenin ortasından, kaynaklı malzemede ise Şekil 3.6 a'da göröleceği üzere ana malzemeye göre daha yumuşak yapıda olan kaynak bölgesinden açılmıştır. Kaynaklı malzemelerin darbe enerji değerlerinin kaynaklıya göre daha yüksek olma sebebi ise kaynak dikişinin ana malzemeye göre daha yumuşak yapıda olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Çizelge 4.42'de elektrot kaynağıyla kaynak yapılmış ısıl işlemsiz numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 86 joule olduğu görölmektedir. Kullanılan kaynak elektrodun ürün katalog bilgilerinden alınan değere göre darbe enerjisi değerinin 80-110 joule aralığında olduğu belirtilmiştir.

[[http://www.askaynak.com.tr/contents/288/20111204191125\\_as\\_b204.pdf](http://www.askaynak.com.tr/contents/288/20111204191125_as_b204.pdf)]

Burada yapı kusurları ve kaynak hataları da göz önünde bulundurulduğunda deney numunelerinin gerçeği yansıttığı yani darbe enerjisini ortalama 86 joule kadar düşürdüğü görölmektedir. Çizelge 4.42'de tam tavlama ısıl işlemi yapılmış numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 121 joule olduğu görölmektedir. Bu artışın sebebi ise numunelerdeki kaynak esnasında meydana gelen iç gerilmelerin giderilmesi ve malzemede perlitin kaba taneli, tok yapıya kavuşmasından dolayı tok bir yapı sergilediğı düşünölmektedir. Yine aynı şekilde numunelere normalizasyon tavlama yapıldığında darbe enerjisi değerinin ısıl işlemsize göre bir miktar artarak ortalama 95 joule olduğu görölmektedir. Burada numunelerin darbe enerjisinin ısıl işlemsize göre bir miktar artmasının sebebi kaynaklıya anlatılanla aynı nedenlerden olduğu düşünölmektedir. Çizelge 4.42'de gerilme giderme tavlama yapılmış olan elektrot kaynaklı numunelerinin darbe enerjisi değerinin ise ortalama 92 joule olduğu görölmektedir. Numunelerin darbe enerjisi değeri ısıl işlemsize yakın değer gösterse de numunelerdeki iç gerilmelerin kısmen giderilmesi darbe enerjisi değerini birkaç joule arttırmıştır. Çizelge 4.42'ye bakıldığında ise martenzitik dönüşüm sağlayan ısıl işlem yapılmış numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 15 joule olduğu görölmektedir. Bu malzeme gruplarının içerisinde en düşük değere sahip olduğu ve

bunun sebebinin yapının sert ve kırılğan bir yapıya ulaşmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine de kaynaklı ile kıyaslandığında uygulanan ısı işlem sonucunda kaynak dolgu malzemesi kısmen daha az sertleştiği için darbe enerjisi kaynaklıdan çok az daha fazladır. Martenzitik dönüşüm yapılmış ve ardından numunelere menevişleme işlemi yapıldığında ise ana metalin iç gerilmeleri kısmen giderildiğinden ve kaynak dolgu malzemesi yumuşak olduğundan, kaynak metalinde menevişleme sonucu özellikle kaynak dolgu metalinde sertlik düştüğünden darbe enerjisi değerinin ortalama 28 joule olduğu görülmektedir ve bu işlemin numunedeki iç gerilmeleri bir miktar giderdiği ancak yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Çizelge 4.42’de yağda soğutulmuş numunelerin menevişlenmesi ile elde edilen darbe enerjisi değerinin ise ortalama 73 joule olduğu görülmektedir. Burada malzemelerin yağda soğutulup ilave menevişleme yapılması, ana metalin iç gerilmelerini giderecek ve bunun yanında kaynak metali de yumuşak kaldığından darbe enerji değeri daha da arttığı görülmektedir. Ayrıca yağ düşük karbonlu olan dolgu malzemesi için yüksek değerde bir sertlik sağlayabilecek bir ortam değildir ve yağda soğutulduktan sonra ilave menevişleme işlemi de yapılmıştır. Kaynak dolgu metalinin de C oranı yağda soğutma işlemiyle sertlik almayacak kadar düşük olması, ilave menevişleme darbe enerjisinin artmış olmasına etken olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.42 Elektrot kaynaklı numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları

<b>Çentik Darbe Enerjisi (J)</b>					
<b>uygulanan ısı işlem</b>	<b>1. numune</b>	<b>2. numune</b>	<b>3. numune</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Ssp</b>
Isıl İşlemsiz	82	86	90	86	4
Tam tavlama	118	122	123	121	3
Normalizasyon tavlı	89	95	101	95	6
Gerilme giderme tavlı	84	94	98	92	7
Martenzitik dönüşüm	13	14	18	15	3
Martenzit+ menevişleme	26	27	32	28	3
Yağda soğut + meneviş.	69	71	78	73	5

### 4.3.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Burada gazaltı kaynaklı numunelerin darbe enerjisi değerlerinin elektrot kaynaklı numunelerle karşılaştırılması yapılmıştır. Daha önceden de anlatıldığı gibi kaynaklı numuneler her ne kadar gaz gözenekleri ve impuritelere, soğuk çatlaklar, sıcak çatlaklar, hidrojen gevrekliği, yetersiz nüfuziyet gibi kaynak hatalarına sahip olsa ve bu hatalar darbe enerjisini düşürse de kaynak dolgu malzemesinin karbon oranı ana metale göre çok düşük olduğundan ve test edilen malzeme karbonu çok düşük malzeme ve Ç1040 karışımı olduğundan kaynaklı numunelerin darbe enerjisi değerleri kaynaksızlardan fazladır. Gazaltı kaynağında da bu durum geçerlidir. Ancak gazaltı kaynağı ile elektrot kaynağı karşılaştırılırsa; elektrot kaynağının kaynak banyosunun örtü ile kaplanması ve bunun neticesinde cüruf oluşturarak kaynak metalini geç soğutması, gazaltı kaynağının koruyucu malzemesinin sadece gaz olup banyonun katılma esnasında atmosferden korunması düzeyinin elektrot kaynağına göre biraz yetersiz kalması, gazaltı kaynak dolgu malzemesi alaşımının elektroda göre farklı olması, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 'de gazaltı ve elektrot arasındaki Mn, Si ve C farkı gösterilmiştir) ve bunun yanında kurutulmuş bazik elektrodun kaynak banyosunu H<sub>2</sub>'den koruması açısından hem gazaltı hem de rutil elektrotun üstün olması gazaltı ile kaynağı ile kaynak yapılmış olan numunelerde darbe enerjisinin elektrot kaynağına göre daha düşük kalması sonucunu doğurmuştur. Burada gazaltı kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin darbe enerjisini gösteren değerler Çizelge 4.43'de görülmektedir. Burada her ısıl işlem grubu için üç çentik darbe deney numunesinden elde edilen değerler ve bu değerlerin aritmetik ortalamaları joule cinsinden verilmiştir. Burada ısıl işlemsiz numunelerin darbe enerjisi değerinin ortalama 60 joule olduğu görülmektedir. Elektrot ile kaynak yapıp ısıl işleme tabii tutulmayan numunelerin çentik darbe değerine göre azalma olduğu Çizelge 4.43'e bakıldığında görülmektedir. Çizelge 4.42 'ye bakıldığında elektrot kaynağının anlatılan üstünlüklerinden dolayı her ısıl işlem grubu türünde birkaç joule seviyesinde fark meydana getirdiği görülmektedir. Çizelge 4.43'te malzemeye martenzitik dönüşüm işlemi yapıldığında darbe enerjisi değerinin 13 joule olduğu görülmektedir. Martenzitik yapı elektrot kaynağının gazaltı kaynağına olan üstünlüğünü ortadan kaldıracak kadar sert ve gevrek bir ısıl işlem olmasından dolayı aradaki darbe enerjisi farkını ortadan kaldırdığı düşünülmektedir.

Çizelge.4.43 Gazaltı kaynaklı numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları

<b>Çentik Darbe Enerjisi (J)</b>					
<b>uygulanan ısı işlem</b>	<b>1. numune</b>	<b>2. numune</b>	<b>3. numune</b>	<b>Ortalama</b>	<b>SSP</b>
Isıl İşlemsiz	55	62	64	60	5
Tam tavlama	91	94	96	94	3
Normalizasyon tavı	58	62	65	62	4
Gerime giderme tavı	65	65	72	67	4
Martenzitik dönüşüm	11	13	14	13	2
Martenzit + menevişleme	23	24	26	24	2
Yağda soğut + meneviş	51	55	57	54	3

#### **4.4. Sertlik Deneyi Sonuçları**

##### **4.4.1. Kaynaksız numunelerin sertlik deneyi sonuçları**

###### **4.4.1.1. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları**

Isıl işlemsiz numunenin beş farklı noktasından alınan Vickers cinsinden sertlik değerleri ve bu değerlerin ortalaması Çizelge 4.44' de görülmektedir. (Demir ve ark., 2011) yaptıkları çalışmada Ç 1040 çeliğinin 194 HV sertlik değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Burada ise ortalama sertlik değeri bu değere çok yakın değer olarak 192 Hv olduğu görülmektedir. Isıl işlem görmemiş numunenin sertlik değeri haddeden çıkmış mamül olmasından dolayı alınan noktalar arasında fazla bir değişim görülmemektedir.



Çizelge 4.44 Kaynaksız, ısıl işlemsiz numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)							
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	Ortalama	Ssp
Üst yüzey sertlikleri	190	197	190	190	194	192	3

#### 4.4.1.2. Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Tam tavlama yapılmış numunenin sertlik değeri Çizelge 4.45’de ortalamasının 127 HV olduğu görülmektedir. Tam tavlama işlemi sayesinde malzemenin yumuşatılması, bunun sonucunda da şekillendirebilme yeteneğinde artış sağlanır. Ç 1040 çeliğinde oda sıcaklığında %50 ferrit %50 perlit bulunmaktadır. Ferrit çok yumuşak bir fazdır dolayısıyla sertliği belirleyen temel unsur perlit tanelerinin durumudur. Uygulanan ısıl işlem çok yavaş soğumayla gerçekleştirilmiştir, dolayısıyla ZSD diyagramını gösteren Şekil 2.8’e bakılacak olunursa perlit iri tanelidir ve bundan dolayı sertlik 127 HV’ye kadar düşürülmüştür. Ayrıca fırın içinde bir miktar karbon yanması olabileceği de düşünülmektedir. Tam tavlama işlemi atmosfer kontrollü fırında yapılmadı. Noktalar arasındaki sertlik değerlerinin farklılaşmasının nedeni de ısıl işlem sonucunda perlit tane büyüklüklerinin farklı olması ve karbon yanması miktarının lokal olarak farklılık göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.45 Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)							
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	Ortalama	Ssp
Üst yüzey sertlikleri	128	132	120	117	139	127	8

#### 4.4.1.3. Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Normalizasyon tavlamasında numuneler havada soğutulduğu için soğuma hızı nispeten yüksektir. Normalize edilmiş çeliklerde kısmen ince taneli perlitik yapı elde edilir. Çünkü hava kısmen hızlı soğutma ortamı olmasından dolayı Şekil 2.8'deki ZSD diyagramına bakılacak olunursa kısmen ince taneli perlitik yapı elde edilmiştir. Burada ise Çizelge 4.46 'ya bakılacak olunursa normalizasyon tavı görmüş Ç1040 malzemesinin sertlik değeri ortalamasının 208 HV olduğu görülmektedir. Tane yapısı kısmen daha ince olan perlit taneleri yapı içerisinde daha homojen dağıldığından noktalar arasındaki sertlik farkı tam tavlamaya göre daha az olduğu görülmektedir. Isıl işlemsiz ile normalize edilmiş Ç 1040 çeliğinin ısıl işlem görmemiş sertlik değerine çok yakın olmasının nedeni ısıl işlemsiz malzemede haddeleme esnasında kısmen normalizasyon tavı görerek üretilmiştir. Fakat normalize edilmiş malzemede ilave bir normalizasyon işlemi de gördüğü için taneler, dislokasyonlar yeniden düzenlenmiş, iç gerilmeler kısmen daha fazla giderilmiştir. Normalize edilmiş çeliğin sertlik değerinin biraz fazla olmasının nedeni bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.46 Kaynaksız, normalizasyon tavı yapılmış numunenin sertlik(HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)							
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	Ortalama	Ssp
Üst yüzey sertlikleri	201	209	205	215	208	208	5

#### 4.4.1.4. Kaynaksız, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.47'de martenzitik yapı elde edilen numunenin yüzey, ara kesit sertlik değerleri ve bu değerlerin ortalaması verilmiştir. Burada sertliği ölçülen beş farklı noktanın birbirleri arası sertlik değerinde farklılık gözükmektedir. Bunun nedeni suda

soğutma esnasında ısı transferinin homojen olmamasından ötürü, numunenin değişik bölgelerinde kalıntı östenit miktarının değişme ihtimalinden dolayı numunenin noktalar arasındaki sertliğinin değişken olduğu düşünülmektedir. Martenzitin çok sert bir faz olduğu bilinmektedir. 1040 çeliğinde 850 °C’de tavlanylıp sonrasında yalnızca suda soğutulması sonucunda elde edilebilir maksimum sertlik değerlerine yaklaşılmaya çalışılmıştır. Numunenin üst yüzey sertlik değerinin ortalama 762 HV ve ara kesit sertlik değerinin 547 HV olduğu görülmüştür. Numunenin merkezinde sertlik değerinin düşmesinin nedeni numunenin iç kısmına doğru gidildikçe ısı iletim direnci nedeniyle soğuma hızının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.47 Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)							
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	Ortalama	Ssp
Üst yüzey sertlikleri	756	758	753	772	770	762	8
Ara kesit sertlikleri	533	543	556	541	560	547	10

#### 4.4.1.5. Kaynaksız, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.48’de martenzitik yapı elde edilmiş ve ardından 350°C’de 3 saat süreyle menevişleme tavına tutulmuş olan numunenin yüzey ve ara kesit sertlik değerleri görülmektedir. Martenzitik dönüşüm işleminde malzemeler çok sert ve kırılğan bir yapıya ulaşmaktadır. Bu durumun olumsuzluklarını giderebilmek amacıyla malzemeyi belirli sürede dönüşüm sıcaklığının altında tavlayıp martenzite göre daha tok ve yumuşak yapı elde edilmesi sağlanır. Şekil 2.12.b’de menevişleme süre ve sıcaklığının sertliğe olana ilişkisi gösterilmektedir. Kuramsal temeller kısmında Şekil 2.12.b’ye bakılacak olunursa tamamen martenzit yapılmış malzemeye 350°C’de 3 saat süreyle menevişleme yapılırsa malzemenin sertliği 50-51 HRC (515-525 HV) olduğu görülmektedir. Burada ise ister istemez martenzitik dönüşüm esnasında

kalıntı östenit ihtiva ettiği düşünülmesine rağmen 49-50 HRC (506 HV) 'ye karşılık gelen bir sertlik değeri elde edilmiştir. Ara kesitten alınan sertlik değerlerindeki düşme ise sadece suda soğutma işlemine göre daha az olduğu görülmüştür. Öyle ki menevişleme sonucunda üst yüzey ile ara kesit arasındaki sertlik farkı yaklaşık Çizelge 4.47 ve Çizelge 4.48'den görüleceği üzere 215 HV'den 116 HV'ye düşmüştür. Bu da numunenin menevişlenmesi sonucunda biraz daha homojen, iç gerilmeleri azalmış bir içyapıya dönüştüğünü göstermektedir.

Çizelge 4.48 Kaynaksız, martenzitik dönüşüm + menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)								
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	ortalama	Ssp	
Üst yüzey sertlikleri	530	486	532	499	484	506	21	
Ara kesit sertlikleri	384	402	369	400	397	390	12	

#### 4.4.1.6. Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Yağda soğutulup menevişleme yapılmış numunenin yüzey ve ara kesit sertlik değerleri Çizelge 4.49'da verilmiştir. Şekil 2.8'deki ZSD diyagramına bakılırsa, Ç1040 çeliği için yağda soğutulma esnasında perlit burnunu kestiği görülmektedir. Bu yüzden elde edilen sertlik değerleri martenzite göre oldukça düşüktür. Ancak numunede perlit ince taneli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden 40 HRC (420 HV) civarı bir sertlik beklenmekteydi ancak numunelere ilave menevişleme yapıldığından dolayı 30 HRC (340 HV) civarı sertlik değeri elde edildiği görülmektedir. Burada malzemenin üst ve ara kesit sertlik değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Yağda soğutma esnasında buhar filmi daha az oluşmasından, dolayı daha stabil bir soğutma sağlamaktadır ve bunun neticesinde numunenin sertliğinin tüm kesitte daha homojen olmasını sağladığı görülmektedir. Ayrıca numuneye

ilaveten menevişleme yapılması da numunenin tüm kesit boyunca daha homojen sertlik değeri elde edilmesinde ve daha tok yapıya kavuşmasında ilave katkısı olduğu da düşünülmektedir.

Çizelge 4.49 Kaynaksız, yağda soğutma+menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)							
Sertlik alınan noktalar	1. nokta	2. nokta	3. nokta	4. nokta	5. nokta	ortalama	Ssp
Üst yüzey sertlikleri	317	337	343	353	356	341	14
Ara kesit sertlikleri	345	316	325	356	341	337	14

#### 4.4.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Sertlik Deneyi Sonuçları

Bu kısımda elektrot kaynağıyla kaynak yapılmış ısıl işlemsiz ve daha sonra çeşitli ortamlarda ısıl işlem yapılmış numunelerin üst yüzey ve yanal kesit bölgelerinden ölçülen sertlik değerleri değerlendirilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri ise üst yüzey kaynak metal bölgesinden ve birbiriyle kaynakla birleştirilmiş iki ayrı ana metalin üst yüzeyinden, malzemenin yanal kesitinden ise kaynak dolgu metal, ergime çizgisi (sağ ve sol), ITAB kaba taneli (sağ ve sol ergime çizgisinin 2 mm dışı), ITAB ince taneli (sağ-sol ergime çizgisinin 7 mm dışı) ve ana metal (sağ-sol ergime çizgisinin 17 mm dışı) uzaklığından alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

##### 4.4.2.1. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Elektrot ile kaynak yapılmış ve ısıl işlem uygulanmamış numunenin üst yüzey ve yanal kesit sertlik değerleri Çizelge 4.50’de görüldüğü gibi değişmektedir. Burada kaynak dolgu malzemesinin ergime çizgisi ve ana metalden daha düşük değer olarak üst yüzey ve yanal kesit sertlik değerleri sırayla 196, 173 HV olduğu görülmektedir.

