

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**P460-St52 MALZEME ÇİFTİNİN TOZALTI KAYNAK
YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Ebru TUFANOĞLU

Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

EKİM-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**P460-Sı52 MALZEME ÇİFTİNİN TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ İLE
BİRLEŞTİRİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ebru TUFANOĞLU**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Eylül 2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 20 Ekim 2017

Tez Danışman : Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Sermin OZAN

Yrd.Doç. Mustafa TÜRKMEN



EKİM-2017

ÖN SÖZ

Tüm tez çalışmalarım sırasında benden hiçbir yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ' ne sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreç içerisinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem ve babam Süreyya-Gürkan TUFANOĞLU' na teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimine (Proje No: TEKF.16.27) desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ebru TUFANOĞLU
ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖN SÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ	2
3. KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	5
3.1. Kaynak Kabiliyeti.....	5
3.2. Ergitme Kaynak Yöntemleri.....	6
3.2.1. Tozaltı Kaynağı	7
3.2.1.1. Tozaltı Kaynak Yönteminin Genel Özellikleri.....	7
3.2.1.2. Tozaltı Kaynak Yönteminde Kullanılan Tozlar	8
3.2.1.2.1. Kaynak Tozunun Kaynağa Fiziksel Etkileri.....	9
3.2.1.2.2. Kaynak Tozunun Kaynağa Kimyasal Etkileri	10
3.2.1.2.3. Tozaltı Kaynak Yönteminde Kullanılan Tel (Elektrot) Çeşitleri	10
3.2.1.3. Tozaltı Kaynak Yönteminin Avantajları	11
3.2.1.4. Tozaltı Kaynak Yönteminin Dezavantajları	12
3.2.1.5. Tozaltı Kaynak Yönteminin MIG/MAG Kaynak Yöntemi İle Mukayesesi	12
4. YAPI ÇELİKLERİ.....	13
4.1. St52 (S355J2G3) Çeliği.....	14
5. P460 BASINÇLI KAPLAR.....	16
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
6.1. Çalışmanın Amacı	21
6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	21
6.3. Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirme	22
6.4. Kaynak Yapılmış Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri	24
6.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Sertlik Ölçümleri	24
6.6. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri.....	25

6.7.	Kaynak Yapılmış Numunelerin Çentik Darbe Testi	26
7.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	27
7.1.	Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapı İncelemesi	27
7.2.	Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertlik Analizinin İncelenmesi	30
7.3.	Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayene Sonuçlarının İncelenmesi	32
7.4.	Kaynaklı Birleştirmelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi	35
7.5.	Kaynaklı Birleştirmelerin Kırılma Yüzeyleri ve EDS ve SEM Analizi....	36
7.6.	Kaynaklı Birleştirmelerin XRD Analiz Sonuçları.....	39
8.	GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	41
8.1.	Genel Sonuçlar	41
8.2.	Öneriler.....	42
	KAYNAKLAR.....	43
	ÖZGEÇMİŞ	46

ÖZET

Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip malzeme çiftlerinden P460 ve St52 (S355J2G3) malzeme çifti tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak, 17-20 cm/dk. kaynak hızları, ve 450-500, 475-525, 500-550, 525-575, 550-600 amper değerlerinde birleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantılara çentik darbe testi uygulandı. Mikrosertlik ölçümleri Vickers skalasında 500 gr'lık yük altında yapıldı. Kaynak sonrası üretim parametrelerinin birleşme bölgesinde meydana gelen mikro yapı değişiklikleri; Optik Mikroskop ve EDS analizleri ile incelendi. Radyografik muayenesi gerçekleştirildi. Yapılan incelemeler sonrasında bütün kaynaklarda, kaynak hızı arttıkça kaynağın mekanik özelliklerinin kötüleştiği, ancak amper değeri arttıkça çentik darbe test sonuçlarının iyileştiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: St52 (S355J2G3), P460, tozaltı kaynak yöntemi, kaynak kabiliyeti, malzeme muayene.

SUMMARY

The Investigation of Joinability with Submerged Arc Welding of P460-St52 Materials Pairs

In this study, P460 and St52 (S355J2G3) material pair among material pairs with different properties were joined by using submerged welding method at 17-20 cm/min welding speed and 450-500, 475-525, 500-550, 525-575, and 550-600 amperes. The welded joints were subject to notch impact test. Microhardness measurements were made in Vickers scale under a load of 500 g. Microstructure changes in the joint zone of post-welding production parameters were investigated by optical microscope and EDS analyses. Radiographic examination was performed. After the examinations, it was determined that the mechanical properties of the welding worsened with increasing welding speed, but results of the notch impact test improved with increasing ampere value.

Key words: St52 (S355J2G3), P460, Submerged welding method, weldability, material inspection.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin bağlantılarının gösterilmesi	5
Şekil 3.2. Tozaltı kaynağı yönteminin şematik diyagramı.	7
Şekil 3.3. Tozaltı kaynağı donanımı şematik diyagramı.....	8
Şekil 3.4. Tozun kaynak esnasında kullanılması	9
Şekil 6.1. Tozaltı kaynağı donanımı şematik diyagramı.....	23
Şekil 6.2. Tozaltı kaynağı makinası ve kaynak sırasındaki fotoğrafı	23
Şekil 6.3. Mikrosertlik ölçüm bölgelerinin şematik gösterimi.	24
Şekil 6.4. Kullanılan mikrosertlik cihazı	25
Şekil 6.5. Radyografik yönteminin şematik olarak gösterimi.....	25
Şekil 6.6. Çentik darbe deney numunelerine ait ölçüler	26
Şekil 6.7. Çentik darbe deney cihazı.....	26
Şekil 7.1. Kaynaklı malzemelerin mikroyapı bölgeleri.	27
Şekil 7.2. St52'nin 475-525 Amper'deki mikroyapı görüntüleri.	28
Şekil 7.3. P460'ın 475-525 Amper'deki mikroyapı görüntüleri	29
Şekil 7.4. Yatayda ve dikeyde Mikrosertlik ölçüm bölgeleri	30
Şekil 7.5. St52 malzemesinin dikey eksendeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği	30
Şekil 7.6. St52 malzemesinin yatay eksendeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği	31
Şekil 7.7. P460 malzemesinin dikey eksendeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği	31
Şekil 7.8. P460 malzemesinin yatay eksendeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği	32
Şekil 7.9. P460 numunelerinin röntgen görüntüleri.....	33
Şekil 7.10. St52 numunelerinin röntgen görüntüleri.....	34
Şekil 7.11. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonucu makro görüntüleri a) P460 b) St52	35
Şekil 7.12. St52 çeliğinin a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırılma yüzey görüntüsü (525-575 amper değerleri).....	37
Şekil 7.14. Numunelerin XRD analizinin sonucu a) P460 b) St52.....	40

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı.....	6
Tablo 3.2. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elemanların % sınırları ve etkileri	11
Tablo 4.1. ASTM standartlarında tanımlı yapı çelikleri.....	14
Tablo 4.2. St52 çeliğinin kimyasal bileşimi	15
Tablo 4.3. St52 çeliğinin mekanik özellikleri	15
Tablo 5.1. P460 çeliğinin kimyasal bileşimi	16
Tablo 5.2. P460 çeliğinin mekanik özellikleri	16
Tablo 5.3. Kaynaklı Bağlantı Türleri	17
Tablo 5.4. Kaynak Verim Katsayıları Ve Uygulama Sınırları	18
Tablo 5.5. Pekiştirme sırasının kalınlığı.....	19
Tablo 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan çelikler ve ilave metal malzemelerin kimyasal bileşimi	22
Tablo 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan çelikler ve ilave tel malzemelerin mekanik özellikleri.....	22
Tablo 6.3. Deneysel çalışma sırasında kullanılan kaynak parametreleri	22
Tablo 7.1. Radyografik muayenede kullanılan parametreler	32
Tablo 7.2. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonuçları.....	35
Tablo 7.3. EDS analiz sonuçları	39

1. GİRİŞ

Kaynak, bugün imalat sektörünün büyük bir kısmı tarafından önemi kabul edilmiş, pek çok sayıda tekniği kapsayan bir teknoloji haline gelmiştir. Bilimsel anlamda inceleme ve araştırma konusu olmuştur. Çünkü kaynaklı birleştirmelerin artık yaşamın her noktasına uzanan, uygulamaları söz konusudur. Bunun yanında yeni ve özellikli malzeme türlerinin geliştirilmesi ve bu malzemelerin birleştirilmesinde güvenle kullanılacak kaynak tekniklerin icadı, kaynak tekniğinin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir. Bu sonuçlar düşünüldüğünde, kaynaklı bağlantıların mutlaka iyi analiz edilmesi ve incelenmesi zorunlu hale getirmektedir. Günümüzde ergitme, katı hal ve bunların kapsadığı birçok kaynak yöntemi bulunmaktadır [1].

Bu çalışmada; P460-P460 basınçlı kapların ve St52-St52 (S355J2G3) malzemesinin ergitme kaynak yöntemi olan tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Araştırma; hem malzeme bilimi ve karakterizasyonu hem de kaynak bilimi alanlarında literatüre önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir. Her değişken parametrede 2 adet kaynaklı bağlantı elde edilmiştir. P460 ve St52 (S355J2G3) malzeme çifti tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak, 17-20 cm/dk. kaynak hızları, ve farklı amper değerlerinde birleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantılara çentik darbe dayanımlarını belirlemek amacıyla, çentik darbe testleri yapılara kaynaklı bağlantıların her iki tarafında mikrosertlik taraması yapılmıştır.

Mekanik testler (sertlik, çentik darbe) ve mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ortaya çıkabilecek söz konusu problemler tahribatlı ve tahribatsız (radyografi) malzeme muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Aynı zamanda, kaynak sonrası üretim parametrelerinin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişim üzerine etkileri araştırılmıştır. Kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimi belirlemek için optik, SEM, EDS ve XRD analizi yapılmıştır.

2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Ahmet Durgutlu ve arkadaşları (2002), tozaltı ark kaynağında kaynak tozunun mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada tozaltı ark kaynağı ile düşük karbonlu çelik malzemeler birleştirilmiş ve birleştirmenin mekanik ve metalürjik özellikleri araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda, kaynak metali sertliği ve mikroyapısını değiştirdiği tespit edilmiştir [2].