Kaynak dolgu metalinin ana metale göre daha yumuşak bir yapıda kalması, elektrot kaynağının yapısal özelliğinden dolayı kaynak banyosunun örtü ile kaplanarak yavaş soğuması, kaynak dolgu metalinin kimyasal bileşimindeki karbon oranının düşük olması ve de tanelerinin daha iri olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sağ-sol ergime çizgisinin ana metale yakın değer alarak 217, 208 HV olması ise kaynak esnasında numunenin belirli bir sıcaklığa kadar ısınıp hava ortamında normalizasyon tavlmasına yakın bir ısı işlem görmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. ITAB ince taneli bölgenin ITAB kaba taneli bölgeden çok az daha fazla sert olması normaldir. Sertlik değerleri kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ana metalin sertliğine yaklaştığı Çizelge 4.50 ' de görülmektedir.

Çizelge 4.50 Elektrot kaynaklı, ısı işlemisiz numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	224				196				227
Yanal kesit	221	220	208	208	173	217	217	222	223

#### 4.4.2.2. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Tam tavlama yapılmış elektrot kaynaklı numunenin sertlik değerleri Çizelge 4.51'de görülmektedir. Kaynak dolgu malzemesi ana metale göre daha düşük değer alarak üst ve yanal kesit değerleri sırasıyla 165, 119 HV değeri almıştır. Kaynak bölgesinin sağ, sol tarafından ve kaynak dolgu malzemesinden ölçülen sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Tam tavlama işlemi sayesinde ana metal ve ITAB'ın her tarafı zaten kaba taneli yapıya dönüşmüştür. Bunun neticesinde ITAB ve ana metalin sertliğinin birbirine yakın değerler alması normaldir. Yine de kaynak esnasında ince taneli yapıya dönüşmüş olan bölgenin geri kalan her yerden biraz daha sert olması da normaldir. Burada malzemenin üst yüzeyi ile yanal kesit sertlik

değerleri arasındaki fark dikkat çekmektedir. Buradaki fark ise numunenin üst yüzey ve yanal kesitteki tane boyutu farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu farklılığı meydana getiren temel unsurun ise üst yüzey daha geniş temas alanına sahip olduğundan fırında soğuma esnasında fırın içerisindeki havaya daha fazla maruz kalıp soğuma esnasında daha fazla ısı transferine maruz kalarak daha hızlı soğumasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle numunenin üst yüzeyinin daha hızlı soğuyup kısmen daha ince taneli yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.51 Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin sertlik(HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	182				165				185
Yanal kesit	120	127	122	120	119	121	118	131	113

#### 4.4.2.3. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Normalizasyon tavlamasında kaynak dolgu malzemesi sonradan yapılan ısıl işlemin fazla sertlik arttırıcı bir işlem olmamasından dolayı normalizasyon ısıl işleminden fazla etkilenmemiş ısıl işleme yakın çıktığı düşünülmektedir. Hem ana metal hem de ITAB'ın ısıl işlem sayesinde kısmen ince taneli yapıya kavuşması beklenir. Bu nedenle ITAB ince taneli ile ana metalin sertliğinin hemen hemen aynı olması normaldir. ITAB kaba taneli bölge ise çok az daha kaba taneli olması beklendiğinden biraz daha sertliği düşük çıkmıştır. Normalizasyon işleminde numuneler açık havada soğutuldu. Bu nedenle üst yüzeyin yanal yüzeye göre daha geniş alana sahip olduğundan havada daha hızlı soğumasından dolayı üst yüzeydeki tanelerin yanal kesite göre daha ince taneli olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında Çizelge 4.52 ve Çizelge 4.46'e bakarak kaynaklı normalize edilmiş numuneyle kıyaslanırsa üst yüzey sertliğinin kaynaklıdan fazla yanal kesitte ise sertliğin daha az olduğu

görülmektedir. Yanal kesitin daha dar kesit alanına sahip olduğundan soğuma esnasında daha yavaş soğuduğu bu yüzden tanelerin inceltildiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.52 Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	239				186				243
Yanal kesit	168	167	161	155	160	161	158	169	171

#### 4.3.2.4. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Gerilme giderme tavı dönüşüm sıcaklığının altında, malzemede herhangi bir allotropik dönüşüm olmadan 600°C’de 1 saat tavlama ve fırında 300°C’ye kadar yavaş soğuması sağlanarak yapılmıştır. Burada esas amaç kaynak esnasında malzemede oluşan iç gerilmeleri gidermektir. Burada ise kaynak bölgesinin sertlik değeri üst yüzey ve yanal kesitte sırasıyla 198 HV ve 185 HV olduğu görülmektedir. Çizelge 4.53 ve Çizelge 4.50 ‘ye bakılacak olunursa özellikle kaynak dolgu malzemesi, ergime çizgisi ve ITAB kaba tane bölgesinin sertliğinin kısmen arttığı görülmekte, bunun nedeni ise gerilme giderme tavlamaısının kısmen safsızlıkları düzenlemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yanal kesitte ITAB bölgesinden uzaklaştıkça numunenin sertlik değerlerinde azalma olduğu aynı şekilde görülmektedir. Ana metal malzemesi için düşünülecek olunursa malzeme dönüşüm sıcaklığının altında bile olsa belirli oranda ısı gördüğü için sertliği ısı işlemsiz numuneye göre çok az oranda azalmış olduğu görülmektedir.



Çizelge 4.53 Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)										
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal	
Üst yüzey	232				198				236	
Yanal kesit	192	208	215	217	185	223	221	214	201	

#### 4.4.2.5. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Kullanılan kaynak dolgu metalinin karbon içeriği daha önce de anlatıldığı üzere Ç1040 çeliğine göre daha düşüktür. Martenzit fazı tamamen malzemeyi östenit yapısına kavuşması için gereken sıcaklığa çıkartıp hızlı soğutma (su verme) sonucunda karbon içeriğine bağlı olarak aşırı doymuş karbon çözümlü HMT faza verilen addır. Kaynak metalinin içeriği Ç 1040 çeliğinden farklı olup ısıl işlem görmemiş iki çeliğin birbirine uyum sağlamasını sağlayan ıslanabilirliği yüksek dolgu metalidir. Dolayısıyla kaynak dolgu metalinin ana metal kadar sertlik alamaması karbon içeriğinden dolayı doğal karşılanmalıdır. Ergime çizgisi ise geçiş bölgesi olduğundan kaynak dolgu metalinden biraz etkilendiği için ana metale göre çok az sertliğinin daha az olduğu düşünülmektedir. Lakin işlem çok sert bir yapı elde etmeyi sağlayacak şekilde olduğundan belli bir sertliğe çıkabilmiştir. Kaynak dolgu malzemesinin dışında ise sertlik doğal olarak çok fazladır. ITAB kaba taneli bölgenin sertliği Ç 1040 malzemesinin suda soğutulmasıyla elde edilebilecek maksimum seviyededir. Lakin ITAB'ın ince taneli bölgesi ısıl işlem öncesinde kaynak etkisiyle ince taneli yapıya dönüşmüştü, bunun üzerine ilave olarak sertleştirme işlemi uygulandı. Neticede ITAB ince taneli bölgede karbonların kristal kafes içerisinde çok sıkı bir şekilde hapsediği düşünülmektedir. Bunun sonucunda ITAB ince taneli bölge Ç1040 için beklenebilir sertliğin de üzerine çıkmıştır. ITAB ince taneli bölgeden uzaklaşıp ana metale doğru gelindikçe bu durumun etkisinin azaldığı ve sertlik değerlerinin beklenebilir değerlerde olduğu görülmektedir. Yanal kesit boyunca numunenin üst yüzeyine göre daha sert olduğu görülmektedir. Suyun daha

dar kesit olan yanal kesitte daha etkin basınç oluşturarak soğutma sağladığı düşünülmektedir. İki numune arasındaki sertlik farkı ise aynı kimyasal yapıya sahip malzemeler olmamasından dolayı farklı sertlik değerleri almıştır.

Çizelge 4.54 Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metal	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	615				522				686
Yanal kesit	825	892	857	850	772	825	853	873	847

#### 4.4.2.6. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Martenzitik dönüşüm yapılan numune ilave olarak 350°C’de 3 saat süreyle menevişlenmiştir. Bunun sonucunda gerek ana malzeme gerek ITAB gerekse de kaynak dolgu metalinin sertliğinde düşüşler gözlenmiştir. İki işlem de (martenzit + menevişleme) tüm numunede uygulandığı için sertlik dağılımı martenzitik dönüşüm (suda soğutma) işleminde anlatılana benzer olduğu görülmektedir. Yalnız kaynak dolgu metalinin menevişleme sonucunda sertliğindeki azalma miktarı ana metalden daha fazladır. Bu da kaynak metal malzemesinin karbon oranı oldukça düşük olduğundan ısı işlem yapmaya yeterince uygun olmadığı göstergesi olduğu düşünülmektedir. Normal çelik malzemeler (özellikle alaşımlı çelikler) martenzitik dönüşüm işleminden sonra iç gerilmeleri atabilmesi ve işletme ortamında emniyetli çalışabilecek duruma gelebilmesi için muhakkak menevişlenir. Sertlikte de biraz düşme olur ama çok da düşmez. Lakin kaynak dolgu metalinin özellikle C oranının azlığı nedeniyle ısı işlem yapmaya uygun olmadığı için menevişleme işleminden sonra sertliği daha fazla düşmüştür.

Çizelge 4.55 Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	478				407				495
Yanal kesit	547	549	520	531	419	541	500	547	533

#### 4.4.2.7. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Yağ ortamında soğutulan malzemenin soğuma hızı su ortamına göre daha düşüktür. İlave olarak da menevişleme yapıldığından sertlik daha da düşmüştür. Kaynak dolgu malzemesi için değerlendirme yapılacak olunursa bu kadar az karbon içeren dolgu malzemesinin yağ gibi etkin olmayan bir soğutma ortamında soğutulması ve ilave menevişleme yapılması ile sertlik almayacağı aşikar olduğu düşünülmektedir. Ana metal numunesinde ise yağda soğutma ve ilave menevişleme işlemiyle normal koşullarda alması gerektiği kadar sertlik aldığı görülmektedir. ITAB kaba tane ve ergime çizgisinin ise geçiş bölgesi olduğu için sertliğinin ana metale göre biraz düştüğü görülmektedir. Ayrıca tıpkı suda soğutmada olduğunda gibi yanal kesit daha dar olduğundan yağ daha fazla sıvı basıncı oluşturup yanal kesitte az miktarda da olsa daha fazla sertleşme sağlamıştır.

Çizelge 4.56 Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	310				211				303
Yanal kesit	341	332	325	300	222	313	336	358	353

#### 4.4.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Sertlik Deneyi Sonuçları

Gazaltı kaynağıyla kaynak yapılmış numunelerin geneli ısıl işlem gruplarına göre kıyaslandığında elektrot ile kaynatılan numunelerle yaklaşık benzer sonuçlar görülmektedir. Bazı deney gruplarındaki farklılıklar ise gazaltında kullanılan kaynak metodunun yani kaynak banyosunun elektrotta olduğu gibi cüruf tabakası ile korunmadan direk gaz ortamında korunmasından kaynaklandığı, bu yolla daha hızlı soğumasından ve bunun yanında gazaltı kaynak telinin kimyasal içeriğinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buradaki sonuçlar, elektrotla kaynak işleminde elde edilen sonuçlarla birebir karşılaştırılma yapılarak yorumlanmıştır.

##### 4.4.3.1. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Kaynak metalinin dolgu malzemesi gazaltı kaynağında elektrot kaynağındaki dolgu malzemesine göre farklıdır. Bunun yanında gazaltı kaynağı ile kaynatılmış kaynak banyosu atmosferle temas halinde olduğundan ve bu nedenle elektrot kaynağında olduğu gibi koruyucu örtüye sahip olmadığından dolayı kaynak banyosu daha hızlı soğumaktadır. Bunun neticesinde gazaltı kaynak dolgu metalindeki tanelerin elektrot kaynağına nazaran kısmen daha ince taneli olup elektrot dolgu metaline göre çok az bir sertlik artışı gözlemlendiği Çizelge 4.57 ve Çizelge 4.50'den görülmektedir. Ana metalde ise tek fark oluşturan unsurun ITAB'ın ısı girdisinden kaynaklanan fark

olduğu düşünölmektedir. ITAB'dan uzak bölgelerde ise sertlik değeri Çizelge 4.50'den de göröleceği üzere elektrot kaynağına çok yakındır.

Çizelge 4.57 Gazaltı kaynaklı, ısıt işlemsiz numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	232				201				237
Yanal kesit	211	219	221	237	190	214	209	202	216

#### 4.4.3.2. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Kaynak metalinin dolgu malzemesi gazaltı kaynağında elektrot dolgu malzemesine göre farklıdır. Bu farklılık cüzzi miktarda karbon ve bunun yanında silisyum ve mangan miktarının gazaltı kaynak dolgu malzemesi olan SG2 telde daha fazla olduğu Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.3'de görölmektedir. Bunun yanında daha önce bahsedilen gazaltındaki kaynak banyosunun hızlı soğumasının da sertlik değerinin çok az daha fazla çıkmasında etken olduğu düşünölmektedir. Bu nedenle kaynak dolgu malzemesi tam tavlama işleminde elektrot kaynağına göre biraz daha az yumuşadığı Çizelge 4.51'den görölmektedir. ITAB için de sertlik farklı ısı girdisi farklılığından kaynaklandığı düşünölmektedir.

Çizelge 4.58 Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	178				171				180
Yanal kesit	122	126	132	137	131	126	118	118	116

#### 4.4.3.3. Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Kaynak banyosunun sertliği ile ilgili, elektrot kaynağı ile arasındaki farklılıklar daha önce tam tavlama anlatılan farklılıklar aynen geçerlidir. Bunun neticesinde kaynak dolgu metali ısıtılma işleminden önce kaynak yapılması esnasında daha hızlı soğuyup daha fazla sertlik elde edilmiştir. ITAB kaba taneli bölgenin sertliği de kaynak esnasındaki ısı girdisi farkından kaynaklanmaktadır. Ana metal ve üst yüzeyle ilgili sertlik sonuçları da elektrot ile kaynak yapıp normalize edilmiş numunedeki değerlere benzer olduğu Çizelge 4.59 ve Çizelge 4.52’den görülmektedir.

Çizelge 4.59 Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	257				185				252
Yanal kesit	158	159	162	163	185	166	164	163	159

#### 4.3.3.4. Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Gerilme giderme tavlama yapılmış olması sayesinde gazaltı kaynak telinin örtülü elektrota göre alaşım farklılığı ve hızlı soğumadan meydana gelmiş olan sertlik artışı sonucunu tamamen ortadan kaldırmış olduğu Çizelge 4.60 ve Çizelge 4.53'den görülmektedir. Buradan da gerilme giderme tavlama uygulamasının kaynak dolgu metalinin hızlı soğumasından dolayı biraz daha sert olan gazaltı kaynağında elektrot kaynağına nazaran daha etkin sonuç verdiği ve bu sayede kaynak dolgu metalini yumuşattığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.60 Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	219				164				229
Yanal kesit	201	200	205	208	146	201	204	203	202

#### 4.4.3.5. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Üst yüzeyde gazaltı kaynak metalinin sertliğinin düşük çıkmasının nedeni gazaltı kaynak banyosunun katılaşması sırasında impuritelere (safsızlıkların ve gözeneklerin) malzemenin üst yüzeyine yani kaynağın en son katılaştığı bölgeye yığılmış olduğu düşünülmektedir. Burada bunun yanında gazaltı kaynağının atmosferden korunma farkının etkisi olduğu düşünülmektedir. Bunun da gazaltı kaynağında en üst yüzeyin yeterince sertlik almadığı sonucunu meydana getirdiği düşünülmektedir. Kaynak dolgu metalinin yanal kesit sertliğini elektrotla kıyaslanırsa gazaltı kaynak teli ve örtülü elektrotun yapısal farklılıklarından meydana gelen

kaynak esnasındaki soğuma hızı farkı, kaynaktan sonra çok sert bir işlem olan suda soğutma (martenzitik dönüşüm) işlemi uygulandığından etkinliğini tamamen yitirdiği düşünüldüğünden yanal kesit sertliği daha yüksek çıkmamıştır. Yanal kesitteki sertlik dalgalanması ile ilgili bilgiler elektrot kaynağında anlatılan etkilerle aynı sebeplerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.61 Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	581				475				650
Yanal kesit	827	903	803	795	772	772	790	884	787

#### 4.4.3.6. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deneyi Sonuçları

Martenzitik dönüşümünde bahsedilen gazaltı, elektrot arasında anlatılan sertlik farklılıkları burada da geçerlidir.