Nizamettin Kahraman ve arkadaşları (2005), tozaltı ark kaynağı ile kaynaklanan düşük karbonlu çeliklerde serbest tel uzunluğunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda kaynak esnasında kullanılan farklı serbest tel uzunluklarının kaynak metali sertliği ve mikroyapısını değiştirdiği tespit edilmiştir [3].

Yakup Kaya ve arkadaşları (2010), tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki grade gemi saclarının mekanik özelliklerinin araştırılması konusunda çalışmada bulunmuştur. Bu çalışmada, gemilerin imalatının büyük bir bölümünde kullanılan üç farklı kalınlıkta Grade A gemi sacları, tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynaklı bağlantıların dayanımlarının belirlenmesi için numunelere çekme ve çentik darbe testleri uygulanmış, ayrıca numuneler üzerinde sertlik ve mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir [4].

G. Küpeli ve arkadaşları (2011), paslanmaz çelik ve düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin toz altı kaynağı ile birleştirilmesini incelemişlerdir. 304 Ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu alaşımsız çelik malzemelerin kaynağında tozaltı kaynağının, ana malzemenin bileşimlerine yakın kaynak teli ve tozu kullanıldığında, kaynak metalinin çekme dayanımı ve sünekliği bakımından güvenilir uygun değerlerde olduğu görülmüştür [5].

Ali Akın Akay ve arkadaşları (2013), farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi konusunu incelemişlerdir. Bu çalışmada, petrol ve doğal gaz hatlarında kullanılan, X60, X65 ve X70 çelikleri, tozaltı ark kaynak yöntemi ile farklı tel (S1 ve S2Mo) ve tozlar (LN761 ve P223) kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan gözle ve radyografik muayeneler sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır. [6].

Ali Akın Akay ve arkadaşları (2013), tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen X60, X65 ve X70 çeliklerin kaynak bölgesinin etüdü konusunda araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, petrol ve doğal gaz hatlarında kullanılan, düşük alaşımlı, ince taneli ve yüksek mukavemetli X60, X65 ve X70 çelikleri, tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Makroyapı resimleri incelendiğinde kaynak bölgesinde çatlaklara, yırtılmalara, boşluklara, ergime/nüfuziyet azlığına, curuf kalıntılarına ve yanma oluklarına rastlanılmamıştır [7].

Aydın Şık (2003), MIG/MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımlarının eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması adlı makalesinde, 4 mm kalınlığındaki yapı çeliği (St52-3) kullanmıştır. St52 (S355J2G3) MIG/MAG kaynağı ile birleştirme gerçekleşmiştir. Seçilen gazlar ve elektrodlarla MIG/MAG kaynağı yapıldıktan sonra kaynak dikişinden çıkarılan numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir [8].

Nurettin Yavuz ve arkadaşları (2005), tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi makalesinde, St 52-3 (S355J2G3) kalitesindeki alaşımsız yapı çelikleri (imalat çelikleri) tozaltı kaynağı kullanılarak birleştirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmada, tozaltı kaynağı yöntemi kullanılarak kaynak edilmiş parçaların kaynak metali, ısının tesiri altında kalan bölge ve esas metal bölgelerinin mekanik özelliklerini, düz çekme numuneleri kullanılarak belirlemek amacıyla deneysel bir araştırma yapılmıştır. Modelleme ile kaynak sonrası malzemenin durumu önceden tahmin edilebildiği gibi kaynak parametrelerinin optimizasyonu da sağlanabilmektedir [9].

Memduh Kurtulmuş ve arkadaşları (2009), normalize St52 (S355J2G3) çeliklerin ultrasonik muayenesi adlı çalışmayı yapmışlardır. 23 mm kalınlıktaki St52 (S355J2G3) çelik levhadan 4 parça kesilmiştir. Bir parçaya ısıtılma işlemi yapılmamıştır. Diğer parçalar 900° C, 1125° C veya 1350° C sıcaklıkta 2 saat tavlandıktan sonra sakin havada soğutulularak normalize edilmiştir. Bu dört parçanın mikroyapısı metalografik olarak tespit edilmiştir. Uygulama testler sonucunda ulaşılan sonuçlar; normalizasyon sıcaklığı arttıkça mikroyapı kabalaşmıştır [10].

H. Ashassi ve arkadaşları (2009), potasyum hidrojen-fosfatın St52-3 tipi çelik korozyonu engelleme üzerinde akış etkisi konusunu incelemişlerdir. St52-3 tipi çeliğin korozyon üzerinde hidrodinamik koşulların etkisi, RDE, % 3.5 NaCl ve K₂HPO₄ kullanarak incelenmiştir [11].

S.Cvetkovski ve arkadaşları örtülü elektrotlarla St52-3N (S355J2G3) çelik plakların ark kaynağı için kaynak prosedür özellikleri adlı çalışmayı yapmıştır. Tüm vakalarda kaynaklı eklemin mekanik özellikleri temel malzemesinin daha yüksek olduğu teyit edilmiştir [12].

Dariusz Fydrych ve arkadaşları su ortamında yüksek mukavemetli çeliğin kaynak kabiliyeti adlı makaleyi yayımlamışlardır. Makale sucul ortamda yüksek mukavemetli çeliklerin kaynak yapılabilirlik sorunlarını konu etmektedir. Islak koşullarda kaynaklı çatlak ve soğuk çelik S355J2G3 (St52) S500M oluşturmak için deneysel eğilimi değerlendirir. Test edilen çeliklerde çatlama karşı yüksek eğilim olduğu bulunmuştur [13].

Sait Ö. Eruslu (2008), ince cidarlı basınçlı tüplerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ince cidarlı basınçlı tüplerde ASTM standartlarında belirtilen iki farklı çelik için basınç etkisi altında gerilme analizi yapılmıştır [14].

Erdal Kimsesiz ve arkadaşları, basınçlı kapların periyodik test ve kontrol sistemi adlı çalışmayı araştırmışlardır. Bu çalışmada, Erdemir'de kullanılan basınçlı kapların test ve kontrolü ile ilgili iş talimatının kapsamı anlatılmaktadır. Bu şekilde farklı birimlerdeki benzer basınçlı kapların periyodik test ve kontrolü için, standartlaşma hedeflenmiştir [15].

3. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

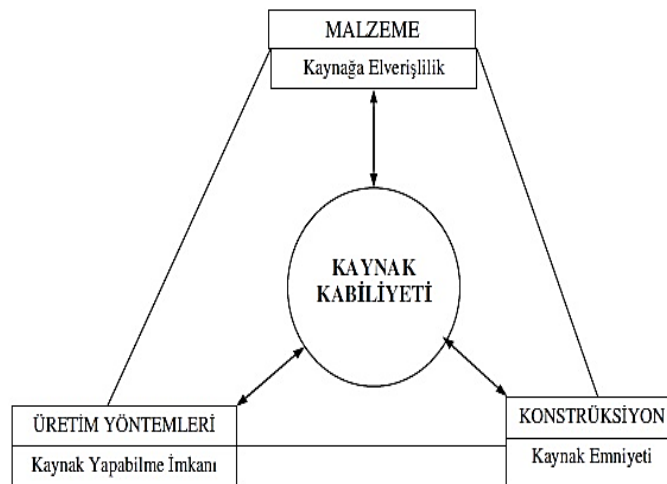
Kaynak, metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisini birden kullanarak, aynı cinsten ve erime aralığı aynı veya yaklaşık bir malzeme katarak veya katmadan birleştirmeye metal kaynağı adı verilir [16].

- 1) Katı hal kaynak yöntemleri
- 2) Ergitme kaynak yöntemi.

3.1. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti kesin bir ifadesi olmayan bir kavramdır. Genel olarak malzemelerin seçilen yöntem ile birleşebilme yeteneğidir. İmalat işleminde amaç, yalnız malzemelerin birleştirilmesi olmayıp birleştirilen parçaların çalışma şartlarında bozulmaması ve görevini yerine getirebilmesidir. Kaynaklı bağlantıdan bazı şartları yerine getirmesi istenir. Kaynaklı birleştirmenin gerekli şartları yerine getirme derecesine “kaynak kabiliyeti” denir.

Kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye bağlı değildir. Aynı zamanda kaynak usulüne ve kaynak konstrüksiyonuna bağlıdır. Bir malzeme bir metod ile iyi bir kaynak kabiliyetine sahipken diğer metod ile zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir [17].



Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin bağlantılarının gösterilmesi [17].

Yapı çeliklerinin kaynağında, karbon ve manganez oranı kaynak kabiliyeti bakımından çok önemli görülmektedir. Alaşım elemanlarının kaynak kabiliyeti üzerindeki etkileri, karbon cinsinden ifade edilmiştir.

$$\% C_{eş} = \% C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Karbon eşdeğerinden faydalanılarak bir yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı aşağıdaki tabloda olduğu gibi tavsiye edilmiştir [17]

Tablo 3.1. Yapı çeliği için gerekli ön tavlama sıcaklığı [17].

Karbon Eşdeğeri	Ön tavlama Sıcaklığı (°C)
0.45'e kadar	Gerek yok
0.45 - 0.60 arası	100 - 200
0.60'dan yukarı	200 – 350

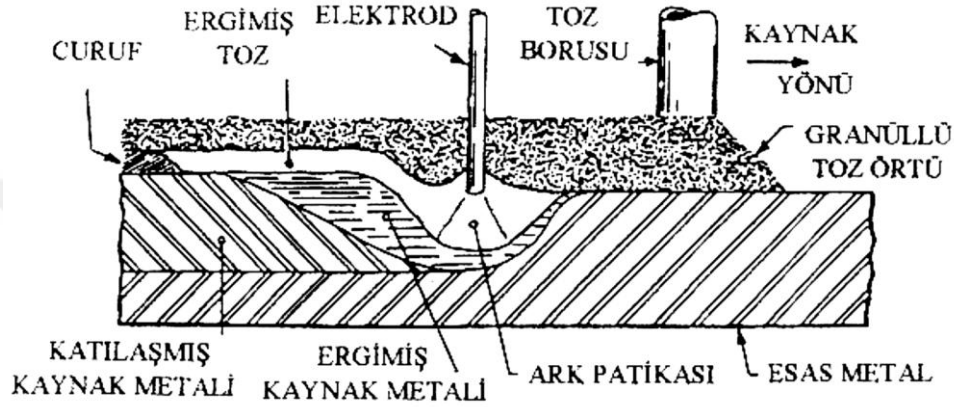
3.2. Ergitme Kaynak Yöntemleri

Ergitme kaynağı, malzemeyi yalnız sıcaklığın tesiri ile bölgesel olarak eritip, bir ilave metal katarak veya katmadan birleştirmektir [18].