Çizelge 4.62 Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)									
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal
Üst yüzey	460				360				453
Yanal kesit	548	555	540	538	472	542	533	551	543



#### 4.4.3.7. Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Sertlik Deney Sonuçları

Gazaltı kaynağında elde edilen sertlik değerlerinin değişimi elektrot kaynağındaki değişime benzerdir. Dolgu malzemeleri arasındaki farklılıklar neticesinde elde edilen sertlik değerleri arasındaki farklılıklar kaynak dolgu metalinin hızlı soğuması ve kimyasal içerik farklılığından kaynaklansa da birbirleri arasındaki sertlik farklılığı daha sonra yapılan yağda soğutma ısıl işlemi neticesinde kısmen azalmıştır. Bunun yanında ITAB bölgesi ve ana metal elektrot kaynağıyla kıyaslanırsa benzer etkiler aynı şekilde söz konusudur. Bunun yanında Çizelge 4.63’de görülen birbirleriyle gazaltı kaynaklı iki ayrı ana metaldeki ve ITAB ince taneli bölgedeki sertlik değerlerinin kaynak yapılan iki ayrı metalde bu derece fark etmesinin nedeni, iki ayrı malzeme arasındaki küçük kimyasal farklılıklar olabileceğinden ve bu yüzden yağ nüfuziyetinde farklılık oluşması ve neticede ısı transferi farklılığına yol açtığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.63 Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin sertlik (HV) sonuçları

Elde Edilen Sertlik Değerleri (HV)										
Sertlik alınan noktalar	Ana metal	ITAB ince tane	ITAB kaba taneli	Ergime çizgisi	Kaynak dolgu metali	Ergime çizgisi	ITAB kaba taneli	ITAB ince tane	Ana metal	
Üst yüzey	362				220					341
Yanal kesit	353	350	340	321	230	320	320	332		329

#### 4.5. Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

Çalışmanın bu kısmında mikroyapı numunelerinden alınan fotoğraflardan elde edilen tane yapıları, gözlemlenen fazlar değerlendirilmiştir. Mikroyapı fotoğraflarında her zaman yanal yüzeyden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Kaynaksız numunelerde iki tane optik fotoğraf, bazı numunelerde ise SEM fotoğrafı, kaynaklı numunelerde

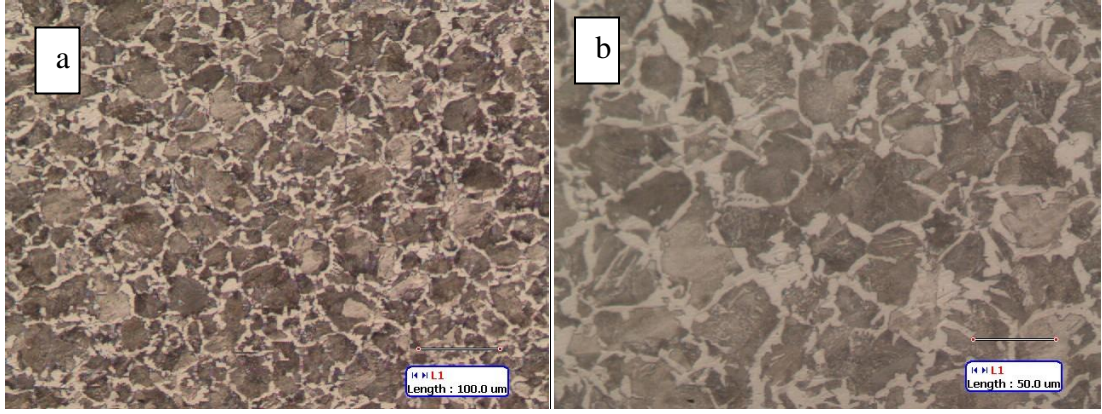
ise kaynak dolgu metali, ergime çizgisi ve aynı resimde ITAB kaba tane birarada, ITAB ince tane ve herhangi bir mikroyapı dönüşümü göstermemiş olan ana metal malzemesinin optik ve SEM fotoğrafları beraber değerlendirilmiştir.

#### **4.5.1. Kaynaksız Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri**

Kaynaksız numunelerde 10\*30\*50 ebadındaki numunenin 50 mm uzunluğundaki aynı zamanda hadde yönü ve kesit boyunca homojen olan yanal yüzdeki rastgele noktalardan alınan mikroyapı görüntüleri değerlendirilmiştir.

##### **4.5.1.1. Kaynaksız, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi**

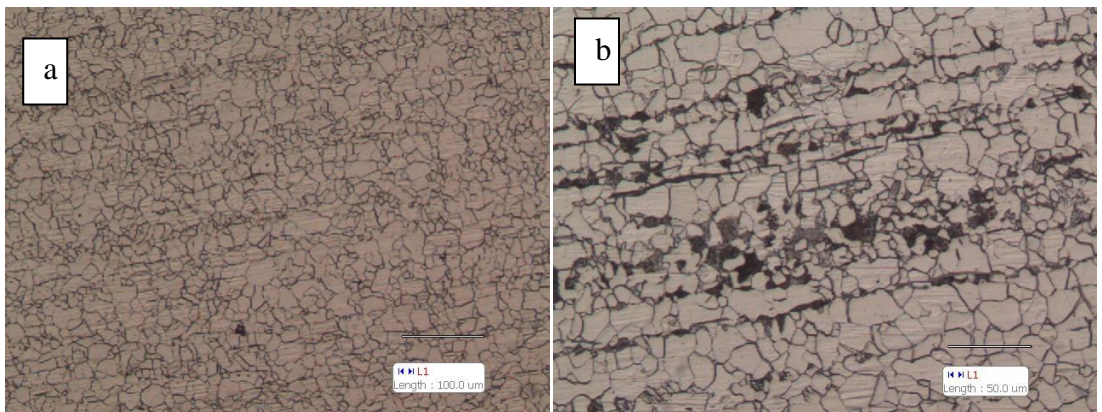
Şekil 4.47’de herhangi bir ısıl işlem görmemiş olan numunenin farklı boyutlarda iki adet mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Genel olarak siyah bölgeler perlit beyaz bölgeler ise ferrittir. Alaşım elementi çok az miktarda içerdiğinden bu alaşım elementlerinin de ferrit içerisinde çözüldüğü düşünülmektedir. Yapı içerisinde %0,4 civarında karbon bulunduğundan perlit ve ferrit oranı birbirine çok yakındır. Şekil 4.47 ‘de görüleceği üzere beyaz bölgeleri içeren ferrit teorik olarak çok çok düşük karbon çözebilirliğe sahiptir ve tane sınırlarına dağılmıştır. Genel olarak yapı hadde mamulü lama olduğundan mikroyapı oldukça düzenlidir. Perlit için genel bir değerlendirme yapılacak olunursa sementit ve ferritin lamelli yapısıdır ve %100 perlit bulunması halinde çelik %0,8 karbon çözünürlüğüne sahiptir. Burada ise numuneler %0,4 karbon içermektedir. Şekil 4.47’deki perlit bölgeleri değerlendirilecek olunursa genel olarak koyu renkli bölgelerdir. Fakat bazı bölgeler siyah bazı bölgeler ise açık kahverengi olduğu görülmektedir. Siyah bölgelerin daha fazla sementit lameli içerdiği, açık kahverengi bölgelerin ise daha az sementit lameli içerdiği düşünülmektedir.



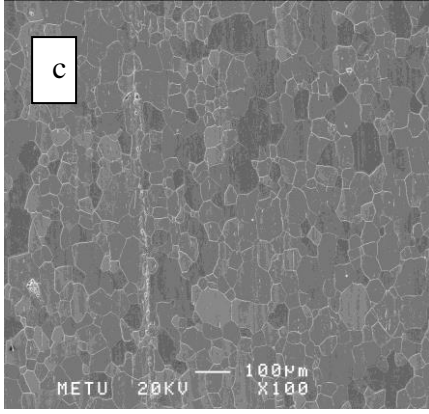
Şekil 4.47 Kaynaksız, ısı işlemsiz numunenin mikroyapı görüntüleri a) x100, b) x200

#### 4.5.1.2 Kaynaksız, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Tam tavlama ısı işleme esnasında malzemede meydana gelen mikroyapı dönüşümleri kuramsal temellerde anlatıldığı üzere; öncelikle dönüşüm sıcaklığının üzerinde tavlama sonucunda perlit östenite dönüşürken ferrit yapıda aynen kalmakta, sonrasında malzeme belirli bir süre bu sıcaklıkta tavlандığından yapı tamamen ince taneli östenite dönüşmekte, sonradan da çok yavaş soğuması sonucunda östenit yapı kararlılığını kaybederek yapı tamamen ince taneli ferrit ve ayrı bölgeler halinde malzemenin yumuşamasının da etkisiyle kaba lamelli perlitik yapı elde edilmektedir.



Şekil 4.48 Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri a) x100, b) x200, c) SEM x100

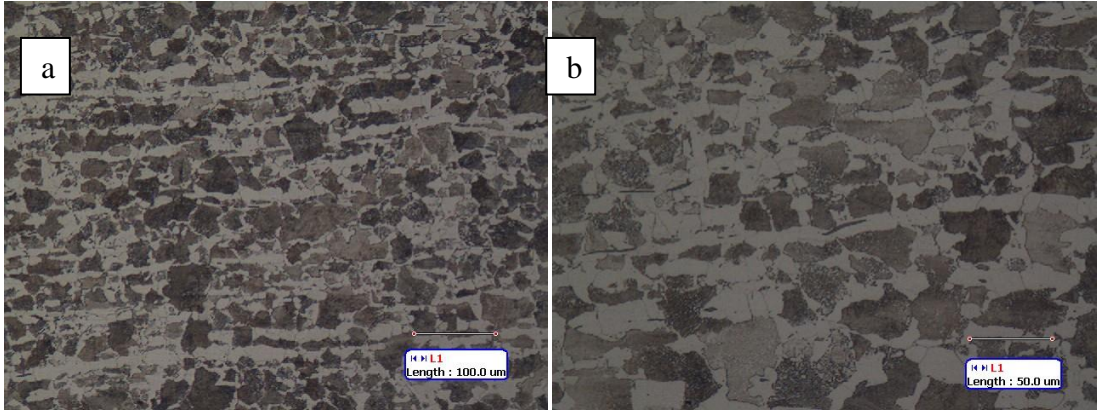


Şekil 4.48 (devam).

Isıl işlemler materyal metot kısmında da değinildiği üzere atmosfer kontrollü ısı işlem fırınlarında gerçekleştirildi. Ancak tam tavlama işlemi yüksek maliyeti sebebiyle atmosfer kontrollü fırında yapılamadı. Bu nedenle de numuneler uzun bir süre yüksek sıcaklıkta oksijene maruz kaldı. Bunun sonucunda belirli bir oranda karbon yanması meydana geldiği Şekil 4.48'den de anlaşılmaktadır. Numunelerdeki sertlik değerlerindeki düşme nedenlerinden birisinin bu olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.48 a'da karbon yanması etkili olmuş ve yapı ince taneli östenitin yavaş dönüşümü sonucunda büyük oranlarda ince taneli ferrite dönüşmüş, bunun yanında az miktarda perlit bölgeleri de gözlenmektedir. Şekil 4.48 b'de ise karbon yanması Şekil 4.48 a kadar etkili olamamış ve bunun sonucunda ince taneli ferritin yanında kaba lamelli perlitik yapı da görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere yanal kesit boyunca karbon yanmasının lokal bölgeler halinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Tam tavlama işlemi sırasında numunelere fırında soğumanın etkisiyle uzun süreli ısı enerjisi uygulanmış, bu enerji de tanelerde difüzyona yol açmış ve bu sayede tanelerin hadde yönünde dizildiği özellikle Şekil 4.48 b'de görülmektedir. Şekil 4.48 c'de ise sem fotoğrafı görülmektedir. Burada açık renkli bölgeler ince taneli ferritik yapıda olduğu koyu renkli bölgelerin ise kaba lamelli perlitlerden oluştuğu görülmektedir.

Tam tavlama işlemi çalışması atmosfer kontrollü fırında yapılmadığından karbon yanmasından şüphe edilmiştir. Bunu ispatlamak amacıyla, eni 30 mm olan ve yanal kesitten mikroyapı alınmış olan numunenin eni 15 mm'ye düşürülecek şekilde

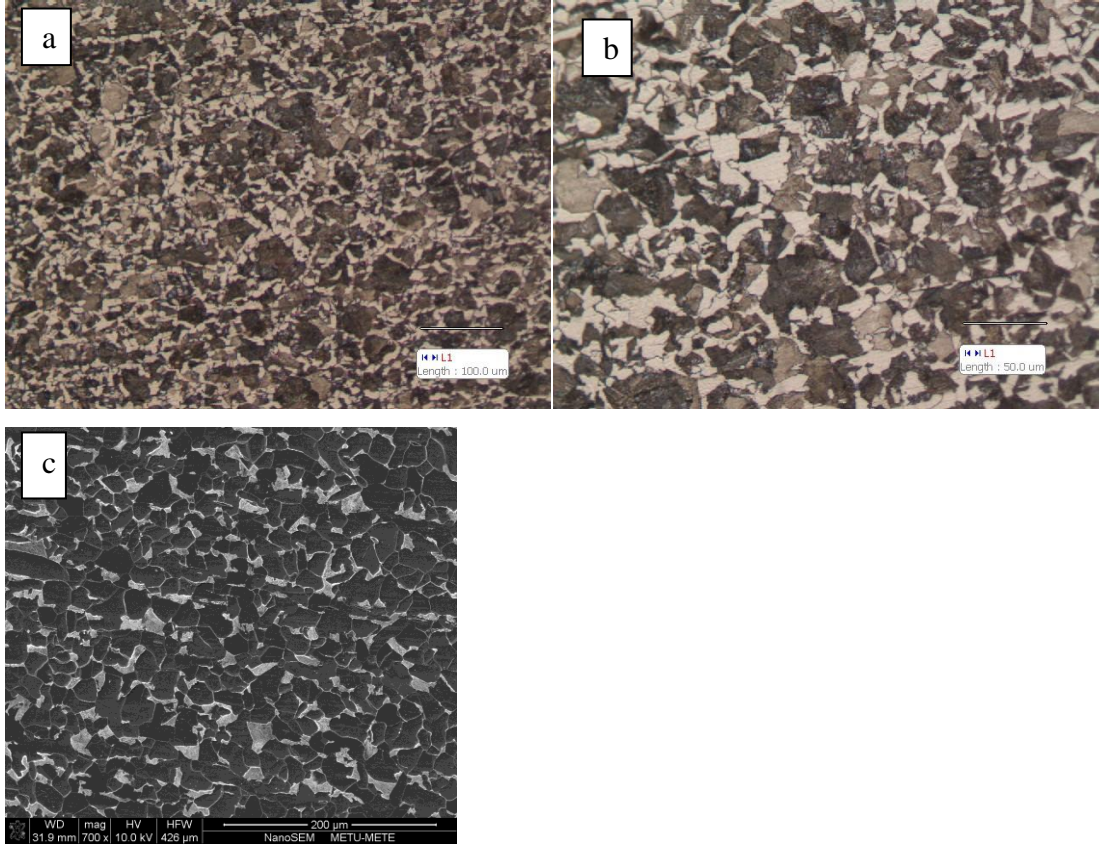
taşlanmış yanal kesitten tekrar mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.49'dan da anlaşılacağı üzere numunenin ortasında Ç 1040 malzemesinin mikroyapısına uygun mikroyapı elde edilmiş, ferrit-perlit taneleri dengeli halde olmuş, işlemden beklenebilecek kaba lamelli perlitik yapı oluşmuş ve yine ısı enerjisi etkisiyle hadde yönünde difüzyon etkisiyle tanelerin dizilmesi durumu meydana gelmiştir. Bu çalışma sayesinde atmosfer korumasız tam tavlama işlemi (fırında uzun süre beklemenin) sonucunda malzeme yüzeyinde karbon yanması olduğu ispatlanmıştır.



Şekil 4.49 Kaynaksız, tam tavlama yapılmış numunenin ara kesitten alınan mikroyapı görüntüleri a) x100, b) x200

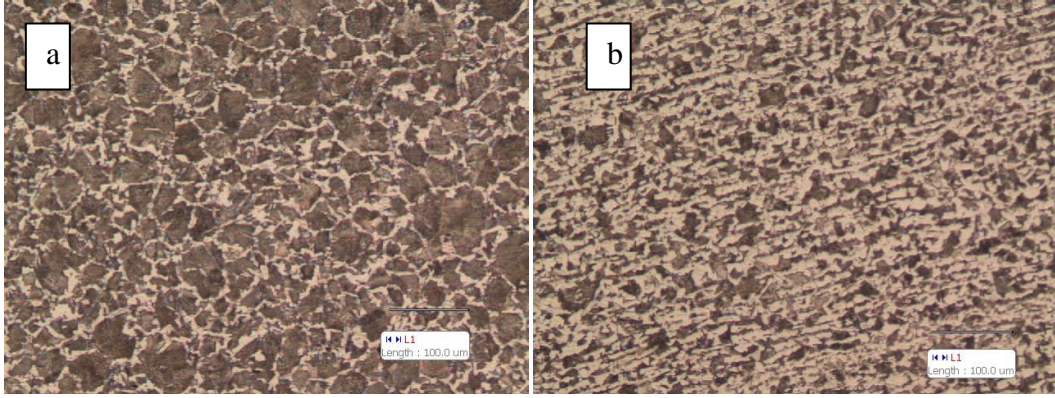
#### 4.5.1.3. Kaynaksız, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Normalizasyon işleminde kısmen ince taneli perlitik yapı elde edilir, bunun haricinde iç gerilmeler de giderilir. Şekil 4.50'deki şekillere bakıldığında normalizasyon tavı sonucunda kısmen ince taneli ve bunun yanında oldukça düzenli ferrit perlit dağılımı elde edildiği görülmektedir. Mikroyapı resimleri ısıl işlemsiz numunelerin resimlerine benzerlik göstermektedir. Aradaki temel farklar ise mikroyapının kısmen daha ince taneli olması, ferrit tane sınırlarının yeniden düzenlenmesi, dislokasyonların yeniden düzenlenmesi, iç gerilmelerin giderilmesi ve bunun yanında daha düzenli ferrit perlit yapısı oluşmasıdır.



Şekil 4.50 Kaynaksız, normalizasyon tavlı yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri  
a)x100, b) x200 c) SEM x200

Normalizasyon tavlı sayesinde malzemelerin plastik şekillendirilebilirliği arttığı eğme deneyleri kısmında belirtilmişti. Şekil 4.51 a’da ısıtılmış görmemiş eğme numunesi Şekil 4.51 b’ de ise normalizasyon tavlına tabii tutulmuş eğme numunesi görülmektedir. Burada normalizasyon tavlının etkisiyle iç gerilmelerin giderilip dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda tanelerin yeniden düzene girmiş ve eğme yönünde yönlendirilmiş olduğu görülmektedir. Eğme deneyi sonuçlarında ilgili kuvvet değerlerinin düşük çıkma sebebinin Şekil 4.51’de görülen mikroyapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.