1. Oksi-Asetilen Kaynağı
2. Plazma Ark (Pa) Kaynağı
3. Termit Kaynağı
4. Direnç Nokta Kaynağı
5. Elektro Cüruf Kaynağı
6. Lazer Kaynağı
7. Elektron Işın Kaynağı
8. Elektrik Ark Kaynağı
9. Tig Kaynağı
10. Mig-Mag Kaynağı
11. Tozaltı Kaynağı

3.2.1. Tozaltı Kaynağı

Toz altı kaynak yönetiminde de ark, otomatik olarak kaynak yerine sürülen çıplak elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir ve ayrı bir kanaldan kaynak yerine dökülen toz yığını altında işlevine devam eder. Kaynak arkının toz yığını altında teşekkül etmesinden dolayı bu yöneme tozaltı kaynak yöntemi denmiştir [9].



Şekil 3.2. Tozaltı kaynağı yönteminin şematik diyagramı [9].

3.2.1.1. Tozaltı Kaynak Yönteminin Genel Özellikleri

Tozaltı kaynağı, kaynak için gerekli ısının, eriyen elektrod (veya elektrodlar) ile iş parçası arasında oluşan ark (veya arklar) sayesinde ortaya çıktığı bir ark kaynak yöntemidir. Kaynak metali; esas malzeme, ilave metal ve kaynak tozunun kimyasal ve fiziksel reaksiyonu sonucu meydana gelir. Kaynak arkı, otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelir. Ark bölgesi kaynak tozu tabakası ile kaynak metali ve kaynağa yakın ana metal de eriyen kaynak tozu (cüruf) ve kaynak dikişi tarafından korunur. Koruyucu görevi yapan kaynak tozu ayrıca kaynak banyosu ile reaksiyona girerek kaynak metalini deokside eder. Bu yüzden ark enerjisinin büyük bir kısmı (takriben %64'ü) doğrudan kaynak için sarf edilmiş olur [4,6].

- Bazik karakterli tozlar
- Nötr karakterli tozlar

4. Manganez miktarına göre

- Yüksek manganezli Tozlar
- Orta manganezli tozlar
- Manganezsiz tozlar [16]



Şekil 3.4. Tozun kaynak esnasında kullanılması [19].

3.2.1.2.1. Kaynak Tozunun Kaynağa Fiziksel Etkileri

Koruyucu tozun yoğunluğu kaynak yapılan gerecin yoğunluğundan azdır. Yoğunluğu az olan gerecin bir kısmı kaynak ergiyik havuzu içerisine karışırken, diğer kısmı kaynak bölgesinde oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı yüzeyde toplanır.

Yüzeyde toplanan kaynak tozu curuf tabakasını oluşturur. Bu tabaka kaynak dikişinin ani soğumasını önler ve aynı zamanda kaynak içerisinde oluşan gazın dışarı çıkmasını sağlar. Bu esnada kaynak dikişine fiziksel olarak biçim vererek kaynak yüzeyinin düzgün olmasını sağlar [19].

3.2.1.2.2. Kaynak Tozunun Kaynağa Kimyasal Etkileri

Kaynak tozlarının kaynağa kimyasal olarak etkileri şunlardır:

- Kaynak tozunun özelliklerini kaynağın bileşimine iyi yönde verir,
- Koruyucu toz olarak kullandığımız malzeme sayesinde, kaynak dikişinin özellikleri istenildiği gibi değiştirilebilir,
- Kaynak banyosunun hacimce genişlemesini sağlar,
- Kaynak dikişi üzerinde yapısal değişikliklere yol açar [19].

3.2.1.2.3. Tozaltı Kaynak Yönteminde Kullanılan Tel (Elektrot) Çeşitleri

Toz altı kaynak yönteminde kullanılan çıplak elektrotlar, kaynak teli diye adlandırılır.

Toz altı kaynak telleri, yüksek mangan (Mn) içeren özel çeliklerden, genellikle dairesel kesitli olarak 1,2 - 1,4 - 1,6 - 2,0 - 2,4 -3,2 -4,0 - 5,0 ve 6,0 mm 0 çaplarında, bakırla kaplanmış olarak imal edilirler. Çıplak telin bakırla kaplanmasının üç nedeni vardır;

- Soğuk çekme esnasında passız ve temiz hale gelen teli, kullanım anına kadar oluşacak pastan korumak,
- Bakırın iyi bir elektrik ileticisi olmasından dolayı, telin kontakt elemanlarına temasında iyi iletkenlik sağlayarak, temas yüzeylerinin ısınmasını ve enerji ziyanını önlemek.
- Bakırın yumuşak olmasından dolayı, kaynak esnasında devamlı ilerleyen tel, kontakt elemanlarının temas yüzeylerinde aşınmaya sebebiyet vermez [20].

Tablo 3.2. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elemanların % sınırları ve etkileri [20].

Alaşım Elemanı	% Sınırları	Etkisi
Karbon (C)	0.05-0.25	- Sertliği artırır, çekme dayanımını yükseltir.
Silisyum (Si)	0.05-0.45	- Desokside eder - İşlenebilme kabiliyetini yükseltir. - Kaynak kabiliyetini artırır.
Manganez (Mn)	0.5-3.0	- Sertliği kısmen yükseltir. - Çekme ve çentik darbe dayanımını yükseltir. - Uzamayı artırır.
Molibden (Mo)	0.5-1.0	- Isıya dayanımı artırır.
Krom (Cr)	1.0-2.9	- Sertliği yükseltir. - Isıya dayanımı artırır.
Nikel (Ni)	1.0-2.0	- Düşük çalışma sıcaklıklarında dayanımı artırır.

3.2.1.3. Tozaltı Kaynak Yönteminin Avantajları

- Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini etkileyecek şekilde alaşımlandırılabilir. Böylece istenen özellikte daha ekonomik kaynak dikişleri elde edilebilir.
- Küçük bir değişiklik ile gazaltı kaynağına dönüştürülebilir.
- Düz ve silindirik parçaların kaynağında, her kalınlık ve boyuttaki boruların kaynaklarında ve sert dolgu kaynaklarında kullanılabilen yüksek kaynak hızına ve yüksek metal yığılma hızına sahip bir yöntemdir.
- Hatasız ve yüksek mekanik dayanımlı kaynak dikişleri verir.
- Kaynak esnasında sıçrama olmaz ve ark ısıları görünmez bu nedenle kaynak operatörü için gereken koruma daha azdır.
- Diğer yöntemlere göre kaynak ağzı açmadan kaynak yapmak mümkündür.
- Tozaltı kaynağı kapalı ve açık alanlarda uygulanabilir [20,26].

3.2.1.4. Tozaltı Kaynak Yönteminin Dezavantajları

- Tozaltı kaynak tozları havadan nem almaya eğilimlidir, bu da kaynakta gözeneğe neden olur.
- Yüksek kalitede kaynaklar elde edebilmek için ana metal düzgün olmalı, ana metal yüzeyinde yağ, pas ve diğer kirlilikler olmamalıdır.
- Cüruf kaynak dikişi üzerinden temizlenmelidir, bu bazı uygulamalarda zor bir işlem olabilir. Çok pasolu kaynaklarda, kaynak dikişine cüruf kalıntısı olmaması için cüruf her paso sonrası temizlenmelidir.
- Tozaltı kaynağı 5 mm' den ince malzemelerde yanma yapabileceği için genellikle uygun değildir.
- Yöntem özel bazı uygulamalar hariç, düz, yatay pozisyondaki alın kaynakları ve köşe kaynakları için uygundur.
- Her metal ve alaşım için uygulanabilen bir yöntem değildir [25].

3.2.1.5. Tozaltı Kaynak Yönteminin MIG/MAG Kaynak Yöntemi İle Mukayesesi

1. MIG/MAG kaynağına kıyasla tozaltı kaynak yöntemi ile yapılan birleştirmelerin, tam otomatik olarak yapılabilmesi nedeniyle daha kusursuz kaynak elde etmek ve insan kaynaklı sorunların önüne geçmek hedeflenmektedir.
2. Tozaltı kaynağında, daha derin nüfuziyet sağlanır ve bu sayede daha kalın parçaların tek seferde sorunsuz olarak kaynak edilebilmesini sağlanmış olur.
3. Toz altında yapılan birleştirmelerde çatlaksız uzun ömürlü birleştirmeler elde etmektir.
4. Tozaltı kaynak yönteminde kaynaklı birleştirmeler bir toz altında yapıldığından dolayı kontrollü soğuma ile kaynak bölgesinde çeşitli kusurların engellenmesi amaçlanmaktadır.
5. Tozaltı kaynak yönteminde daha hızlı üretim söz konusudur.

4. YAPI ÇELİKLERİ

Demir oranı, içerdği diğer elementlerin hepsinden daha fazla olan, genelde % 2'den daha az karbon içeren alaşımlara çelik denir. Çeliğin içyapısı ve içerdği elementlerin kimyasal bileşimi çeliğe farklı özellikler kazandırır ki bu elementlere alaşım elementleri denir. Alaşım elementleri çeliğe değişik oranlarda katılarak farklı özellikte çelikler elde edilebilir veya çeşitli işlemler (ıslah etme, normalizasyon tavı uygulama vs.) ile içyapı kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelikler üretilebilir [26].

Çeliğin içindeki diğer elemanlar;

- **Manganez:** Normal çeliklerde %0,30 - %0,80 Mn bulunur. Manganez çelikte kükürtle birleşerek MnS yapar ve böylece kükürdün demirle birleşmesini önler. Manganezin fazlası karbonla birleşerek mangankarbür (Mn_2C) oluşturur ve çeliğin sertliğini, mukavemetini artırır, plastikliğini azaltır.
- **Silisyum:** Karbonlu çeliklerde %0,01'den %0,30'a kadar Si bulunur. Çeliğin imali esnasında içinde meydana gelen gaz boşluklarını önlemek ve çeliği deokside etmek için kullanılır.
- **Kükürt:** Normal çeliklerde %0,05'den az kükürt bulunur. Çeliğin içindeki bütün kükürdün manganezle birleşmesi istenir.
- **Fosfor:** İyi çeliklerde iz halinden %0,05'e kadar fosfor bulunur. Fosfor çeliğin tane boyutunun büyümesine sebep olur. Bundan dolayı fazlası çeliği kırılgan yapar.
- **Oksitler:** Çelikte ayrıca demiroksit (FeO), manganoksit (MnO), silis (SiO_2) ve alümin (Al_2O_3) gibi oksitler vardır. Bu maddeler çelikte zararlıdır ve çeliğin zayıf noktalarını oluşturdıklarından çatlama ve kırılmalara sebep olur [27].

Tablo 4.1. ASTM standartlarında tanımlı yapı çelikleri [22].

ASTM Gösterilişi	Mekanik Özellikler	Kimyasal Bileşenler %						
	Çekme mukavemeti	Akma Sınır Gerilmesi	C	Mn	P	S	Si	Cu
Levha ve Profiller	t/cm ²	t/cm ²						
A36	4.24-5.62	2.53 (min)	0.26- 0.29	0.80- 1.20	0.04	0.05	0.15- 0.40	0.20 (min)
A242 HSLA	4.92 (min)	2.95; 3.23 3. 52;	0.15	1.00	0.15	0.05		0.20
A441	4.22-4.92	2.81; 2.95; 3.23; 3.52	0.22	0.85- 1.25	0.04	0.05	0.40	0.20
A514	7.03-9.14	6.33-7.03	0.10- 0.21	0.45- 1.50	0.035	0.04	0.20- 0.80	0.50`ye kadar
A572	4.22-5.62	2.95; 3.52; 4.22; 4.57	0.21- 0.26	1.35	0.04	0.05	0.15- 0.40	
A588	4.43-4.92	2.95; 3.23; 3.52	0.10- 0.19	0.50- 1.35	0.04	0.05	0.15- 0.90	0.20-0.50
A709	4.08-5.62 6.33-7.03 7.73-9.14	2.53-3.52 4.92-6.33	0.10- 0.25	0.40- 1.50	0.035	0.04	0.15- 0.80	0-0.50

4.1. St52 (S355J2G3) Çeliği

St52 (S355J2G3) çelikleri çelik konstrüksiyonlarında yaygın olarak kullanılan DIN 17100 standardına göre çekme dayancı 52 kgf/mm² olan yapı çeliği türüdür. Başındaki "st" ifadesi Almanca çelik anlamındaki "stahl" kelimesinden gelir [28].

Yapı çeliği; endüstriyel binalarda, köprü ve demiryollarında, geçici ve kalıcı zemin altyapı projelerinde, denizde yapılan dalgakıranlarda, gemi yapımında, şehirlerarası elektrik kabloları taşıyan direklerde kullanılmaktadır [8,10]. Çelik konstrüksiyonlarda St52 (S355J2G3) levha parçaların birbirlerine ve diğer çelik parçalara birleştirilmesi civata veya kaynak ile yapılmaktadır. Normal yapı çelikleri, hafif alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, bakır ve bakır alaşımları bu yöntemle kaynatılabilirler. Levha kalınlığı, kaynak

yöntemi, kaynak parametreleri ve kaynağın soğuma koşullarına bağlı olarak kaynak bölgesinde çok farklı mikroyapılar oluşabilmektedir [9,10].

Yapı çeliklerinin birleştirilmesinde oldukça yaygın olarak kullanılan MIG/MAG kaynağının kullanımının artması ile bu yöntemde kullanılan koruyucu gazların geliştirilmesi, çeşitli gaz karışımları ile yapılan kaynak bağlantılarında dikiş özelliklerinin incelenmesi yolunda araştırmalar yapılmaktadır [8]. Fakat MIG/MAG kaynağına kıyasla tozaltı kaynak yöntemi, tam otomatik olarak yapılabilmesi nedeniyle daha derin nüfuziyet ve daha kusursuz kaynak elde edilmesini sağlar.

Tablo 4.2. St52 çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cu
S3553J2	0,23	0,60	1,70	0,035	0,035	0,60

Tablo 4.3. St52 çeliğinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama (min)	Çentik Darbe Dayanımı (J)	
				- 20 °C	+ 20 °C
S3553J2	355	510	17	27	40

5. P460 BASINÇLI KAPLAR

Basınçlı kaplar; 0,490.105, Pa 0,5 atü ve daha yüksek basınçtaki endüstriyel gazların (hava, oksijen, azot, argon, hidrojen gazı), yakıt gazlarının (doğal gaz, asetilen gazı, desülfürize kok gazı) ve buharın üretiminde, taşınmasında ya da depolanmasında kullanılan küre, silindir ya da koni biçimli hacimlerin birleştirilmesinden oluşan atmosfere kapalı kaplar olarak tanımlanmıştır [15,23].

P460 çelik malzeme ise, özellikle köprüler, tankerler, boru bağlantı elemanları ve basınçlı kapların (CO₂ ve LPG tankları vb.) imalatında kullanılıyor.

Tablo 5.1. P460 çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo
P460	0,20	0,60	1,10	0,020	0,005	0,3	0,70	0,80	0,10

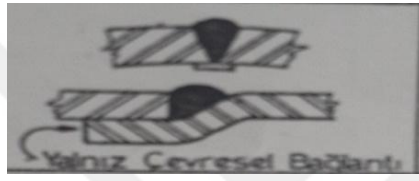
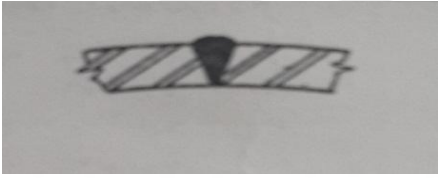
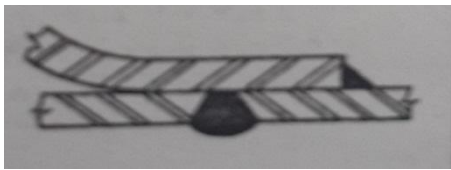
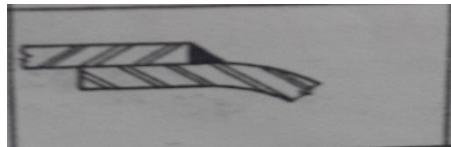
Tablo 5.2. P460 çeliğinin mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama (min)	Çentik Darbe Dayanımı (J)	
				- 20 °C	+ 20 °C
P460	450	570	17	35	27

Silindirik basınçlı kaplar endüstride sıvıların ve gazların basınç altında taşınmasında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Endüstride kullanılan basınçlı kaplar kompleks yüklemelere maruz kalabilirler (iç basınç, dış basınç, termal yükler). Silindirik basınçlı kaplarla ilgili yapılan ilk çalışmalar analitik olarak kabuk denklemlerinin kullanımına dayanmaktadır. Daha sonraki yıllarda analiz metotlarının gelişmesiyle birlikte kompleks basınçlı kap problemlerinin çözümleri elde edilmiştir. 1960 yılı sonlarında nükleer füzyon çalışmalarının yoğunlaşmasıyla birlikte nükleer tesislerde kullanılan basınçlı kaplar üzerine yapılan çalışmalar artmış ve analize dayalı basınçlı kap tasarımı uygulamaları başlamıştır. Basınçlı kapların tasarımında ve üretiminde yüksek güvenlik performansını sağlamak amacıyla birçok standart kullanılmaktadır. Standartlar, cidar gerilme-genleme ilişkisini göz önüne alarak minimum cidar kalınlığını süreksizlik noktalarında (Eğri değişimleri, bağlantı

kesişim yerleri, cidar değişimleri vs.) yüksek güvenlik faktörleri kullanarak tespit ederler [14].

Tablo 5.3. Kaynaklı Bağlantı Türleri [21]

Tür No.	Şekil	Açıklama
1		Çift taraflı veya başka bir şekilde (kaynak yüzeyinin tam hem içinde hem dışında aynı kalitede kaynak dolgusu sağlayacak şekilde) yapılmış alın kaynaklı bağlantı. Kaynak altı halkası bağlanılırsa bu halka kaynak, kaynak bittikten sonra çıkarılmalıdır.
2a 2b		Tek taraflı alın kaynağı (kaynak altı halka, kaynaktan sonra kalabilir.) Yalnız Çevresel Bağlantı
3		Tek taraflı ve kaynak, kaynak altı halka kullanılmadan yapılan alın kaynağı.
4		Çift köşe kaynaklı binme bağlantı.
5		Tek köşe kaynaklı ve tapa kaynaklı, binme bağlantı.
6		Tek köşe kaynaklı binme bağlantı.

Tablo 5.4. Kaynak Verim Katsayıları ve Uygulama Sınırları [21]

Kaynak Türü (Tablo 1)	Kaynak Verim Katsayısı			Uygulama Sınırları
	Tam olarak radyografik kontrol yapılırsa	Yerel kontrol yapılırsa	Kontrol yapılmazsa	
1	1	0,85	0,7	Herhangi bir sınırlama yoktur.
2a 2b	0,9	0,8	0,65	2a için bir sınırlama yoktur. 2b yalnız çevresel kaynaklarda uygulanabilir.
3	-	-	0,6	Yalnız çevresel bağlantılar içindir. Kalınlık 16 mm'yi, dış çap 600 mm'yi geçemez.
4	-	-	0,55	10 mm kalınlığı geçmeyen boyuna bağlantılar ile 16 mm kalınlığı geçmeyen çevresel bağlantılarda uygulanabilir.
5	-	-	0,5	a) 13 mm kalınlığı geçmeyen gövdeler ile 600 mm dış çapı geçmeyen başlıklar arasındaki çevresel bağlantılar. b) 16 mm'den daha kalın olmayan gövdeler ile tapa kaynak merkezi ile levha kenarı arasındaki uzaklık tapa delik çapının 1,5 katından az olmayan çevresel bağlantılar. Yarıküresel başlıkların gövde ile bağlantıları dışarıda tutulmuştur.
6	-	-	0,45	a) 16 mm kalınlığı geçmeyen gövde ile başlıkların bağlantısında gövde içinden köşe kaynağı yapılır. Ve ya, b) Her iki taraftan basınç altındaki başlıkların 600 mm iç çaptan büyük ve 6mm'den kalın olmayan gövdeler ile bağlantısında sadece başlık flanşına dıştan köşe kaynağı yapılır.