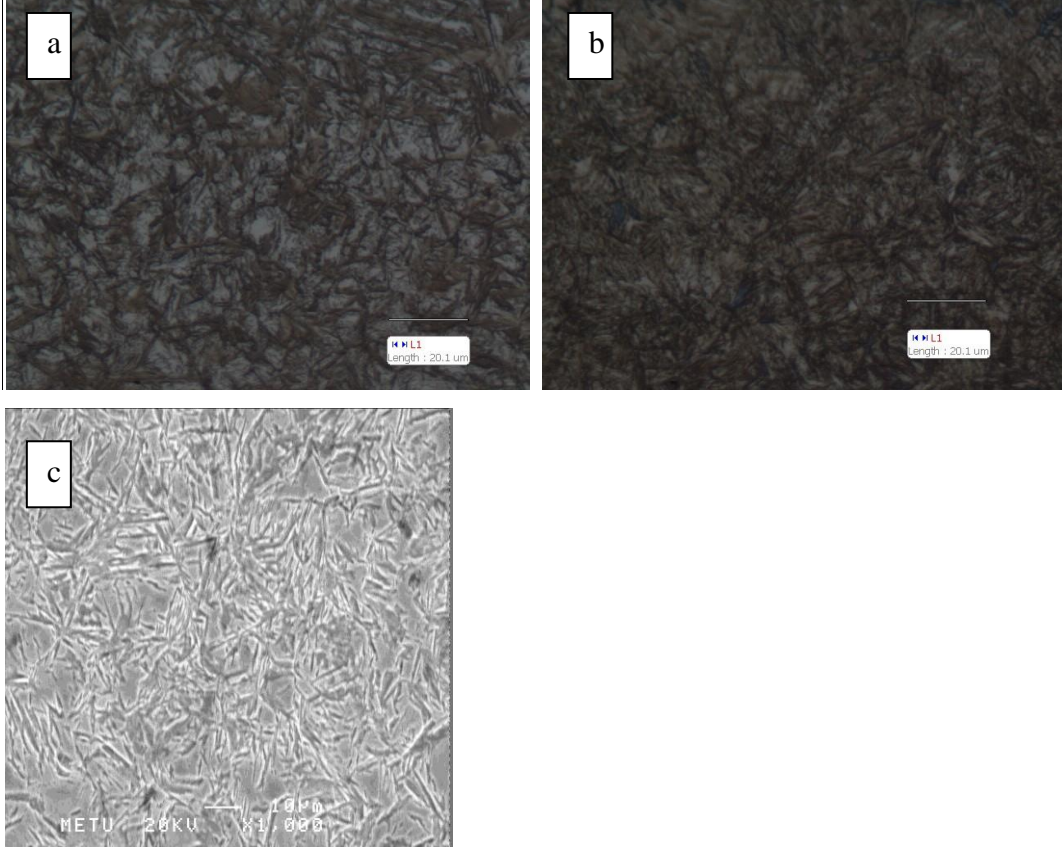
Şekil 4.51 Eğme deneyi sonucunda elde edilmiş numunelerin mikroyapı görüntüleri  
a) kaynaklı, ısıtılmış, normalizasyon tavlama yapılmış x100, b) kaynaklı, normalizasyon tavlama yapılmış x100

#### 4.5.1.4. Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Kuramsal temeller kısmında da belirtildiği gibi su verme işleminden sonra elde edilen martenzitik fazı mikroskop altında iğnemsiz, dikenimsiz biçimde ve oldukça karmaşık yapı halinde gözükür. Martenzitik dönüşüm esnasında ısıtılmış yapıyı yapılmadan önce HMK yapıya sahip olan malzeme önce YMK sonra da çok kısa süre içerisinde HMT (hacim merkezli tetragonal) yapıya dönüşür. Sonuçta, kafes yapısı bozulmuştur.

Şekil 4.52'da martenzitik yapıya sahip numunenin mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Uygulanan ısıtılmış işlem sonucunda martenzitik yapı elde edilmiş ve sertlik 62 HRC (750-760 HV) olmuştur. Ç1040 malzemesinde elde edilebilecek maksimum martenzitik mikroyapıya yaklaşılmıştır. Burada iğnemsiz, dikenimsiz ve oldukça karmaşık mikroyapı gözlemlenmektedir. Karmaşık yapıdan kasıt iğnemsiz ve dikenimsiz yapıların tüm malzemeye oldukça karmaşık bir biçimde dağılmasıdır. Karbon siyah bölgelerde aşırı sıkı bir şekilde hapsedilmiş vaziyettedir. Bu sayede iç gerilmelerin çok fazla arttığı, malzemenin kırılma eğilimi geldiği düşünülmektedir. Şekil 4.52 a ve b'de gözlemlenen beyaz bölgeler ise kalıntı östenit fazını göstermektedir. Şekil 4.52 c'de SEM fotoğrafında tipik martenzitik faza ait iğnemsiz,

dikenimsi ve keskin köşeli yapıların malzemede dağınık şekilde bulunarak kafes yapısını bozduğu görülmektedir.



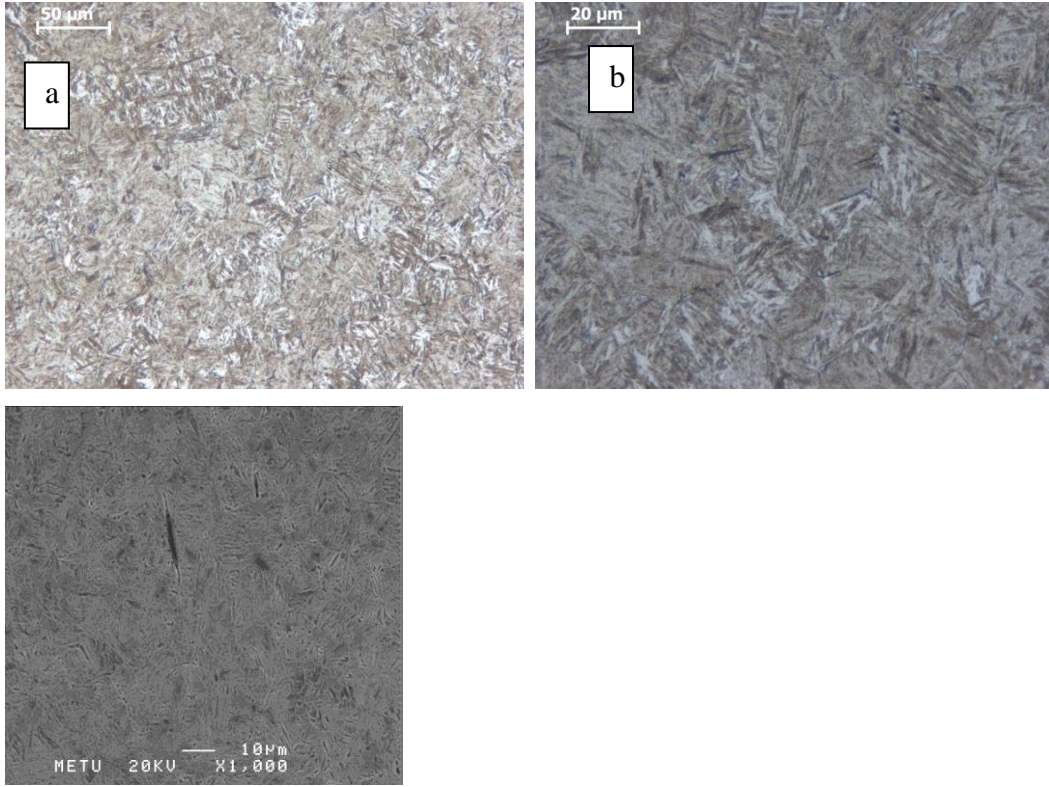
Şekil 4.52 Kaynaksız, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri a) x500, b) x500, c) SEM x100

#### 4.5.1.5. Kaynaksız, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Öncesinde tamamen martenzitik yapı elde edilmiş daha sonra da 350°C'de 3 saat menevişleme yapılan numunenin mikroyapı resimleri Şekil 4.53'de görülmektedir. Martenzitik mikroyapıda iğnemsî ve keskin köşeli kristal kafes yapısı gözlemlenmişti. Martenzitik faza verilen ısı enerjisi etkisiyle iğnemsî yapılar kısmen kırılmış ve küçülerek kısmen iç gerilmelerden arındırılmıştır. Bu durum Şekil 4.53'de belirgin halde görülmektedir. Şekil 4.52'den de görüleceği üzere malzeme



tamamen martenzitik yapıdayken iğnemi yapılar malzemenin sünekliğini tamamen kaldıracak dağılım göstermekteydi, menevişleme sayesinde bu yapılar kısmen küçülmüş, kısmen kırılarak yapı içerisine dağılmıştır. Malzemenin sünekliğindeki kısmi artışın ise bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.53’de gözlenen kahverengi yapıların aşırı ince taneli perlit, beyaz bölgelerin ise kalıntı östenitlerin menevişleme işlemi sonrasında ferrite dönüştüğü düşünülmektedir.

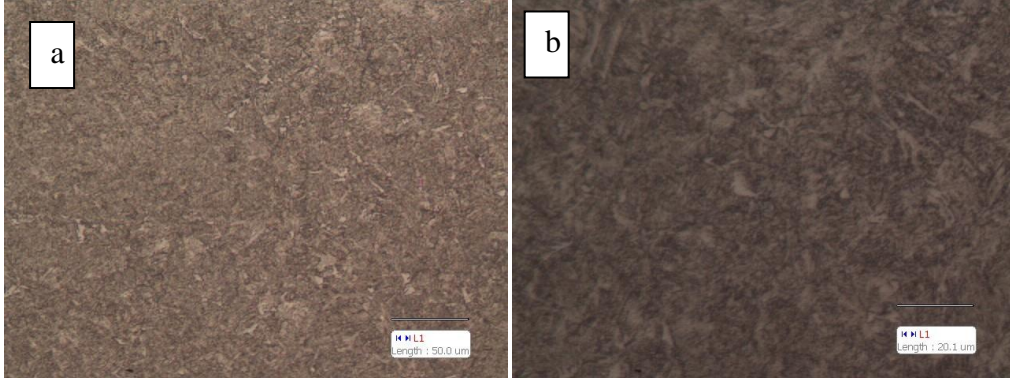


Şekil 4.53 Kaynaksız, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri a) x100, b) x200, c) SEM x 100.

#### 4.5.1.6. Kaynaksız, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Yağda soğuma işleminin perlit burnunu kestiği ve bu yüzden martenzitik yapı oluşturmadığından daha önceden bahsedilmişti. Şekil 4.54 ’e bakılacak olunursa siyah ve koyu kahverengi bölgelerin hızlı soğumanın etkisiyle aşırı ince taneli perlit

olduğu düşünülmektedir. Yağ gibi nispeten hızlı soğuma ve de ilave menevişleme yapılması etkisiyle aşırı ince taneli olan perlitin tüm yapı içerisine büyük oranda homojen olarak dağıldığı Şekil 4.54'den görülmektedir. Beyaz bölgeleri oluşturan ferritin ise perlitten arta kalan kısımlara dağıldığı görülmektedir.



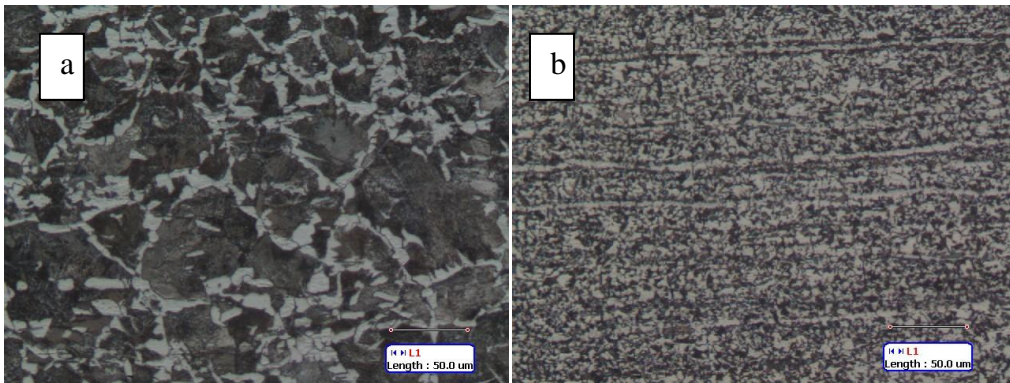
Şekil 4.54 Kaynaksız, yağda soğutma+ menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri a) x200, b) x500

#### 4.5.2. Elektrot Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

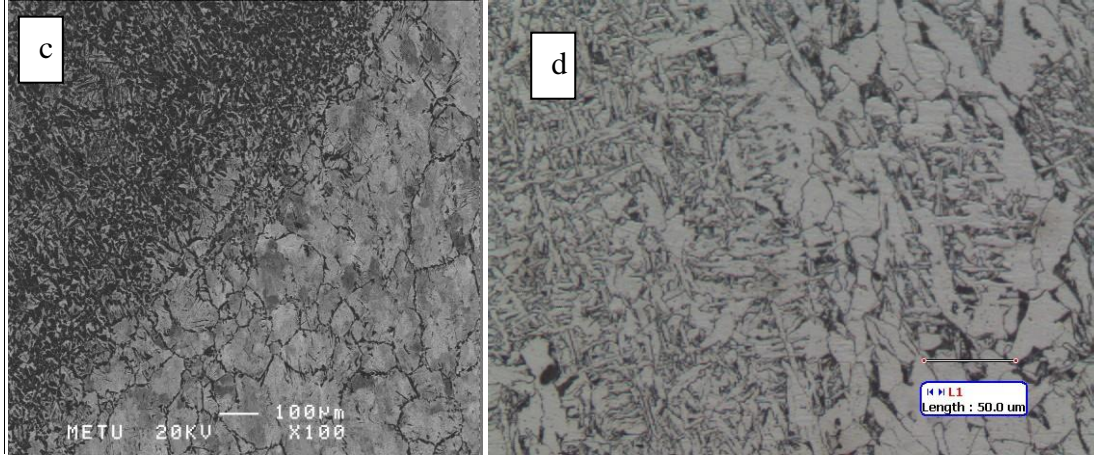
##### 4.5.2.1. Elektrot Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.55'de elektrot kaynaklı ve sonradan ısıl işlem görmemiş olan numunenin mikroyapı çalışması görülmektedir. Şekil 4.55 a'da kaynak dolgu malzemesine uzak bölgede yeterince ısı transferi gerçekleşmediğinden ana metalin mikroyapısında herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Yine siyah bölgeler perlit beyaz bölgelerin ise ferrit olarak dağıldığı görülmektedir. Kaynak dolgu malzemesine doğru yaklaşıldıkça çelik malzemede iletimle ısı transferi söz konusu olmuştur. Bu ısı transferinin de etkisiyle malzeme dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkmış ve atmosferik havada aniden soğumuştur. Normalizasyon tavlamasından tek farkı malzeme uzun süre tavlınmamıştır. Bu yüzden bu bölgede sertlik daha fazla çıkmıştı ve ince taneli ferrit-perlit dağılımı meydana geldiği Şekil 4.55 b'de görülmektedir. Aynı zamanda

Şekil 4.55 b’de tanelerin ısı enerjisinin etkisiyle difüzyon meydana geldiği ve hadde yönünde dizildiği de görülmektedir. Şekil 4.55 c SEM fotoğrafında ITAB kaba tane, ergime çizgisi ve kaynak dolgu metalinin belirli kısımları görülmektedir. Burada bir yandan katılma gerçekleşirken diğer taraftan yüksek ısı girdisi nedeniyle ana malzeme tarafında tane irileşmesi meydana gelmiştir. Aynı zamanda ana metal malzemesinin kaynak dolgu malzemesi tarafından ıslabilirliğinin de yüksek olması nedeniyle katılma süreci döküm malzemelerde gözlemlendiği gibi çekirdeklenerek değil de, ana metal malzemesi tarafındaki taneler üzerinden tanelerin kristal yapı ve yönlenmelerini aynen takip ederek (epitaksiyel) olarak başlamıştır. Şekil 4.55 d’de kaynak banyosunun katılmış hali görülmektedir. Burada kaynak banyosunda katılma soğuma sayesinde dentritik kollar halinde ergime çizgisinden başlayıp, ergime çizgisine yakın bölgede hızlı soğumanın da etkisiyle kaynak dolgu metalinin merkezine doğru gittiği ve özellikle dolgu metalinin merkezinde geç soğumanın da etkisiyle kısmen iri taneli yapının oluştuğu görülmektedir. Bazı elektrotun kimyasal yapısı değerlendirildiğinde %0,07 C, %0,5 Si, %0,9 Mn bulunmaktadır. Bunların da etkisiyle beyaz bölgeler tamamen ferritik yapıdadır. Aynı resim incelendiğinde küçük siyah noktaların kaynak esnasında meydana gelen ve yüzeye çıkmadan kaynak dolgu metalinde kalmış gaz boşlukları olabileceği düşünülmektedir. Daha büyük olan siyah bölgelerin ise Mn, Si, MnS ve yer yer gaz gözeneği olabileceği düşünülmektedir. Lakin detaylı analiz çalışmasıyla siyah bölgeler hakkında daha doğru kanaat elde edilebileceği düşünülmektedir.



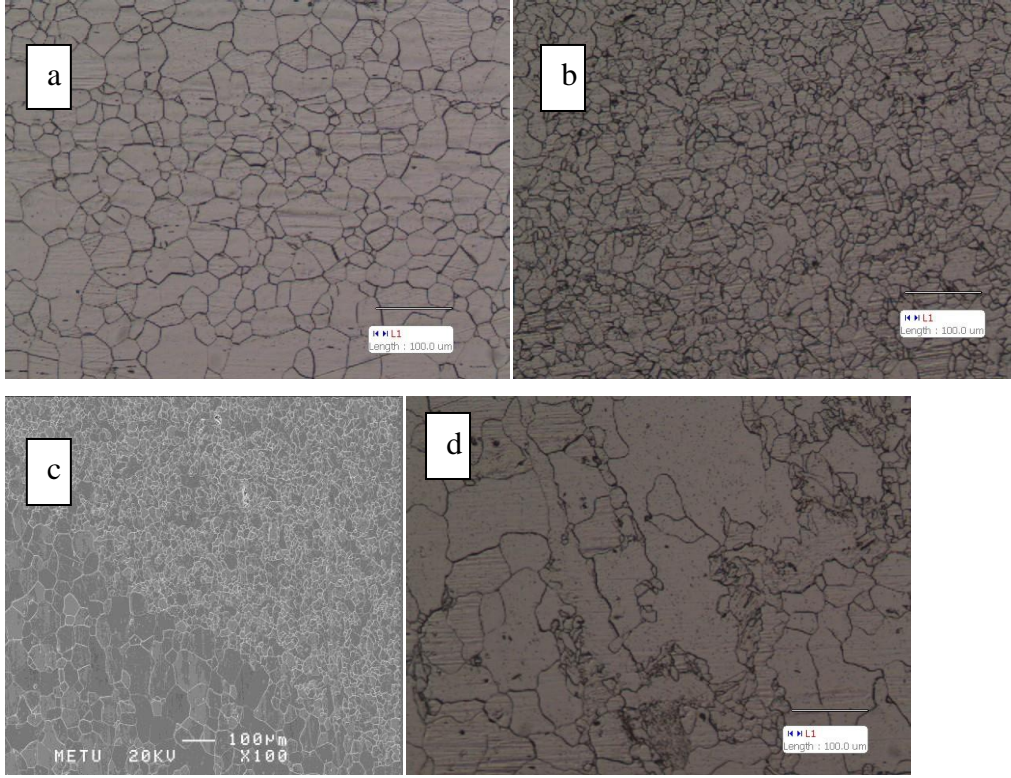
Şekil 4.55 Elektrot kaynaklı, ısıt işlemsiz numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) SEM ergime çizgisi ve ITAB kaba tane, d) kaynak dolgu metalini x200.