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 İçin Notlar:

1. Bu tablolarda ark ve gaz kaynak işlemleri için “ASME kod” da izin verilen kaynaklı bağlantı türleri gösterilmiştir.
2. Alın kaynağı ile birleştirilecek bütün kenarlardaki kaynak ağızları tam olarak erime ve geçiş sağlayacak şekilde olmalıdır.
3. Kaynak ağızları, pürüzlü, kesik vb.’ den arınmış olmalıdır. Kaynak ağızlarının tam olarak dolmasını sağlamak amacıyla, levha kalınlığını da aşacak şekilde ek pekiştirme kaynak sırası çekilebilir. Çekilen pekiştirme sırasının kalınlığı aşağıdaki değerleri geçmez.

Tablo 5.5. Pekiştirme sırasının kalınlığı [21].

Levha Kalınlığı (mm)	En Büyük Pekiştirme (mm)
2,4 mm’den az	0,8
2,4 - 4,8 (dahil)	1,6
4,8 – 25,4 (dahil)	2,4
25,4 – 50,8 (dahil)	3,2
50,8 – 76,2 (dahil)	4,0
76,2 – 101,6 (dahil)	5,6
101,6 – 127 (dahil)	6,4
127’den büyük	7,9

4. İçten ve dıştan alın kaynaklı bağlantılarda, içten kaynak yapmadan evvel ilk sıra kaynaktan sonra taş vb. ile temizlik yapılarak sonraki kaynak sıralarının tam geçişi sağlanmalıdır. Tozaltı ark kaynaklarında kraterde ağız açılması önerilir.
5. Kap yerel olarak radyografik kontrolden geçecekse, alın kaynağı ile bağlanacak dikişsiz gövde ve başlıkların çevresel gerilime göre tasarımında, malzeme için belirtilen izin verilen en büyük gerilim değerinin 0,85 katı alınır.
6. Kap, radyografik kontrolden geçmezse ve Tablo 5.5’ de verilen kaynak verim katsayıları kullanılırsa, hesaplamalarda malzeme için verilen izin verilen en büyük gerilim değerinin 0,80 katı alınır. (Düz başlıklar dışında) [21].

İşletmelerde iş sağlığı ve iş güvenliği yönünden, basınçlı kapların emniyet ekipmanları ile birlikte güvenli bir şekilde kullanılması için, bu kapların periyodik olarak test ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Basınçlı kapların test ve kontrol edilmesinde genel

olarak; korozyon, sızdırmazlık, kalınlık, aşınma, çatlak, çizik, deformasyon, kalınlık, bağlantı kontrolü, sıcaklık, basınç, temizlik, fonksiyon, cihazların kalibrasyon durumu vs. kriterlerin kontrol edilmesi gerekmektedir [15].



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; P460 basınçlı kapların ve St52 malzemesinin ergitme kaynak yöntemi olan tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Araştırma; hem malzeme bilimi ve karakterizasyonu hem de kaynak bilimi alanlarında literatüre önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir. Piyasadan temin edilen 100x100 mm boyundaki malzemeler CNC ve Torna tezgâhında işlenerek kaynak numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler deneysel tasarım programına uygun şekilde numaralandırılmıştır. Her değişken parametrede 2 adet kaynaklı bağlantı elde edilmiştir. P460 ve St52 (S355J2G3) malzeme çifti tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak, 17-20 cm/dk. kaynak hızları, ve 450-500, 475-525, 500-550, 525-575, 550-600 amper değerlerinde birleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantılara çentik darbe dayanımlarını belirlemek amacıyla, TS 269/75 EN 10 045-1:1990 standardına uygun numuneler CNC ve torna tezgâhlarında hazırlanmış, çentik darbe testleri yapılarak kaynaklı bağlantıların her iki tarafında mikrosertlik taraması yapılmıştır.

Mekanik testler (sertlik, çentik darbe) ve mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ortaya çıkabilecek söz konusu problemler tahribatlı ve tahribatsız (radyografi) malzeme muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Aynı zamanda, kaynak sonrası üretim parametrelerinin birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişim üzerine etkileri araştırılmıştır. Kaynaklı bağlantıların birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimi belirlemek için optik, SEM, EDS ve XRD analizi yapılmıştır.

6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Tablo 6.1’de kimyasal analizleri, Tablo 6.2’de mekanik özellikleri verilen, P460 ve St52 malzeme çifti tozaltı kaynak yöntemi ile Tablo 6.3’de verilen amper değerleri ve kaynak hızlarında OERLIKON- Mz-1250BF markalı kaynak makinasında birleştirilmiştir. Tozaltı kaynak parametreleri pilot çalışmalar ve literatür çalışmaları dikkate alınarak seçilmiş olup, 3.2 mm çapındaki ilave tel ve kullanılan tozun kimyasal analizleri ve mekanik özellikleri aşağıda mevcuttur.

Tablo 6.1. Deneysel çalışmada kullanılan çelikler ve ilave metal malzemelerin kimyasal bileşimi

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo
P460	0,20	0,60	1,10	0,020	0,005	0,3	0,70	0,80	0,10
S3553J2	0,23	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60	-	-
Ticari tel	0,12	0,10	1,00	-	-	-	<0,30	-	0,5
Ticari toz	0,10	0,4	1,60	0,016	0,007	-	-	-	0,5

Tablo 6.2. Deneysel çalışmada kullanılan çelikler ve ilave tel malzemelerin mekanik özellikleri

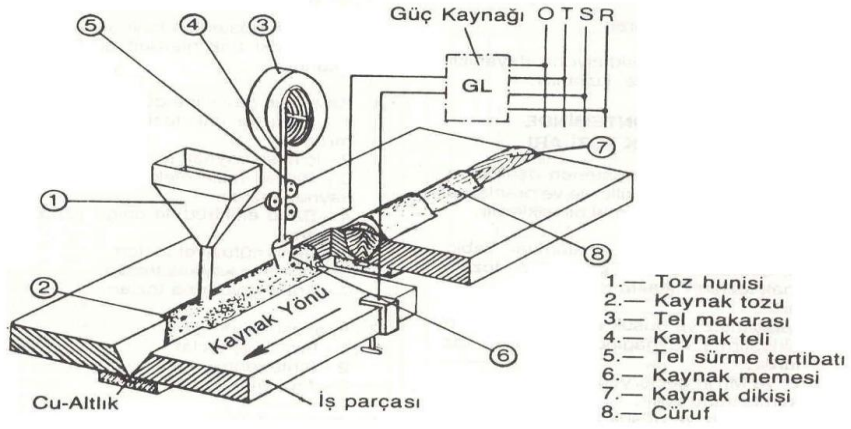
Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama(min)	Çentik Darbe Dayanımı (J)	
				- 20 °C	+ 20 °C
P460	450	570	17	35	27
S3553J2	355	510	17	27	40
Ticari tel	490	600	26	90	60
Ticari toz	450	515	32	-	-

6.3. Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirme

Tozaltı kaynak yöntemi ile yapılacak kaynaklı birleştirmeler için kaynak parametreleri, pilot çalışmalar ve literatür çalışmaları dikkate alınarak tespit edilmiştir.

Tablo 6.3. Deneysel çalışma sırasında kullanılan kaynak parametreleri

Numune No	Amper (A)	Gerilim (Volt)	Kaynak Hızı (cm/dk)
S1	450	30-32	17
	500	30-32	20
S2	475	30-32	17
	525	30-32	20
S3	500	30-32	17
	550	30-32	20
S4	525	30-32	17
	575	30-32	20
S5	550	30-32	17
	600	30-32	20



Şekil 6.1. Tozaltı kaynağı donanımı şematik diyagramı [32].

Bu çalışmada OERLIKON- Mz-1250BF kaynak makinesi kullanılmıştır (Şekil 6.2.)



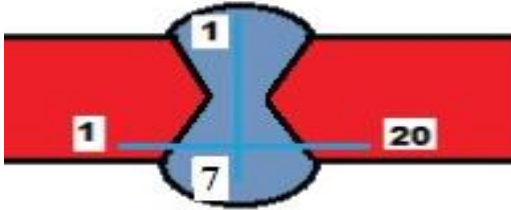
Şekil 6.2. Tozaltı kaynağı makinası ve kaynak sırasındaki fotoğrafı

6.4. Kaynak Yapılmış Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

Numunelere Fırat Üniversitesi Prof.Dr Nuri ORHAN Metalografi Laboratuvarında mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Kaynak bölgesinde oluşan yapısal değişikliklerin belirlenmesi amacıyla Struers-Labotom 5 marka kesme cihazında kesilen numuneler sırasıyla 80, 120, 240, 800 ve 1200 mesh'lik zımpara ile zımparalandıktan sonra 3 µm'lik elmas pasta ile parlatılarak dağlamaya hazır hale getirilmiştir. Struers-Labopol 1 marka parlatma cihazında parlatılan numuneler kimyasal formülü $\text{HNO}_3+3 \text{HCl}$ olan kral suyu ile kimyasal dağlama gerçekleştirilmiştir.

6.5. Kaynak Yapılmış Numunelerin Sertlik Ölçümleri

Numunelerin mikrosertlik ölçümleri EMCOTEST DuraScan marka mikrosertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik deneyleri, Vickers (HV) skalası kullanılarak yapılmıştır. Sertlik ölçme işleminde ölçme esnasında 500 gr yük uygulanmıştır. Kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri, kaynak metali, ITAB ve ana malzemeyi kapsayacak şekilde 0,5 mm aralıklarla ve 10 sn'lik yükleme hızında 136° tabanı kare olan piramit uç ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.3' te görüldüğü gibi ölçümler kaynak kesitinin genişliğine 20, derinliğine ise 7 noktadan yapılmıştır.



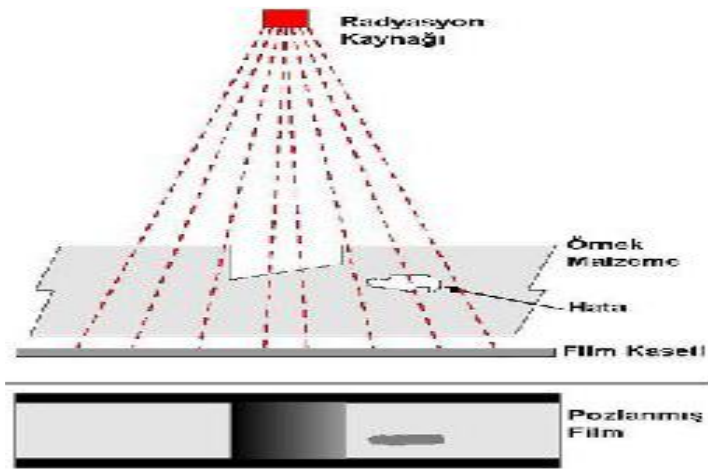
Şekil 6.3. Mikrosertlik ölçüm bölgelerinin şematik gösterimi.



Şekil 6.4. Kullanılan mikrosertlik cihazı

6.6. Kaynak Yapılmış Numunelerin Radyografik Muayeneleri

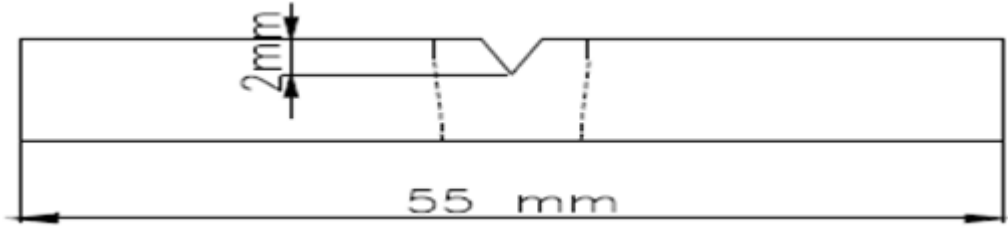
Birleştirilmiş çelik çiftlerin kaynak dikişinin mukavemetini ve nüfuziyetini kontrol etmek için röntgen testi muayeneleri gerçekleştirilmiştir. TS5127 ve EN 1435 standartlarına göre ısıdan etkilenen bölge dahil olmak üzere, kaynak dikişine dikey X-ışını test standartları uygulanmıştır. Radyografik X-ray cihazı olarak, 300 KV kapasiteli Balto Spot tipi röntgen cihazı kullanılmıştır. Işınlama işlemi, film kartuşlarının ve numunelerin uygun bir şekilde yerleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kurşun levhalarla koruması güçlendirilmiş odalarda radyasyon işlemi (x-ışını) yapılmıştır. Geliştirilen filmler PICO-VIEW P-35 marka hafif cihazla kontrol edilmiştir.



Şekil 6.5. Radyografik yönteminin şematik olarak gösterimi [25].

6.7. Kaynak Yapılmış Numunelerin Çentik Darbe Testi

Kaynaklı bağlantıların darbeye karşı dayanımlarını, belirlemek amacıyla, TS 269/75 EN 10 045-1:1990 standardına uygun 10x10x55 mm boyutundaki numuneler CNC ve Torna tezgahında hazırlanmıştır. Çentik darbe testleri, 150 joule darbe uygulayabilme kapasitesine sahip, INSTRON WOLPERT PW30 marka çentik darbe cihazında -20°C, 0°C ve 20°C sıcaklarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.6. Çentik darbe deney numunelerine ait ölçüler

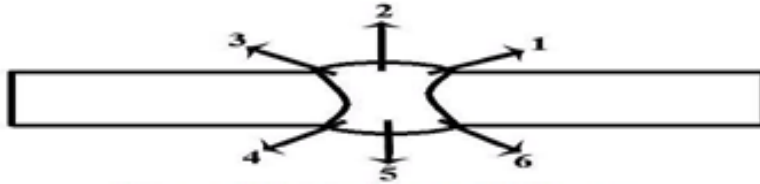


Şekil 6.7. Çentik darbe deney cihazı

7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

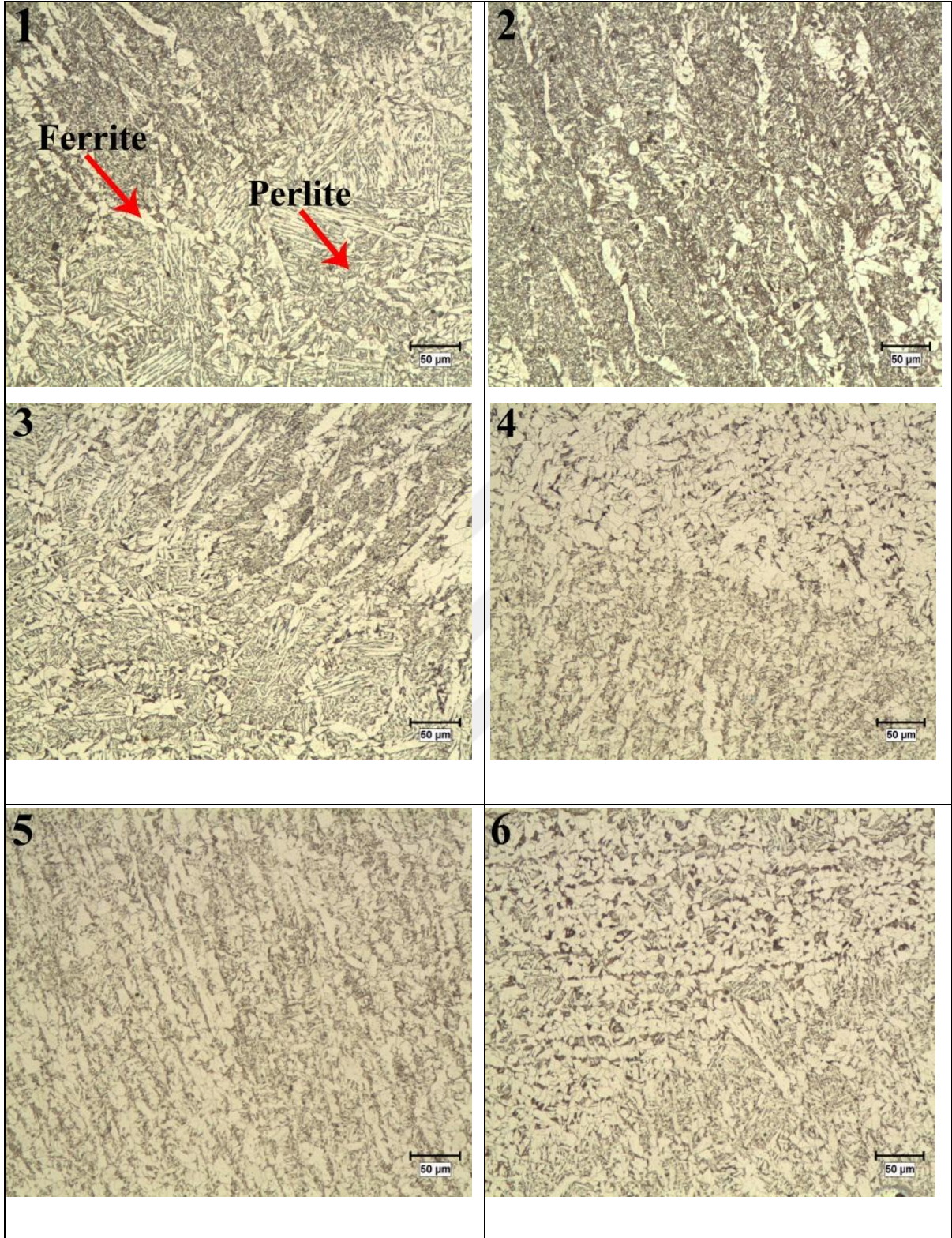
7.1. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikroyapı İncelemesi

Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin, birleşme yerinde meydana gelen yapısal değişiklikler, bu numunelerden alınan ara yüzey makro yapısı ve mikroyapı görüntüleri analiz edilerek değerlendirildi. Bu çalışmada kullanılan P460 ve St52 çeliklerinin mikroyapıları ferrit ve perlit fazları içermektedir. Mikroyapı görüntülerinden görüldüğü gibi, katılma ana metalden başlayıp ve dikey olarak kaynak noktasına ilerledi. 1-3-4 ve 6 numaralı bölgeler iri taneli bölgelerdir. Kaynak dikişinde kaba taneli bölgede çatlak oluşumu muhtemeldir. Fakat tozaltı kaynağı ile yapılan birleştirmede çatlak oluşumu gözlenmemiştir. 2 ve 5'te epitaksiyel katılma mevcuttur. Bu bölgelerdeki katılmanın yan yüzeylerden başladığı ve dikey konumda epitaksiyel katılma olarak devam ettiği gözlenmiştir. 4 ve 6 bölgelerinde, geçiş bölgelerinde ve ana metal ile kaynak metali arasında katılma hiç çatlak oluşmadığı açık bir şekilde görüldü.