Şekil 4.55 (devam).

#### 4.5.2.2. Elektrot Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.56'da elektrot kaynaklı, sonradan tam tavlama yapılmış numunenin optik ve SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 4.56 a'da ana metal malzemesi kaynak dolgu metalinden uzak bölgede olduğu için kaynaksızla aynı mikroyapıya sahiptir. Şekil 4.56 b'de ITAB ince tane ise daha öncesinde kaynak nedeniyle incelen tanelerden dolayı tane yapısı çok az oranda da olsa ince taneli olarak gözlemlenmektedir. Şekil 4.56 c'de hem ergime çizgisi hem de ITAB kaba taneli bölge ve kaynak dolgu metali birarada görülmektedir. Şekil 4.56 d'ye bakıldığında ise kaynak dolgu metalinde tam tavlama ısıl işleminin etkisiyle dentritik kolların tanemsi yapıya dönüştüğü ve dolgu malzemesi tanelerinin irileştiği görülmektedir.

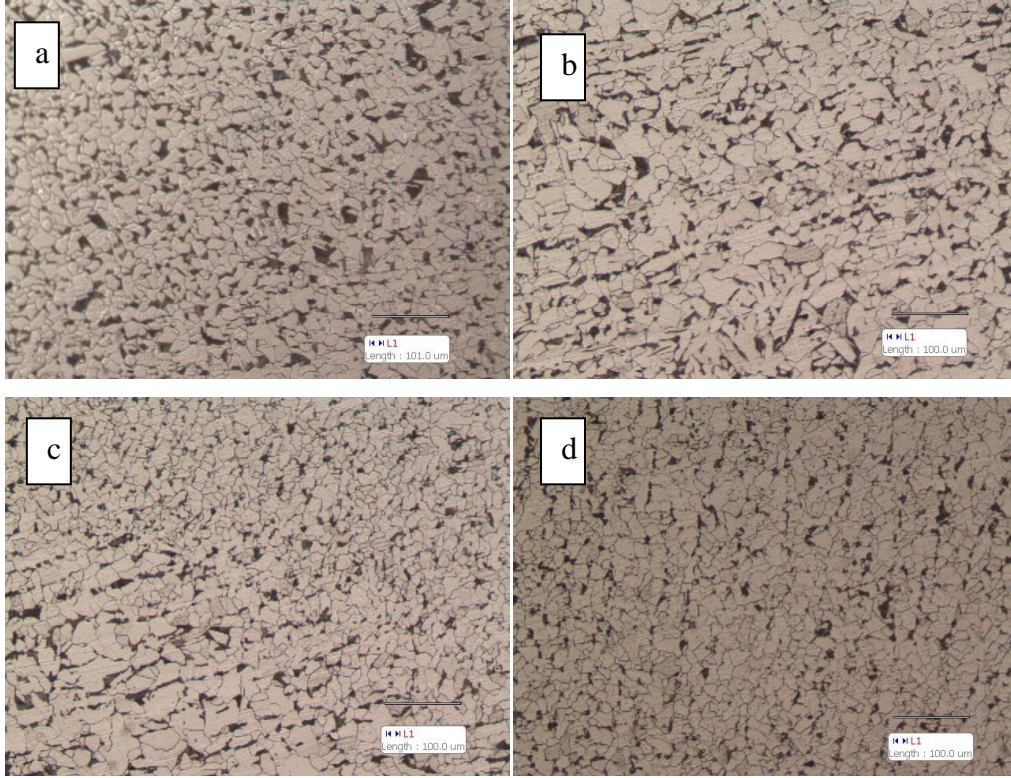


Şekil 4.56 Elektrot kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri  
a) ana metal x100 b) ITAB ince tane x100, c) SEM ergime çizgisi ve ITAB kaba tane, d) kaynak dolgu metali x100

#### 4.5.2.3. Elektrot Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.57 'de önce elektrot kaynağı yapılmış sonra normalizasyon tavına tabii tutulmuş olan numunenin mikroyapısı görülmektedir. Bekleneceği üzere Şekil 4.57a' da görülen ana metalde yeterince ısı transferi gerçekleşmediğinden mikroyapı değişmemiş, sadece ısıl işleminin etkisiyle kısmen ince taneli ve daha düzenli bir mikroyapı elde edilmiştir. Şekil 4.57 b'de ise ITAB ince taneli bölge görülmektedir. Yapı daha sonradan tamamen ince taneli hale geçtiği için taneler daha az miktarda daha incelmış ana metale benzerlik göstermiştir. Bunun yanında ITAB ince taneli bölgede tanelerin ısı enerjisinin etkisiyle hadde yönüne dizildiği görülmektedir. Şekil 4.57 c'de hem ergime çizgisi hem de ITAB kaba taneli bölge ve kaynak dolgu metali bir arada görülmektedir. Fakat yapı ısıl işlem sonucunda ince taneli yapıya

dönüştüğünden ITAB kaba tane bölgesindeki tanelerin incelendiği görülmektedir. Bunun yanında Şekil 4.57 c’de ana metal ile kaynak dolgu malzemesinin ısınabilirliğinin oldukça uyumlu halde olduğu görülmektedir. Şekil 4.57 d’de ise kaynak metalinin normalizasyon işleminin etkisiyle dentritik kollarının tanemsi yapıya dönüştüğü görülmektedir.

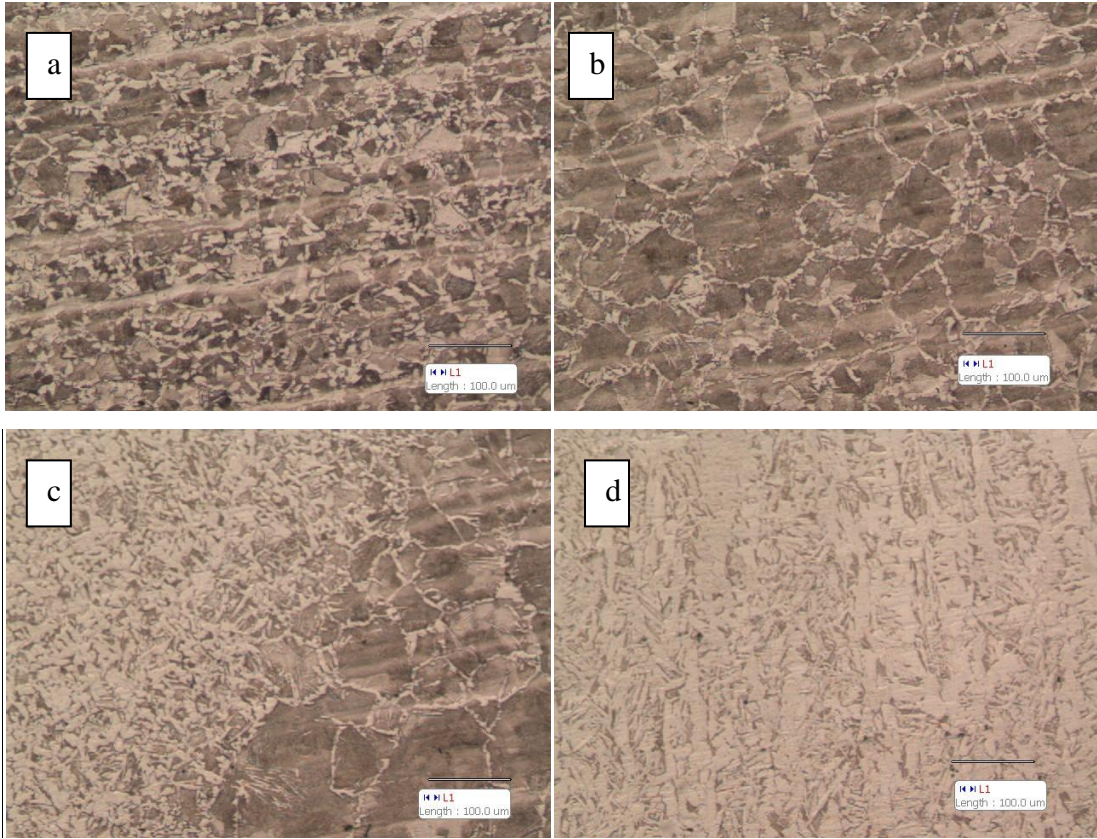


Şekil 4.57 Elektrot kaynaklı, normalizasyon tavlaması yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x100, b) ITAB x100, c) ergime çizgisi x100, d) kaynak dolgu metali x100

#### 4.5.2.4. Elektrot Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Gerilme giderme ısıl işleminde dönüşüm sıcaklığının altındaki sıcaklıkta tavlama yapıldığı için mikroyapıda ısıl işlemsizden çok farklı bir yapı elde edilmediği görülmektedir. Şekil 4.58 a’da ana metal mikroyapısına bakılacak olunursa ısıl

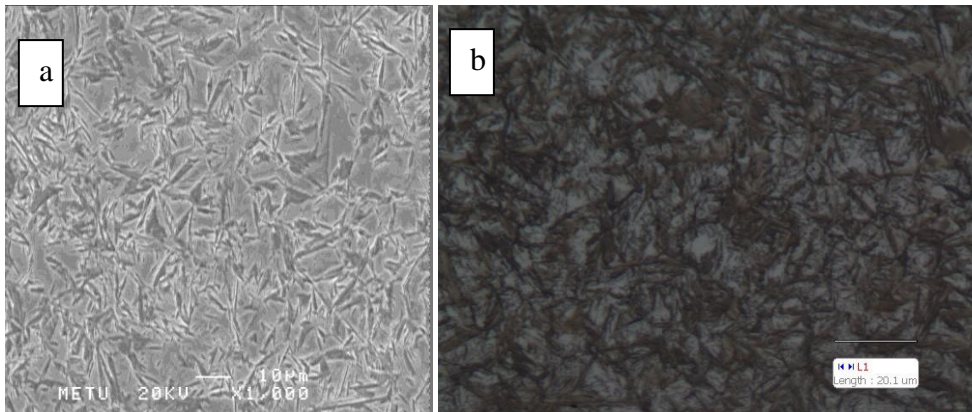
işlemsize benzer şekilde ferrit-perlit dengesine sahiptir. Ayrıca fırında soğuma ile yapılmış olan ısıl işlemin etkisiyle tanelerde difüzyon meydana geldiği ve hadde yönünde tanelerin çizgisel olarak dizilmeye çalıştığı görülmektedir. Şekil 4.58 b’de ITAB ince tane bölgeye bakılırsa kaynak sonrasındaki fırında soğutma ısıl işleminin etkisiyle tanelerin irileşerek daha düzenli yapıya ulaştığı görülmektedir. Şekil 4.58 c ve d’de ise gerek ITAB kaba ve ergime çizgisi gerekse de kaynak dolgu metali uygulanan ısıl işlem dönüşüm sıcaklığının altında olduğu için ısıl işlemsize benzer yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 4.58 Elektrot kaynaklı, gerilme giderme tavlama yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x100, b) ITAB x100, c) ergime çizgisi x100, d) kaynak dolgu metali x100

#### 4.5.2.5. Elektrot Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 5.59 a'da ana metal kaynak yapılması esnasındaki ısı transferinden etkilenmediğinden ve sonradan martenzitik dönüşüm yapıldığından elde edilen fotoğraf tipik martenzit mikroyapısı yani iğnemsî, dikenimsî yapı olduğu görülmektedir. Şekil 5.59 b'de de ITAB bölgesi sonradan görmüş olduğu ısıl işlemin etkisiyle ana metale benzer iğnemsî mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5.59 c'de kaynak dolgu metalinin mikroyapısı görülmektedir. Daha önce sertlik çalışmalarında kaynak dolgu metalinin ana metal kadar olmasa da uygulanan ısıl işlemin özelliği gereği belirli oranda sertleştiği bilinmektedir. Burada kaynak dolgu metalinin biraz daha açık renkte olmasının karbon miktarının daha az olmasından dolayı ana metale göre daha fazla kalıntı östenit içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bu düşük karbon oranına rağmen kaynak dolgu metali sertleşmiş ve kararsız bir yapıya kavuşmuştur. Şekil 5.59 a'da mikroyapı fotoğrafı SEM ile çekildiği için daha açık renkte görülmektedir. Sertleştirilme sağlanmış numunelerde ısıl işlemler sonucunda ergime çizgisi mikroyapı çalışmalarında belirgin olarak gözlenememiştir ve tüm yapı martenzitik yapı olduğundan ergime çizgisi resimleri alınamamıştır.



Şekil 4.59 Elektrot kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) SEM ana metal x1000, b) ITAB x500, c) Kaynak dolgu metali x500.

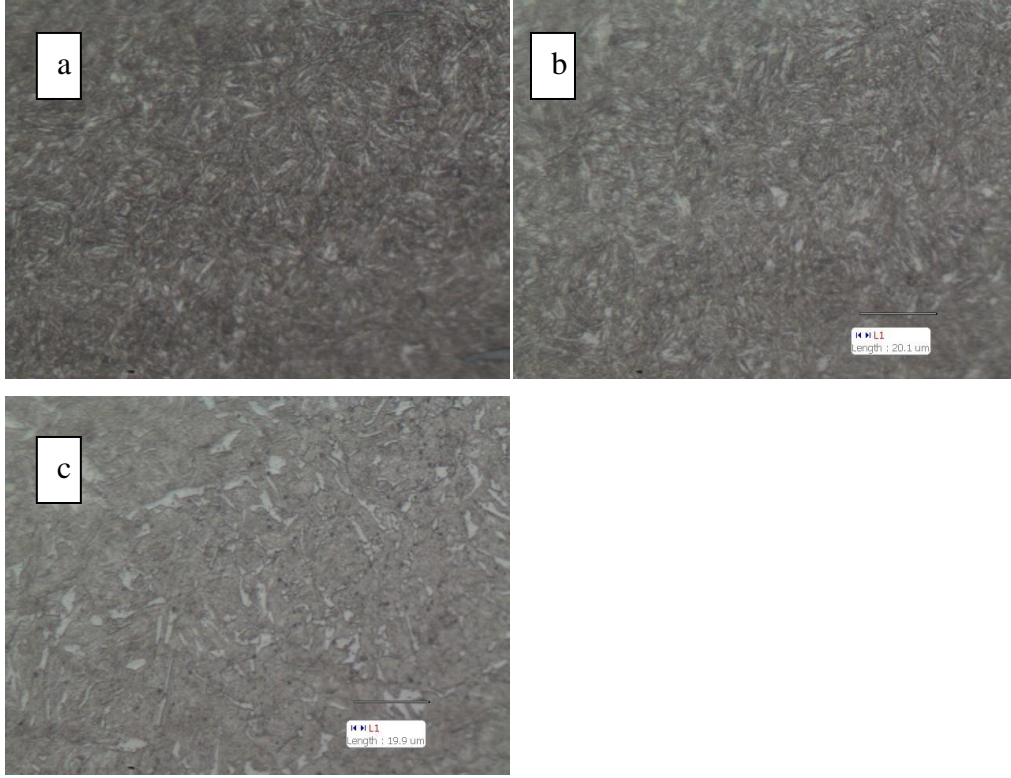




Şekil 4.59 (devam).

#### 4.5.2.6. Elektrot Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Elektrot kaynağıyla kaynak yapılmış sonrasında martenzitik yapı elde edilecek şekilde suda soğutulmuş sonrasında da menevişleme yapılmış olan numunenin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.60 'da görülmektedir. Şekil 4.60 a'da ana metal görülmekte olup, martenzit fazına göre menevişleme etkisiyle iğnemsî yapıların kısmen kırıldığı görülmektedir. Şekil 4.60 b'de ise ITAB bölgesi görülmektedir. Burada da mikroyapı ana metale benzerlik göstermektedir. Şekil 4.60 c'de ise kaynak dolgu metali görülmektedir. Sertlik çalışmalarında ilave menevişleme işlemi etkisiyle sertlik değerinde meydana gelen düşüşün kaynak dolgu metalinde ana metale nazaran daha fazla olduğu belirtilmişti. Burada da buna uygun bir mikroyapı elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.60 c'deki renk farkı ana metal ile kaynak dolgu metali arasındaki sertlik farkını açıklamaktadır.