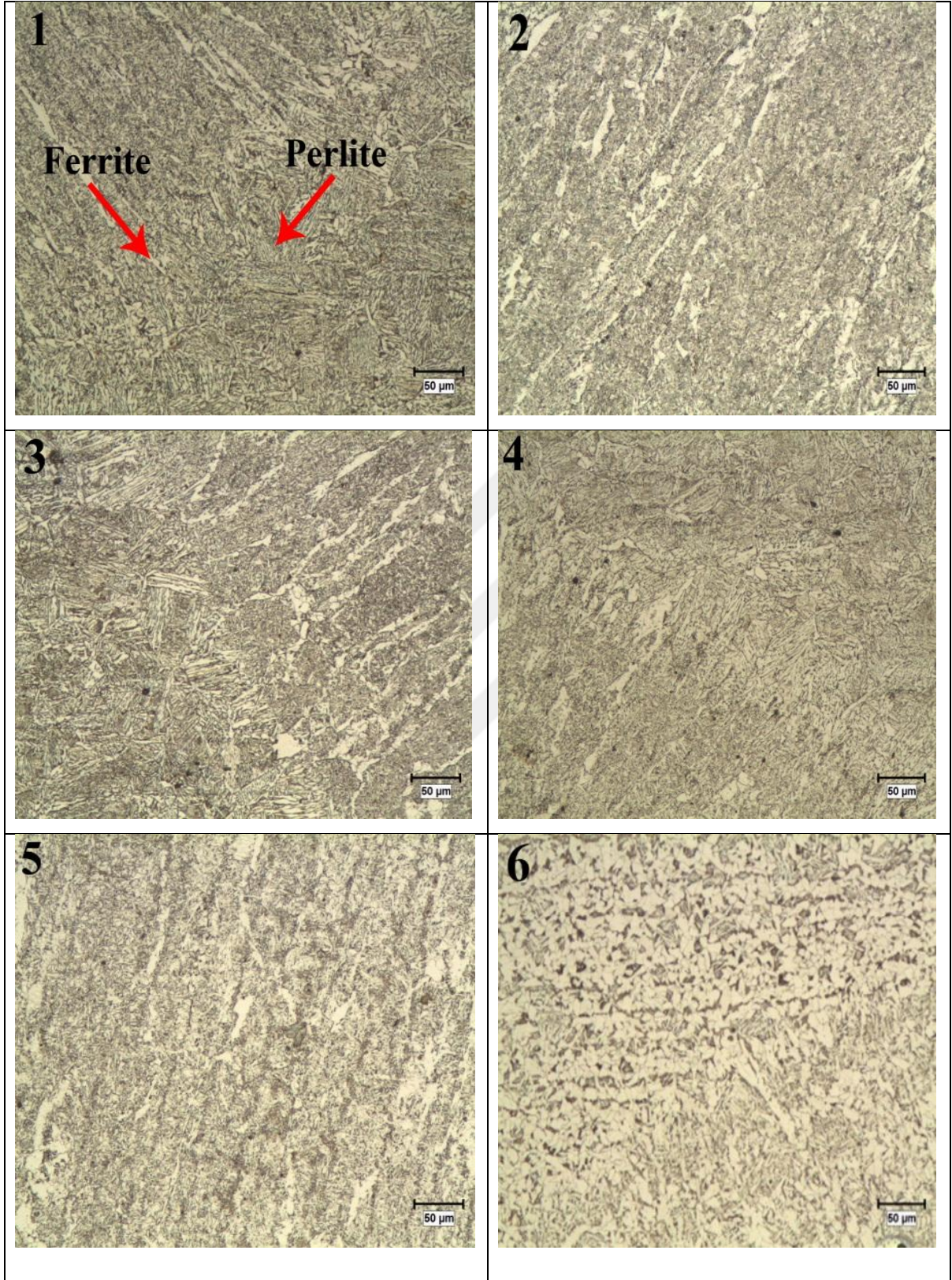


Şekil 7.1. Kaynaklı malzemelerin mikroyapı bölgeleri.

Şekil 7.2 ve şekil 7.3' e farklı kaynak akımı ve kaynak hız parametreleri kullanılarak uygulanan kaynak işlemlerinden sonra kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgelerin (ITAP) mikroyapılarını göstermektedir. Şekil'den de görüldüğü üzere P460 çeliklerinin orjinal yapısı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir.



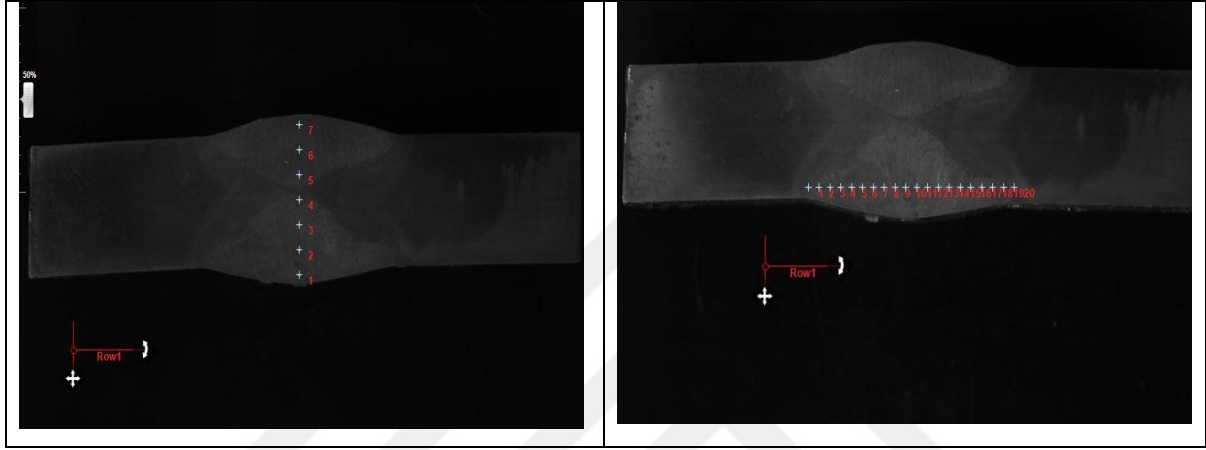
Şekil 7.2. St52'nin 475-525 Amper'deki mikroyapı görüntüleri.



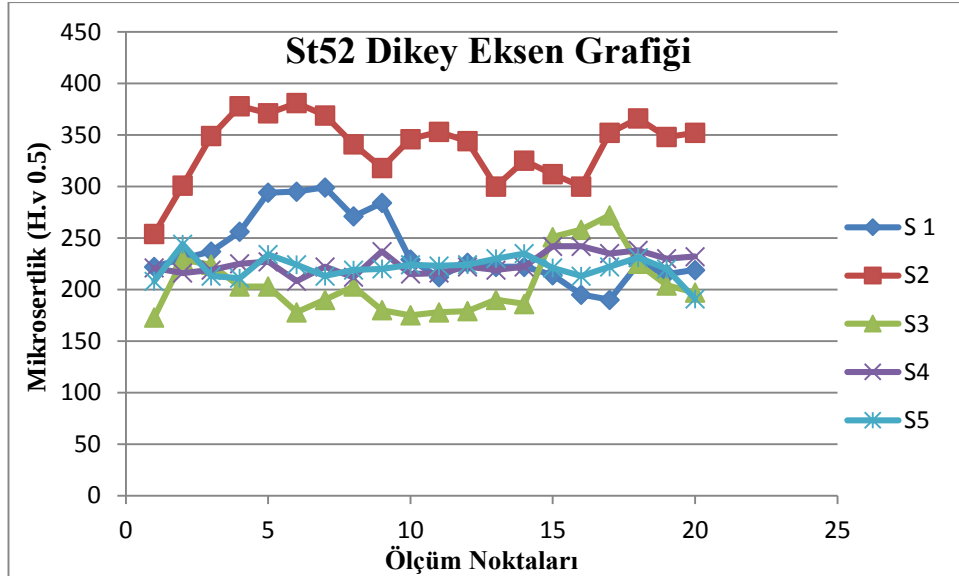
Şekil 7.3. P460'ın 475-525 Amper'deki mikroyapı görüntüleri

7.2. Kaynaklı Birleştirmelerin Mikrosertlik Analizinin İncelenmesi

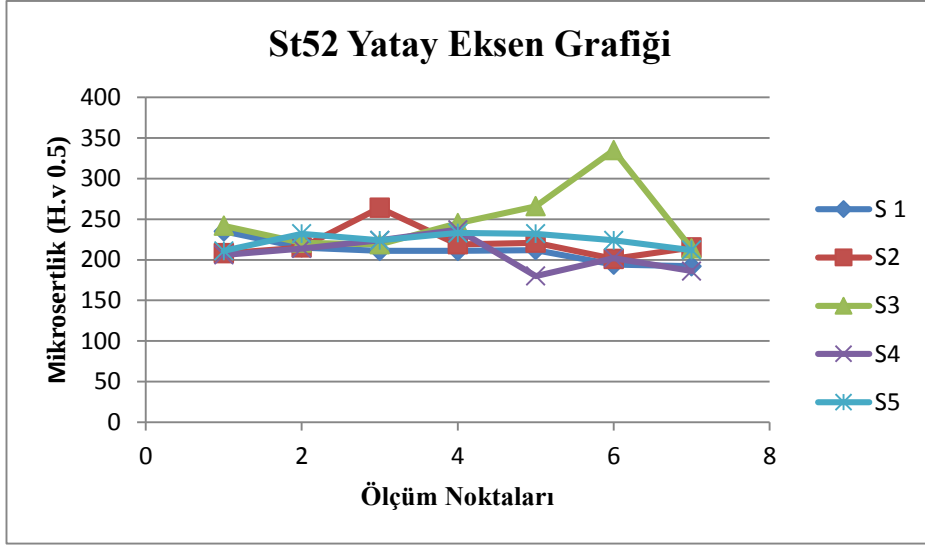
Yapılan sertlik deneyi sonucunda kaynak sonrası sertlik değerlerinin ana malzemenin sertlik değerine göre değişim gösterdiği gözlenmiştir. ITAB bölgesinde ve kaynak dikişinde sertlik değeri artan amper değeri ile artmış, daha sonra ana malzemenin ortalama sertlik değerine düşmüştür. Bu durumun kaynak dikişindeki oluşması muhtemel intermetalik faz oluşumlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



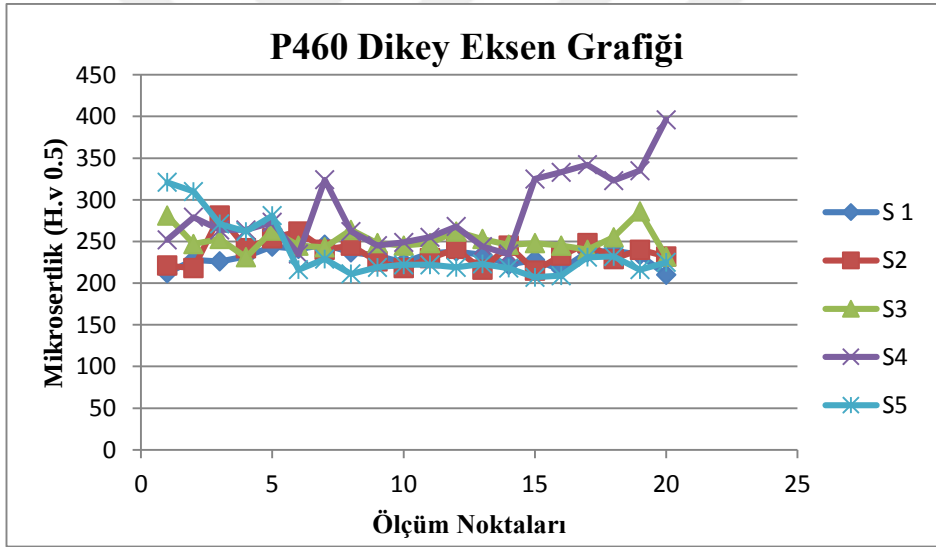
Şekil 7.4. Yatayda ve dikeyde Mikrosertlik ölçüm bölgeleri