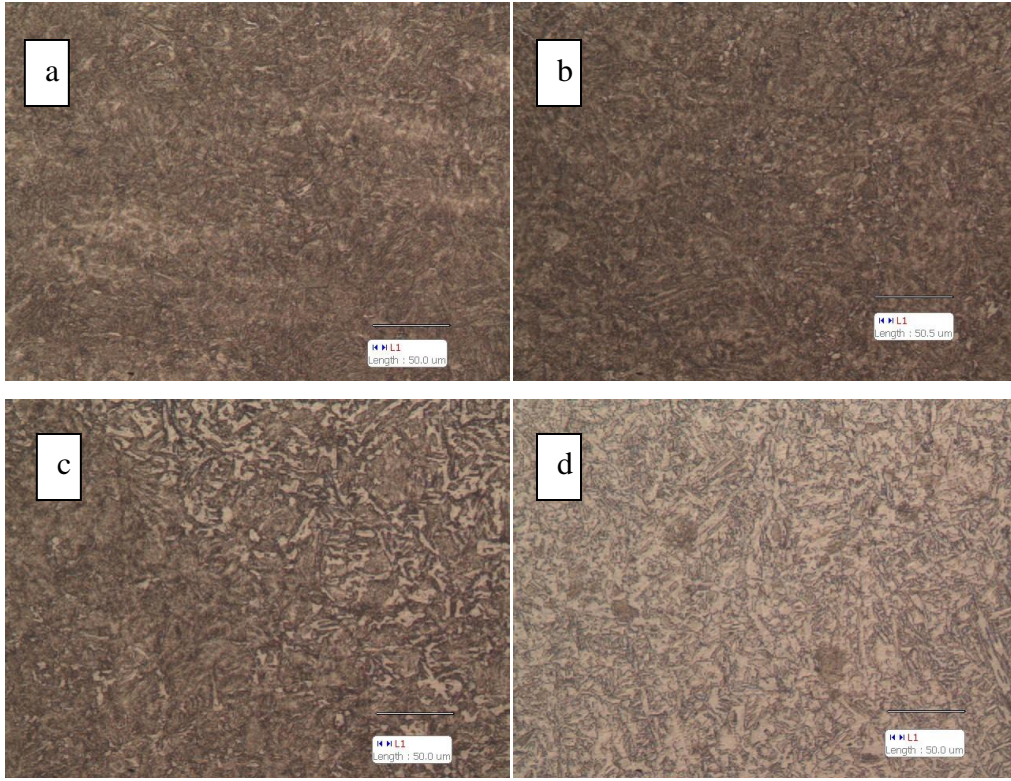


Şekil 4.60 Elektrot kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x500, b) ITAB x500, c) kaynak dolgu metali x500

#### 4.5.2.7. Elektrot Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Elektrot kaynağıyla kaynak yapılmış sonradan yağ gibi kısmi sertlik artışı sağlayan soğutma ortamında ısıtıl işlem yapılmış sonrasında da menevişleme yapılmış olan numunenin mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.61 'de görülmektedir. Şekil 4.61 a'da kaynak esnasında ısıdan etkilenmemiş olan ana metalin mikroyapısı kaynaklı numunede olduğu gibi homojen dağılımlı aşırı ince taneli ferrit-perlit karışımından oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.61 b'de ITAB ana metalle aynı mikroyapıda olduğu görülmektedir. Çünkü bu bölge kaynak esnasında ince taneli yapıya kavuşur sonrasında yapılan ısıtıl işlemlerin etkisiyle tüm yapı ince taneli olduğundan ITAB ince tane ve ana metalin birbirine benzemesi beklenir. Şekil 4.61 c'de kaynak dolgu metali, ergime çizgisi ve ITAB bir arada görülmektedir. Kaynak bölgesi ile ana metal

arasındaki renk farkının malzemelerin kimyasal yapı farklılığından (karbon oranı farkı) kaynaklandığı düşünülmektedir. Sertlik çalışmalarında kaynak dolgu metalinin yağda soğutma + menevişleme işleminden sonra sertlik almadığı ve bunun bu kadar az karbon içeren dolgu malzemesinin yağ gibi etkin olmayan ve ilave menevişleme yapılan bir işlem ile sertlik almadığından kaynaklandığı belirtilmişti. Kaynak dolgu metalinin sertlik almaması neticesinde elde edilen mikroyapısının da ısıl işlemsiz numunenin kaynak dolgu metaline benzeyeceği aşikardır. Buna uygun mikroyapı da Şekil 4.61 d’de görülmektedir.

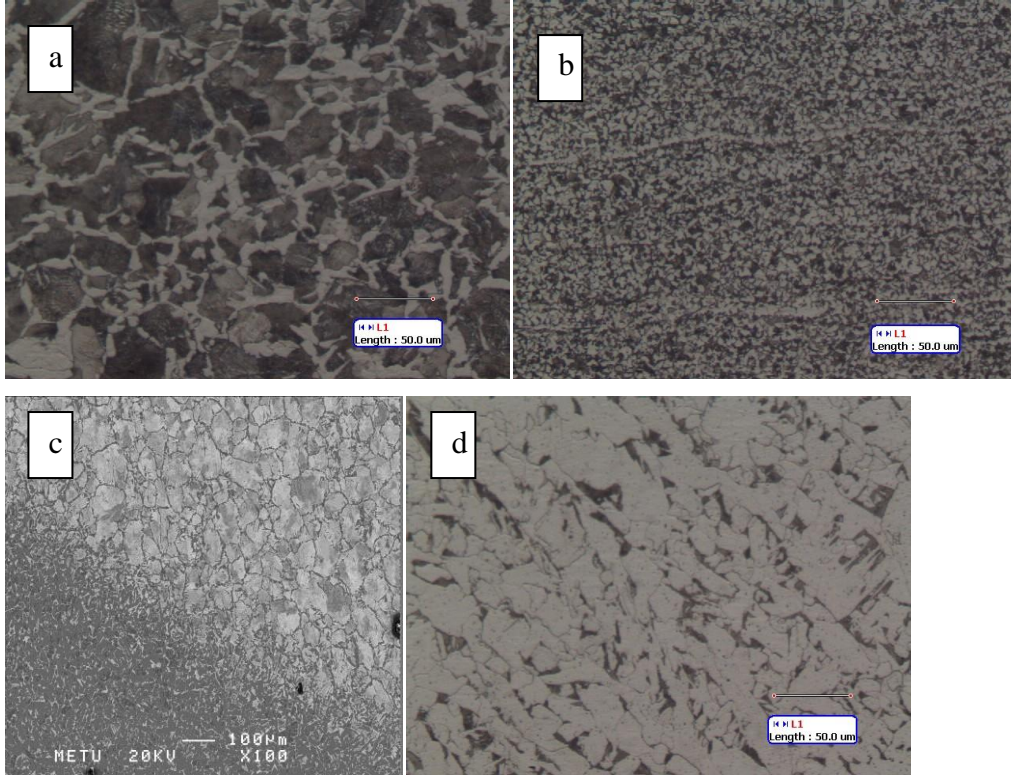


Şekil 4.61 Elektrot kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) ergime çizgisi x200, d) kaynak dolgu metali x200

### 4.5.3. Gazaltı Kaynaklı Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

#### 4.5.3.1. Gazaltı Kaynaklı, Isıl İşlemsiz Numunenin Mikroyapı İncelemesi

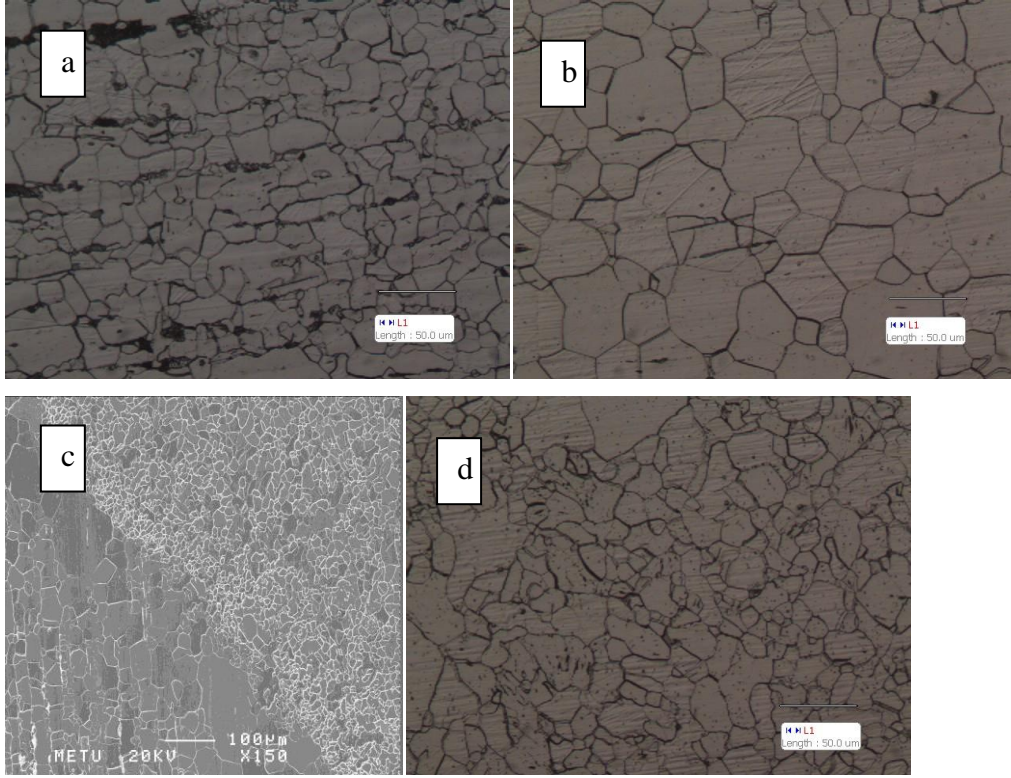
Şekil 4.62'da gazaltı kaynaklı ve sonradan ısıl işlem görmemiş numunenin mikroyapı çalışması görülmektedir. Şekil 4.62 a'da kaynak dolgu malzemesine uzak bölgede yeterince ısı transferi gerçekleşmediğinden ana metalin mikroyapısında değişiklik gözlemlenmemiştir. ITAB ince taneli bölgede ince taneli ferrit-perlit dağılımı meydana geldiği Şekil 4.62 b'de görülmektedir. Şekil 4.62 c'de SEM fotoğrafında kaynak metali, ergime çizgisi ve kaynak dolgu metalinin belirli kısımları görülmektedir. Şekil 4.62 c'de tüm kaynaklı numunelerde olduğu gibi bir yandan katılma gerçekleşirken diğer taraftan yüksek ısı girdisi nedeniyle ana malzeme tarafında tane irileşmesi meydana gelmiştir. Aynı zamanda ana malzemenin kaynak dolgu malzemesi tarafından ıslabilirliğinin yüksek olması nedeniyle katılma, çekirdeklenerek değil, ana malzeme tarafındaki taneler üzerinden tanelerin kristal yapı ve yönlenmelerini aynen takip ederek (epitaksiyel) olarak başlamıştır. Şekil 4.62 d'de kaynak banyosunun katılmış hali görülmektedir. Gazaltı kaynağında elektrot kaynağında olduğu gibi koruyucu bir örtü mevcut değildir ve kaynak banyosu atmosferik havadan sadece koruyucu karışım gazı ile kısmen korunabilmiştir. Kaynak banyosunun soğuma hızı da elektrot kaynaklı numunelere göre de daha hızlı olduğu düşünülmektedir. Durgutlu ve Ark. (1999) yaptığı çalışmada kaynak hızı arttırılınca kaynak dolgu metalinin daha ince taneli hale geldiğini belirtmişlerdir. Burada da gazaltı kaynağında kaynak dolgu metalinde tanelerin biraz daha hızlı soğumasının da etkisiyle biraz daha ince taneli hale geldiği Şekil 4.55 d'den görülmektedir. SG2 1,2 kaynak telinin kimyasal yapısını değerlendirildiğinde C %0,08, Si %0,8 ve Mn %1,45 olduğu bilinmektedir. Bunların etkisiyle beyaz bölgeler tamamen ferritik yapıdadır. Aynı resim incelendiğinde siyah bölgelerin kaynak esnasında meydana gelen ve yüzeye çıkamadan kaynak dolgu metalinde kalmış olan gaz boşlukları, Mn, MnS ve Si olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.62 Gazaltı kaynaklı, ısıl işlemsiz numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) SEM ergime çizgisi x100, d) kaynak dolgu metali x200

#### 4.5.3.2. Gazaltı Kaynaklı, Tam Tavlama Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.63’de gazaltı kaynaklı sonradan tam tavlama yapılmış olan numunenin optik ve SEM fotoğrafları görülmektedir. Şekil 4.63 a’da ana metal malzemesi kaynak dolgu metalinden uzak olduğu için kaynaksızla aynı mikroyapıya sahiptir. Şekil 4.63 b’de ise ITAB ince taneli bölge görülmektedir. Tam tavlama ısıl işlemi neticesinde bu bölge kaba taneli mikroyapıya kavuştuğundan tanelerin irileştiği Şekil 4.63 b’den görülmektedir. Şekil 4.63 c’de hem ergime çizgisi hem de ITAB kaba taneli bölge ve kaynak dolgu metali bir arada görülmektedir. Şekil 4.63 d’de ise kaynak dolgu metalinin tam tavlama ısıl işleminin etkisiyle tanelerinin irileştiği ve daha düzenli hale geldiği görülmektedir.

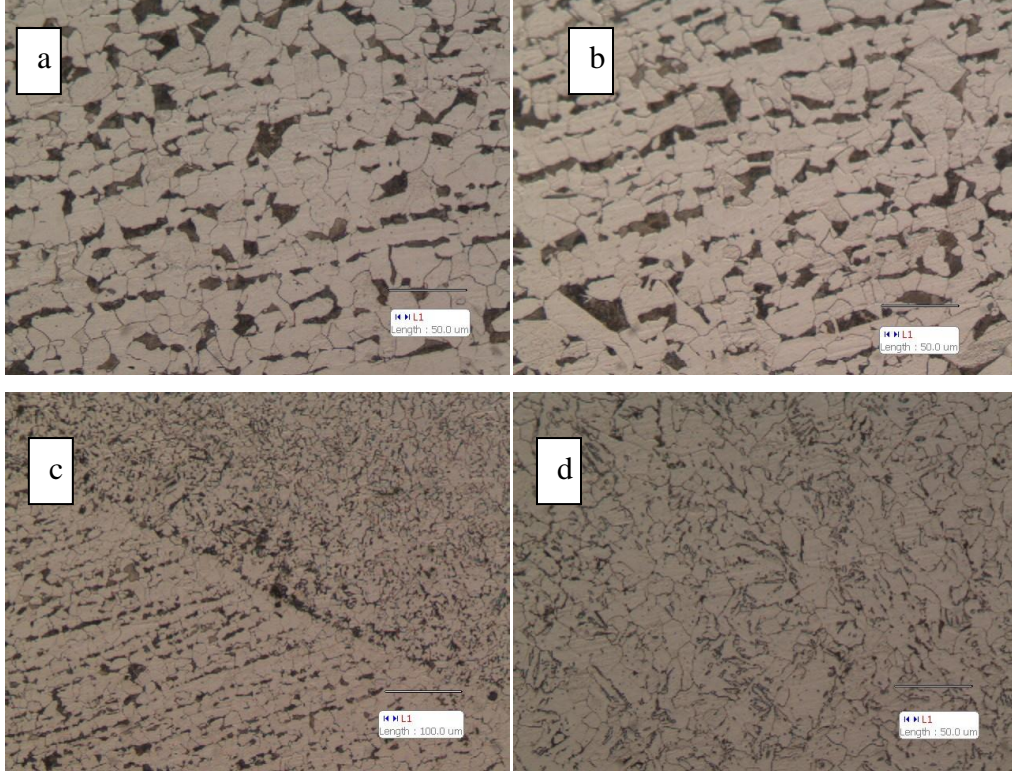


Şekil 4.63 Gazaltı kaynaklı, tam tavlama yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) SEM ergime çizgisi x150, d) kaynak dolgu metali x200

#### 4.5.3.3. Gazaltı Kaynaklı, Normalizasyon Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.64 'de önce gazaltı kaynağı yapılmış sonra normalizasyon tavına tabi tutulmuş numunenin mikroyapısı görülmektedir. Bekleneceği üzere Şekil 4.64 'a da görülen ana metalde yeterince ısı transferi gerçekleşmediğinden mikroyapı değişmemiş, sadece ısıl işleminin etkisiyle kısmen ince taneli ve daha düzenli bir yapı elde edilmiştir. Şekil 4.64 b'de ise ITAB ince taneli bölge görülmektedir. Yapı daha sonradan tamamen ince taneli hale geçtiği için taneler ana metale benzerlik göstermiştir. Şekil 4.64 c'de hem ergime çizgisi hem de ITAB kaba taneli bölge ve kaynak dolgu metali bir arada görülmektedir. Şekil 4.64 d'ye ise kaynak metalinin normalizasyon ısıl işleminin etkisiyle kaynak dolgu metalinin düzenli bir yapıya

kavuştugu, siyah noktaların ise gaz gözenekleri, Mn, MnS ve Si olduğu düşünölmektedir.

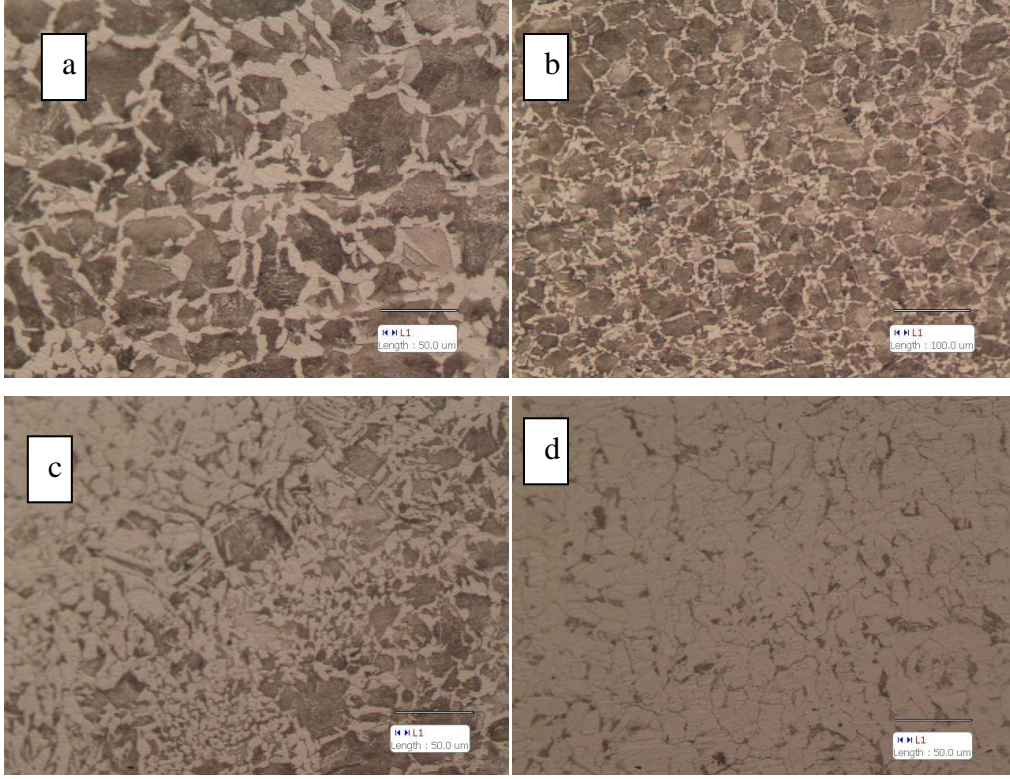


Şekil 4.64 Gazaltı kaynaklı, normalizasyon tavı yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) ergime çizgisi x100, d) kaynak dolgu metali x200

#### 4.5.3.4. Gazaltı Kaynaklı, Gerilme Giderme Tavı Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.65 'de gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavlaması yapılmış olan numunenin mikroyapı resimleri görölmektedir. Şekil 4.65 a'da ana metal mikroyapısına bakıldığında gerilme giderme ısıl işleminde dönüşüm sıcaklığının altındaki sıcaklıkta tavlama yapıldığı için mikroyapıda ısıl işlemsizden farklı bir yapı elde edilmediği görölmektedir, sadece fırında soğutma nedeniyle oluşan difüzyon sonucunda hadde yönünde tanelerin dizilmesi az miktarda da olsa gerçekleşmiştir. Şekil 4.65 b'de

ITAB kaynak esnasındaki ısı girdisi sebebiyle yapı ince taneli yapıya kavuştuğu görülmektedir. Şekil 4.65 c 'de ise ITAB kaba tane, ergime çizgisi ve kaynak metali birarada görülmektedir. Şekil 4.65 d'de yer yer siyah noktaların gaz gözenekleri, Mn, MnS ve Si olduğu düşünülmektedir.

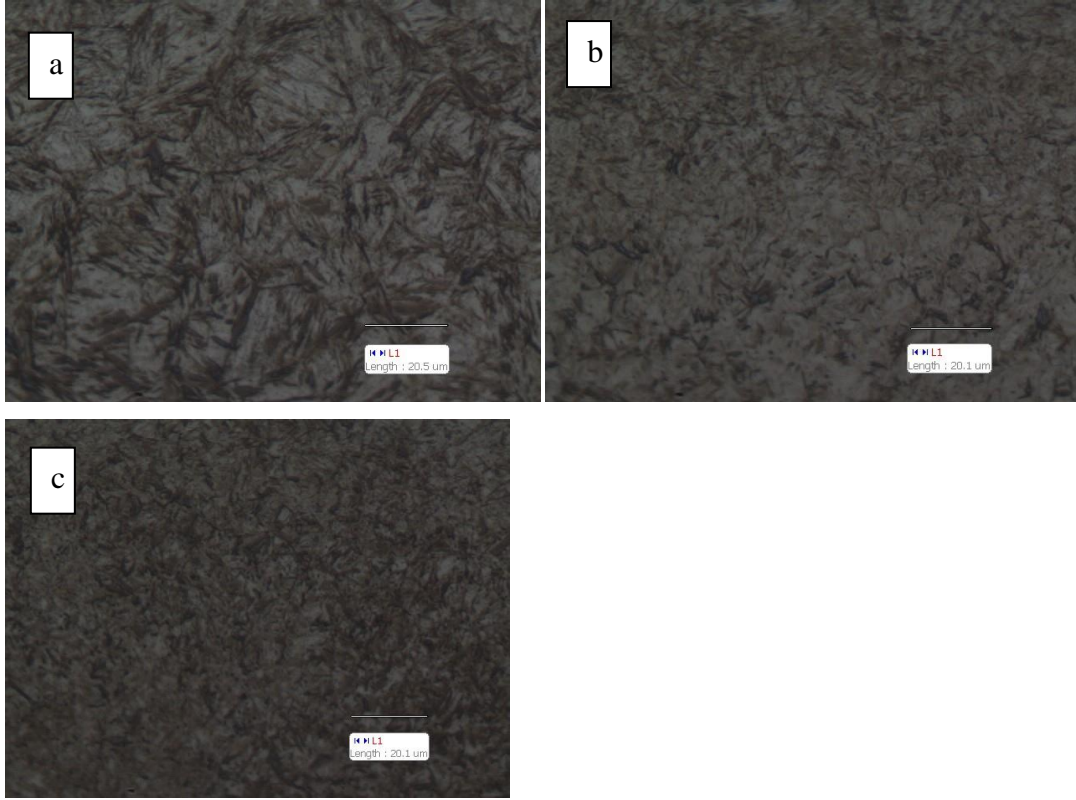


Şekil 4.65 Gazaltı kaynaklı, gerilme giderme tavı yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) ergime çizgisi x200, d) kaynak dolgu metali x200

#### 4.5.3.5. Gazaltı Kaynaklı, Martenzitik Dönüşüm (Suda Soğutma) Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.66 a'da ana metal martenzitik dönüşüm yapıldığından elde edilen fotoğraf tipik martenzit mikroyapısı yani iğnemsî yapılar olacak şekildedir. Şekil 4.66 b'de de ITAB ince tane bölgesi görülmektedir. Burada taneler ana malzemeye göre daha sıkı ve ince tanelidir. Şekil 4.66 c'de kaynak dolgu metalinin mikroyapısı görülmektedir.

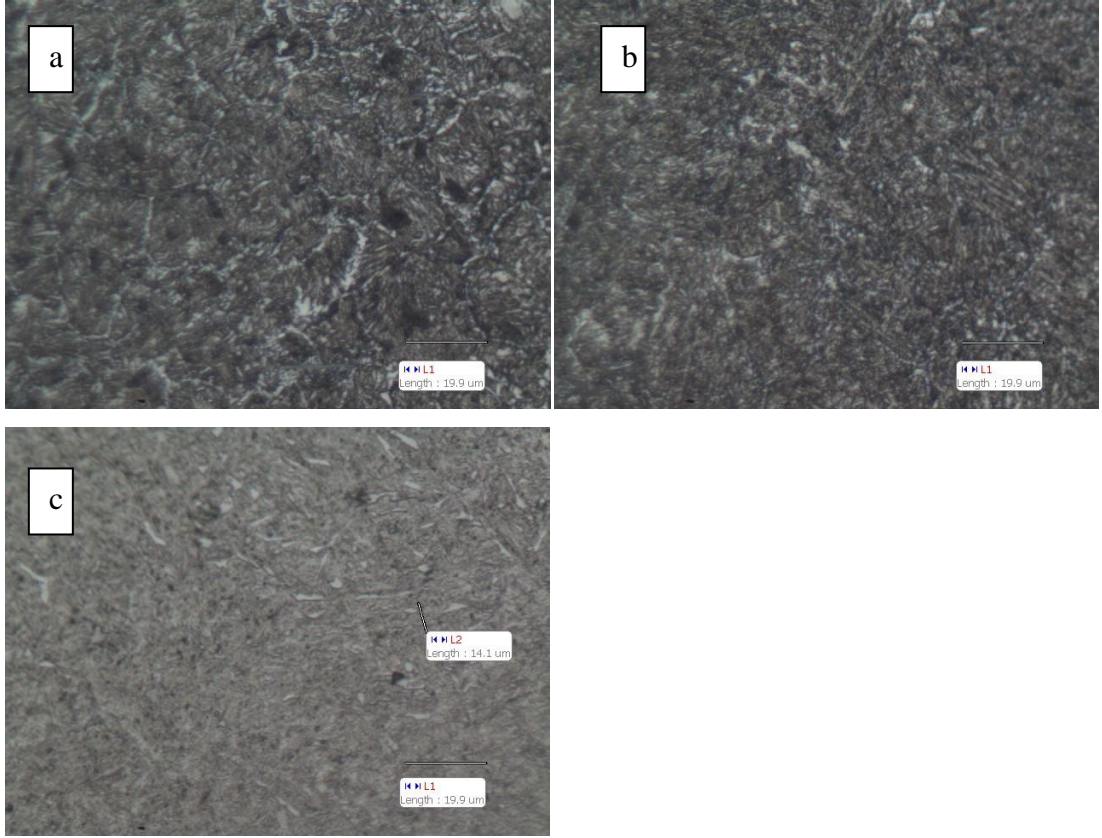




Şekil 4.66 Gazaltı kaynaklı, martenzitik dönüşüm (suda soğutma) yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x500, b) ITAB ince tane x500, c) kaynak dolgu metali x500

#### 4.5.3.6. Gazaltı Kaynaklı, Martenzit + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.67’de gazaltı kaynağıyla kaynak yapılmış sonrasında suda soğutulmuş ve ardından menevişleme yapılan numunenin mikroyapısı görülmektedir. Şekil 4.67 a’da ana metal görülmektedir. Şekil 4.67 b’de ise ITAB ince tane bölgesi görülmektedir. Burada da mikroyapı ana metale benzerlik göstermektedir. Şekil 4.67 c’de ise kaynak dolgu metali görülmektedir. Sertlik çalışmalarında ilave menevişleme etkisiyle sertlikteki düşüşün kaynak dolgu metalinde ana metale göre daha fazla olduğu belirtilmişti. Burada da buna uygun bir mikroyapı elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.67 c’deki renk farkı ana metal ile kaynak dolgu metali arasındaki sertlik farkını açıklamaktadır.

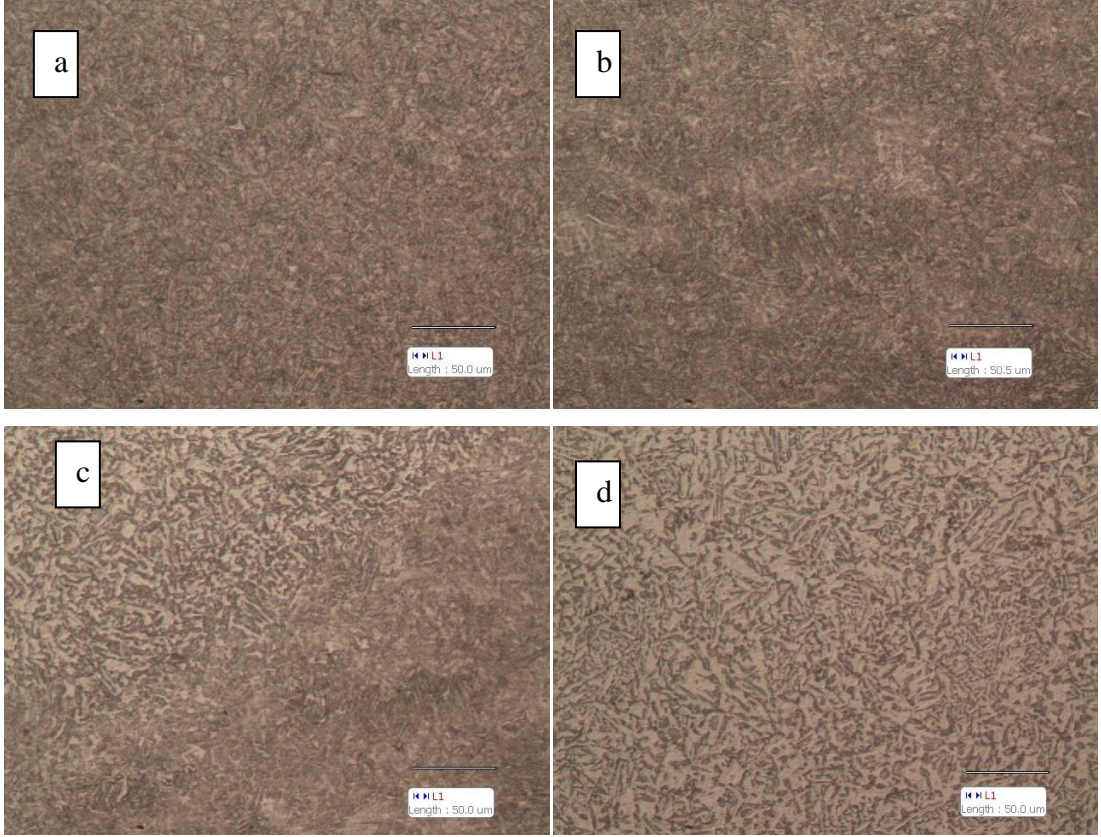


Şekil 4.67 Gazaltı kaynaklı, martenzit + menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri,a)ana metal x500,b) ITAB ince tane x500,c) kaynak dolgu metali x500

#### 4.5.3.7. Gazaltı Kaynaklı, Yağda Soğutma + Menevişleme Yapılmış Numunenin Mikroyapı İncelemesi

Şekil 4.68’de gazaltı kaynağıyla kaynak yapılmış sonradan yağ gibi kısmi sertlik artışı sağlayan soğutma ortamında ısıl işlem yapılmış sonrasında da menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Şekil 4.68 a’da kaynak esnasında ısıdan etkilenmemiş olan ana metalin mikroyapısı kaynaksız numunede olduğu gibi homojen dağılımlı aşırı ince taneli ferrit-perlit karışımından oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.68 b’de ITAB ince taneli bölgenin ana metalle aynı mikroyapıda olduğu görülmektedir. Çünkü bu bölge kaynak esnasında ince taneli yapıya kavuşur sonrasında yapılan ısıl işlemlerin etkisiyle tüm yapı ince taneliyi yapıya kavuştuğundan birbirine benzemesi beklenir. Şekil 4.68 c’de kaynak dolgu

metali, ergime çizgisi ve ITAB bir arada görülmektedir. Şekil 4.68 d’de kaynak dolgu metalinin mikroyapısı görülmektedir. Şekil 4.61’deki elektrot kaynaklı numuneden farklı olarak gaz gözeneklerinin siyah noktalar halinde kısmen daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.68 Gazaltı kaynaklı, yağda soğutma + menevişleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri, a) ana metal x200, b) ITAB ince tane x200, c) ergime çizgisi x200, c) kaynak dolgu metali x200

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneyleer kapsamında Ç1040 çeliği için önce gazaltı ve elektrot kaynağı yapılmış sonra kaynaklı, elektrot ve gazaltı kaynaklı numuneler muhtelif ısıı işlemlere tabii tutulmuşlardır. Bu sayede Ç 1040 çeliğinin mekanik, mikroyapı özellikleri belirlenmiş ve ön ısıtmasız olarak kaynağa uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Ç 1040 çeliği için elde edilen sonuçlar genel olarak şunlardır;

- Her şeyden evvel Ç1040 çeliğinin alaşımsız ve orta karbonlu bir çelik türü olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Sertleşme derinliği, yüksek sıcaklıklar için mukavemet, menevişleme sonucu yüksek mukavemet, korozyon direnci, aşınma mukavemeti, yüksek sıcaklıklarda sertlik, yüksek akma ve çekme mukavemeti gibi hususlarda yüksek değerler beklemek yeterince alaşım elementi iğermediği için yersiz olur. Alaşım elementi bulunmadığından dolayı karbürler oluşup çok daha yüksek sertlik değerleri almaz.
- Ç1040 çeliği piyasada lama şeklinde rahatça tedarik edilebilen bir mamül olup talaşlı işlenebilirliği kolay ve maliyeti düşüktür.
- İğerindeki alaşım elementlerinden (C, Mn, Si) dolayı, bunun yanında haddeleme esnasında çeliğin saflandırılması (impurite ve oksitlerin giderilmesi), haddeleme esnasındaki pekleşmeden dolayı hem akma ve çekme mukavemeti oldukça iyi olup hem de uygun şekillendirilebilecek kadar sünekliğe sahip bir metaldir. Akma ve çekme mukavemeti yapı çeliği olarak kullanılan saclardan bile yüksektir. Öyle ki bu değerler malzemenin taşıyabileceği yük açısından St52 sacından bile yüksektir. Bu da orta seviyede mukavemet gerektiren uygulamalar açısından Ç1040 çeliğinin oldukça kullanışlı olduğunu göstermektedir. Deneyleerde elde edilen akma mukavemeti ortalama 408 MPa, çekme mukavemeti 678 MPa, % uzama değeri ise ortalama %18,2 olarak tespit edilmiştir.
- Ç1040 çeliğinde iğerdiği %0,4 karbondan dolayı elde edilebilen sertleşme kabiliyeti oldukça yüksek olarak görülmüştür. Deneyleer esnasında ortalama 62 HRC (750-760 HV) maksimum elde edilebilir sertlik değerine ulaşılmıştır. Hatta kaynaklı

numunelerde ITAB ince taneli bölgede daha yüksek sertlik değerlerine de ulaşılmıştır.

- Fakat bu sertlik değerleri yanıltıcı değerlerdir. Çünkü sadece su verme ile yapılan bu sertlik değerinde hem sertleşme derinliği yetersizdi, hem de malzemenin iç yapısının gerginliği ve dislokasyon kusurlarının fazla olması nedeniyle mukavemet değerleri çok düşük çıktı. Bu yüzden imalatta sadece su verme ile yapılan ısıtma işlemi önerilemez.
- Deneyler esnasında su verildikten sonra yapılan menevişleme süre ve sıcaklık bakımından oldukça düşük tutulmuştur. Bu sayede Ç1040 çeliğinden beklenebilir maksimum mukavemet değerlerine ulaşıldı. Öyle ki ortalama akma mukavemeti 1062 MPa, çekme mukavemeti 1104 MPa ve eğme deneyinde kırmak için gerekli yük de 9575 N'a kadar çıkarıldı. Fakat burada da menevişleme süre ve sıcaklığı çok düşük olduğundan numuneler gevrek bir davranış gösterdi. Bu mukavemet değerlerinde ortalama 49 HRC (500-510 HV) sertlik elde edilmesine karşı malzemenin ortasındaki sertlik değerinin 39 HRC (390 HV) olduğu gözlemlenmiştir. Buradan Ç 1040 çeliği için uygulanabilecek maksimum gerilmenin yaklaşık 1000 MPa ve elde edilebilecek en yüksek sertliğin de 50 HRC (520 Hv) civarında olması gerektiği anlaşılmıştır.
- Tam tavlama işleminin malzemenin akma mukavemetini oldukça düşürdüğü sünekliği artırarak plastik şekillendirmeyi oldukça arttırdığı anlaşılmıştır. Ancak işlemin yüksek maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır.
- Normalizasyon tavlama çalışmalarında malzemenin hem sertliği ve hem de akma mukavemeti çok az oran da olsa arttı ve bunun yanında da bükme (eğme) için gerekli kuvvet azaldı, % uzama ve çentik darbe tokluğu çok az oran da olsa arttı. Buradan normalizasyon ısıtma işleminin dislokasyonları düzenleyip, iç gerilmeleri azaltarak malzemeyi optimum değerlere taşıdığı gözlenmektedir. Neticede normalizasyon işlemi her zaman için önerilebilir ve faydalı bir ısıtma işlemidir.
- Deneylerde 30 HRC (300 HV) sertliğindeki mekanik özellikleri değerlendirmek amacıyla yağda soğutma + menevişleme ısıtma işlemi de yapılmıştır. Burada yağın soğuma esnasında buhar devresi suya göre daha az oluşarak iletim direncini

düşürdüğü bu sayede merkezle yüzey arasındaki sertlik farkını tamamen ortadan kaldırdığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında elde edilmiş 30 HRC (300 HV) sertlik değeri bile yağ ortamında soğutma koşullarının malzemelerdeki iç gerilmeyi fazla arttırmadığından akma ve çekme mukavemetini oldukça yükselttiği, bunun yanında eğme sırasında malzemeyi kırmadığı ve malzemede de yaklaşık %7'lik bir yüzde uzama sağladığı ve çentik darbe tokluğunun da çok düşük değerler almadığı gözlemlenmiştir. Buradan yağın mekanik özellikleri iyileştirmede oldukça etkin bir soğutma ortamı olduğu anlaşılmıştır ve sertleştirme işlemlerinde çok yüksek sertlik ve akma mukavemetleri istenmediği durumlarda önerilebilecek bir yöntem olduğunu gözlemlenmiştir. Yağda soğutma +menevişleme işleminde ortalama 893 MPa değerinde akma mukavemeti elde edilmesi işlemin verimini ayrıca kanıtlamaktadır.

- Deneyler sırasında anlatılan nedenlerden dolayı kaynak esnasında ön ısıtma uygulanmamıştır. Literatürde ise %0,25-0,50 arasındaki karbon ihtiva eden alaşımsız çelikler için 100°C-200°C'lik bir ön ısıtma önerilmektedir. Burada numunelere ön ısıtma uygulanmadığından çekme mukavemeti biraz düşmüş, özellikle yüksek yüklerde de yer yer kılcal çatlaklar oluşmuş bu çatlaklar da numunelerin sünekliğini hayli düşürmüştür. Ancak buna rağmen Ç 1040 çeliği kaynak edilebilirliği orta seviyede olan bir malzeme olduğu da gözlemlenmiştir. Daha fazla iyileştirmek için ön ısıtma, elektrodu yeterince kurutma, kaynak parametrelerinin de düzgün seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- Bütün bu koşullara rağmen kaynaklı malzemelerin ortalama akma mukavemeti, dolgu malzemesinin ortalama akma mukavemeti Ç1040'ın ortalama akma mukavemetinden yüksek olduğundan dolayı kaynaklılardan daha yüksek çıkmıştır. Çekme mukavemeti biraz düşük % uzaması da oldukça düşük çıkmıştır. Burada akma mukavemetine kadarki yüklerde ön ısıtma yapmadan bile kaynak dikişinin oldukça güvenilir olduğunu görülmektedir. Eğer ön ısıtmayı ilave maliyet olarak görülmesi halinde çekme mukavemetine yakın yüklerde (kaynağın plastik şekillendirme istenmesi veya dinamik yük uygulamalarında) muhakkak gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Kaynağın yapısından dolayı % uzama değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Deneylerde maksimum %14,6'lık (elektrot kaynaklı ısılsız)

% uzama gözlemlenmiştir. Burada kaynak parametrelerinin yanı sıra operatörün yetkinliğinin önemi de anlaşılmaktadır.

- Eğme esnasında eğer kaynakta sorun yoksa malzemelerde gözle görülür çatlaklar gözlemlenmemiştir. Buradan kaynaklı Ç 1040 çeliği için eğilebilirliğin (şekillendirebilirliğin) mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Sadece eğer kaynakta sorunlar varsa çatlaklar gözle görülür hale gelmiştir. Eğme için gereken yük ve aynı yükte meydana gelen sehim kaynağın tabiatındaki problemlerden dolayı kaynaklılara göre biraz düşmüştür.
- Gerilme giderme tavı uygulanmış kaynaklı numunelerde, mekanik testlere bakıldığında ise çekme esnasında çok yüksek aksenal yükler uygulandığından gerilme giderme tavının yeterince mekanik özellikleri iyileştirmede etkili olmadığı, eğme esnasında ise malzemeyi şekillendirmek için gerekli kuvveti bir miktar azalttığı ve böylece şekillendirmeyi biraz iyileştirdiği, çentik darbe tokluğunda ise sadece birkaç joule kadar darbe tokluğunu iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Buradan literatürde de belirtildiği üzere gerilme giderme tavı mekanik özellikleri fazla iyileştirmez sadece iç gerilmeleri biraz gidermesi beklenir. Yalnız bununla beraber deneylerde kaynak bölgesi henüz sıcakken değil de kaynak soğuduktan sonra gerilme giderme tavı yapılmış olması da gerilme giderme tavından kazanılabilecek faydaları azalttığı düşünülmektedir. Gerilme gidermenin iç gerilmeleri azaltması sayesinde, şekillendirme için gerekli kuvveti bir miktar azalttığı aşıkardır.
- Deneylerde önceden kaynak yapılmış numunelerin herhangi bir sertleştirme işlemi için uygun olmadığını yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Çünkü ilgili mukavemet ve süneklik değerlerinin çok fazla düşmüş olduğu gözlemlendi. Sertlik genellikle aşınma, akma ve çekme mukavemetini iyileştirmek için istenir. Kaynaklı numunelerde ise akma ve çekme mukavemetinde sertleştirme sonucunda meydana gelen artış sınırlı kaldı. Kaynaklı malzeme eğer sertleştirilecekse de 25-30 HRC (270-300 Hv) üzerine çıkılmayacak kadar yağda soğutma + menevişleme işleminin kaynaklı malzemeler için daha uygun olduğunu söyleyebilir. ITAB bölgesinde aşırı sertleşme, ITAB kaba taneli alanın ortadan kalkması ve kaynak dolgu metalinin yeterince sertleşmemesinin mukavemet artışını azalttığı düşünülmektedir. Bunun

yanında eğer kaynaklı bir konstrüksiyon eğer sertleştirilecekse yüklemenin mümkün olabildiğince fazla etki etmeyen bir bölgesinde kaynak dikişinin tasarlanması oldukça faydalı olacaktır.

- Gazaltı ve elektrot kaynağının mekanik özelliklerinin farklılıklarından deney yorumlarında bahsedilmişti. Gazaltı kaynağının daha seri olduğu, daha az kalifiye operatör gerektirdiği bilinmektedir. Bu nedenle akma mukavemetine kadar kullanılacak ve statik yüklerdeki makina aksamı için gazaltı kaynağının daha seri olduğu söylenebilir. Çentik darbe ve çekme testlerinden de anlaşılacağı üzere akma mukavemetinin üzerindeki yüklerde, tokluk ve süneklik aranan uygulamalarda kalifiye operatörle kurutulmuş bazik elektrot kaynağının önemi anlaşılmıştır.
- Mikroyapı fotoğraflarını genel olarak değerlendirildiğinde; Ç1040 çeliği için düzenli bir ferrit-perlit dağılımına sahip olduğu, çekme uygulamalarında ferritlerin tane sınırından akmaya çalıştığı bu nedenle karbon oranı düştükçe % uzamanın artacağı, tam tavlama işleminde kısmen kaba taneli perlit oluştuğu, normalizasyon işleminde şekillendirme sonucunda mikroyapının şekillendirme yönünde yöneldiği, yağda soğutma+menevişleme işleminde aşırı ince taneli, dengeli ferrit-perlit yapısı oluştuğu, suda soğutma işleminde karbonun kristal kafese hapsolarak iğnemsisi, karmaşık yapılar meydana getirdiği ve yapının kalıntı östenitlere de sahip olduğu, suda soğutma+menevişleme yapıldığında ise iğnemsisi yapıların kısmen tanemsisi yapıya dönüştüğü gözlemlenmiştir.
- Kaynaklı mikroyapılarda ise kaynak metalinden uzak bölgede mikroyapı değişimi gözlemlenmediği kaynağa yakın kısımlarda aşırı ince taneli perlit-ferrit dağılımı elde edilerek tanelerin hadde yönünde dizildiği, ergime çizgisine daha da yaklaşıldıkça tanelerin irileştiği gözlemlenmiştir.
- Kaynağın fiziğine uygun olarak, kaynak esnasında oluşan ark ısısının etkisiyle katılma, çekirdeklenerek değil, ana malzeme tarafındaki taneler üzerinden tanelerin kristal yapı ve yönelmelerini aynen takip ederek (epitaksiyel) olarak başlamıştır ve bu katılmanın da dentritik kollar sayesinde kaynak merkezine doğru



ilerleyerek tamamen katılaştığı ısıtma işlemi uygulamada gayet net olarak görülmektedir.

- Isıtma işlemi ilgili genel bir öneride bulunulacak olursa, Ç1040 çeliği için tam tavlama mukavemeti düşüren, sünekliği artıran ve bu yolla plastik şekillendirme için önerilebilen bir işlem olmakla beraber maliyeti yüksektir. Normalizasyon işlemi malzemenin mekanik ve süneklik özelliklerinde kısmi artış sağlayıp optimize etmiş olduğu görülmektedir. Şekillendirmeyi kısmen artırıp mukavemet kaybına yol açmak istemiyorsak veya tam tavlama maliyeti yüksek bulunmuşsa normalizasyon işlemi önerilebilir.
- Ç 1040 çeliği için merkez ve yüzey sertliği arasındaki fark, tokluk önemli ise ve 20-40 HRC (220-400 HV) arası sertlik gerekiyorsa yağda soğutma ve istenen sertlik değerine bağlı olarak menevişleme sıcaklığının tespiti ilgili çizelgelerden bakılması önerilir. Deney numunelerinde yağda soğutmada menevişleme öncesinde 42-44 HRC (410-435 HV) 'ye civarı çıkmıştı, 40 HRC'nin (390 HV) üzerinde menevişleme yapılmadığı için malzemenin iç gerilmelerinin fazla çıkacağı aşıkardır. Suda soğutmada ise tokluğun düşeceği, soğuma esnasında buhar filmi daha fazla oluşacağından merkez ve yüzey arasında sertlik farkı bulunacağı aşıkardır. 38-50 HRC (380-520 HV) arasında sertlik isteniyor ise suda soğutma ve istenen sertlik değerine bağlı olarak menevişleme önerilir. 50 HRC'ye (520 HV) kadar sertlik ve akma mukavemetindeki artışın birbirleri ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Düşük sertliklerde artışın lineer olduğu belirli bir sertliğin üzerinde ise lineerlikten saptığı yağda soğutma+menevişleme işlemindeki akma mukavemetindeki elde edilen yüksek değerlerden dolayı anlaşılmalıdır. 50 HRC'nin (520 HV) üzeri sertlik değeri ise Ç1040 için önerilmemektedir.
- Tüm değerler iki ayrı tablo halinde Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.





## KAYNAKÇA

- 1) İ. Ay. "Kaynak Elektrotları". makine2.kocaeli.edu.tr/kaynak/kaynakel.pdf. Ders Notları, Kocaeli, 2005.
- 2) S. B. Baran , "P91 malzemelerde ön-tav ve kaynak sonrası gerilim giderme ısıtılmasında sıcaklık farklılıklarının kaynak üzerindeki etkilerine genel bakış -1", Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, Kocaeli, 295-306, 2003.
- 3) A. Çalık , "AISI 1020, AISI 1040 ve AISI 1060 çeliklerine soğutma hızının sertlik ve mikroyapı üzerine etkisi ", International Journal of Physical Sciences, 4 (9),514-158, 2009.
- 4) M. Çakır, Su verme ısıtılmasında çelik ortam arasındaki ısı transferinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.
- 5) S. Çelik ., N. Otmanbölük ., L. Fidan ., "Çelikteki alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe ve sertleşme derinliğine etkisi ", TiMAK-Tasarım imalat Analiz Kongresi, Balıkesir, 157-162, 2006.
- 6) F. Çalık Akkor Metalurji firması akkormetalurji.com/ FileUpload/ bs377066 /File/gorsel \_kontrol\_(ppt). "Tahribatsız Muayene Firma Eğitim Slaytları". İstanbul, 2008.
- 7) H. Demir , İ. Çiftçi , M. Türkmen , S. Gündüz " Orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde ısıtılma şartlarının ve sertliğin işlenebilirliğe etkisi" 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Elazığ, 2011.
- 8) M. Demirezen., M. Bayrak , F. Öztürk , "DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtılma işleminin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması", Teknoloji, 9 (2), 145-152, 2006.

- 9) A. Durgutlu , B. Gülenç .,K. Tülbentçi ., “Ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi ”, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 24, 251-259, 1999
- 10) A. A. Eker,. “Demir Karbon Denge Diyagramı.” www. yildiz. edu. tr /~akdogan /lessons / .../Demir\_Esasli\_Malzemeler.pdf Ders Notları , İstanbul, 2008.
- 11) A. A. Eker,. “Çeliğin Isıl İşlemi” www. yildiz. edu .tr/ ~ akdogan /lessons/ malzeme1/ Celigin\_isil\_islemleri.pdf. Ders Notları , İstanbul, 2008.
- 12)E.Erişir, “Çeliklerde Malzeme Bilimi ve Son Gelişmeler.” metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt209-04.pdf Ders Notları, Kocaeli, 2012.
- 13) B. Eryürek, Askaynak Eğitim Notları. www. askaynak. com.tr/. .. /34/20110704114231 \_gazalti-ark-kaynagi.pdf. İstanbul, 2007.
- 14) B. Eryürek, Askaynak Eğitim Notları. www. askaynak. com. . tr/contents/ 288/20111204191125 \_as\_b204.pdf. İstanbul, 2007.
- 15) İ. Güneş ., S.Ulu .,O. Ayan ., “Su verilmiş çeliklerdeki temperleme kademlerinin aşınma davranışına etkisinin araştırılması ”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009.
- 16) F. M. Harman, Çeliğin Isıl İşleminin Teorik ve Pratik Esasları. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, İzmir, 2003.
- 17) A. Izzatul . İ. Syarul, A. M., Amalina A., Abdul G., “Gazaltı kaynağı (MIG) işlemlerine farklı kaynak parametrelerinin etkisi ”, Procedia Engineering, 41, 1502-1506, 2012.
- 18) Kalpakjian, S. Manufacturing Engineering and Technology, 3.edition kitabı, New York,2001.

- 19) E. Keleşoğlu . Keleşoğlu 2008 [www.yildiz.edu.tr/~ergunk/isil-yansilar.html](http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/isil-yansilar.html)  
“Isıl İşlem” Ders Notları, İstanbul, 2008.
- 20) N. Köksal., G.Akpınar ., İ. Aydın ., “AISI 1060 çelik malzemenin tokluk ve sertlik değerine soğutma ortamının etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (2): 45-52, 2010.
- 21) N. Köksal ., M.Uzkut ,B. Ünlü , “Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıl işlemlerle değişimi ”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (2): 95-100, 2004.
- 22) S. Köse.,R. Sakin ., “AISI-1040 VE AISI-P20 çeliklerinde alaşım oranı ve mikroyapının sertleşme kabiliyetine etkisi ”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 170-182, 2010.
- 23) G. Krauss ., “Martensite in Steel” ,Materials Science and Engineering, A273-275, 40-57, 1999.
- 24) A. Kurt ., E. Avcioğlu , “Karbon eşdeğerliği yüksek çeliklerin kaynağında ön tav sıcaklığının kaynak metali morfolojisine etkisi ”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2), 1-6, 2004.
- 25) M. O. Mor, Çeliklerin Ark Kaynağında Ön Tavlama Sıcaklığının ITAB Mikroyapısı ve Sertliğine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2001.
- 26) K. P. Narayan., P. Fernandes “Effect of Section Size and Agiation on Heat Transfer During Quenching of AISI 1040 Steel”, Journal of Materials Processing Technology, 183, 1-5, 2007.
- 27) K. P. Narayan , P. Fernandes ., “Effect of Surface Roughness on Metal/quenchant Interfacial Heat Transfer and Evolution of Microstructure”, Materials and Design, 28, 544-550, 2007.

- 28) ODTU, Kaynak Mühendisliği Ders Notları. Avrupa Kaynak Federasyonu, 2005.
- 29) Ş.Polat .,H. Ş. Atapek ., E. S. Önen ., “Elektrod ark kaynak yöntemi ile kaynaklanmış temper beynitik bir çelikte mikroyapısal ve fraktografik incelemeler ”, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 492-497, 2011.
- 30) T. Savaşkan, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Derya Kitabevi, Trabzon, 2009.
- 31) M. Subaşı. , Ç. Karataş , “AISI 4140 çeliğinde sertlik, yorulma dayanımı ilişkisi”, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1), 21-27, 2010.
- 32) A. Şık , “MIG/MAG kaynağı ile kaynatılan çelik yapılarda koruyucu gaz karışımlarının mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması ”, Trakya Univ J Sci, 8(1): 55–60, 2007.
- 33) T. Teker , T. Kurşun , “AISI 1030 çelik çiftinin manuel (GMAW) ve sinerjik kontrollü (GMAW-P) kaynağında tane morfolojisinin karşılaştırılması”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (4), 39-45, 2010.
- 34) M. Tutar , “Çeşiğe Uygulanan Sertleştirme Yöntemleri’ home .uludag. edu .tr/ users/ mumintutar /mm/7.pdf Ders Notları, Bursa,2011.
- 35) S. Ulu, Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi,Afyon, 2004.
- 36) S.Ulu ., H.Aytekin ., G.Said ., “4 farklı çeliğin bazı mekanik özelliklerine Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramında A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub> arasında yapılan ısıl işlemlerin etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2): 1-9, 2006.
- 37) M. Uzkut ,İ. Özdemir , “Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarını mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 3 (3): 65-73, 2001.