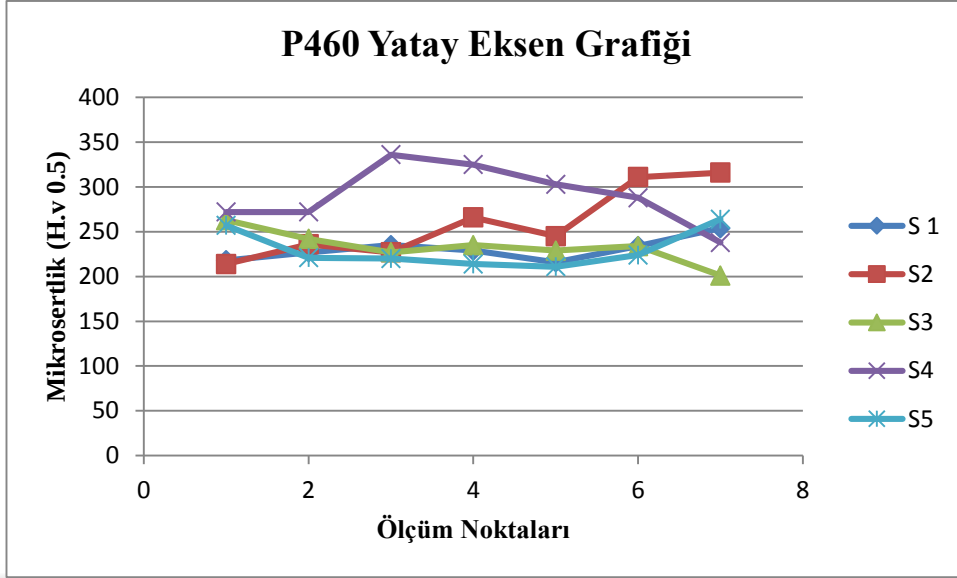
Şekil 7.5. St52 malzemesinin dikey eksenindeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği



Şekil 7.6. St52 malzemesinin yatay eksenindeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği



Şekil 7.7. P460 malzemesinin dikey eksenindeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği



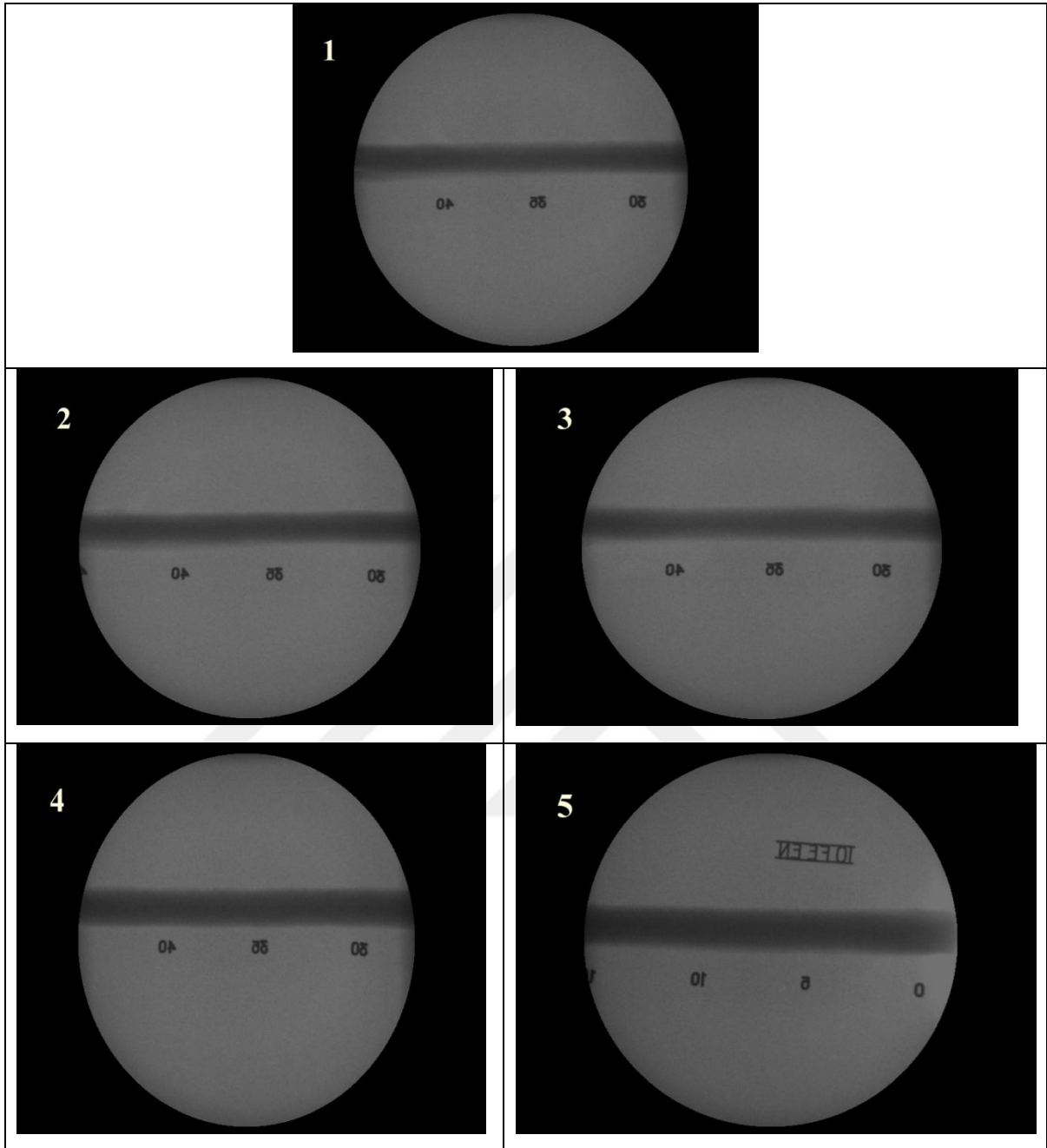
Şekil 7.8. P460 malzemesinin yatay eksenindeki mikrosertlik ölçüm noktaları ve grafiği

7.3. Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayene Sonuçlarının İncelenmesi

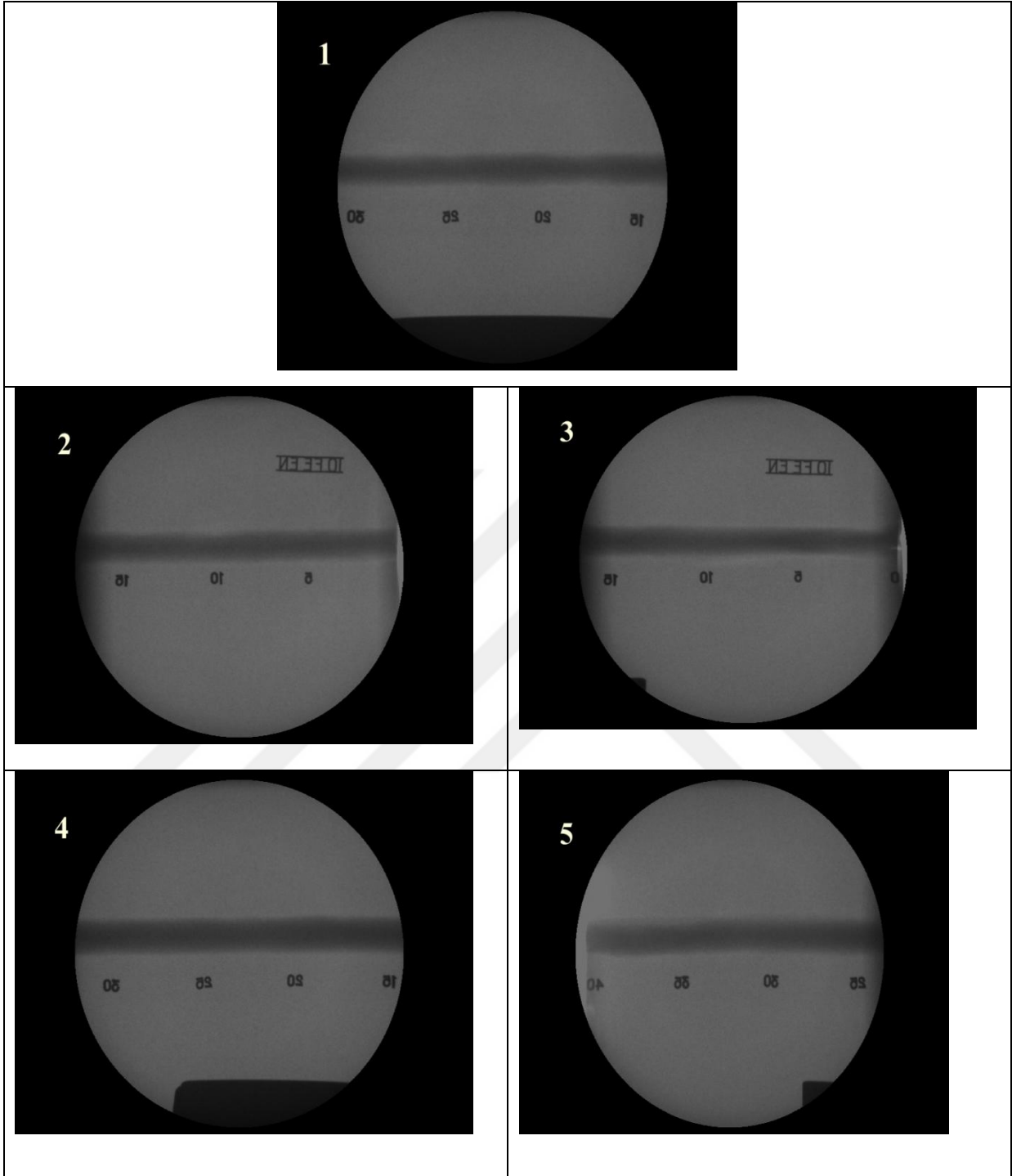
Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin radyografik muayene parametreleri Tablo 9.1.'de verilmiştir. Tabloda verilen parametreler ISO standartlarına göre belirlenmiş parametrelerdir. Radyografik muayene testinde malzemenin veya kaynak dikişinin içine bakılır. Oluşan hatalar (nüfuziyet azlığı, gözenek vs.) görülür. Yüzeyde oluşan hatalar (çatlak vs.) radyografik muayene testinde tespit edilemez.

Tablo 7.1. Radyografik muayenede kullanılan parametreler [24].

Test Standardı	EN ISO 17636-1
Işın Tipi	X-RAY
Penetrometre	10 FE EN
Film Türü	KODAK T200
Enerji	150Kv- 2,4 mA
Film Odak Mesafesi	800 mm
Pozlama Süresi	1dk. 10 sn.
Muayene Kapsamı	Kaynak dikişi, ITAB
Banyo Metodu	Otomatik



Şekil 7.9. P460 numunelerinin röntgen görüntüleri



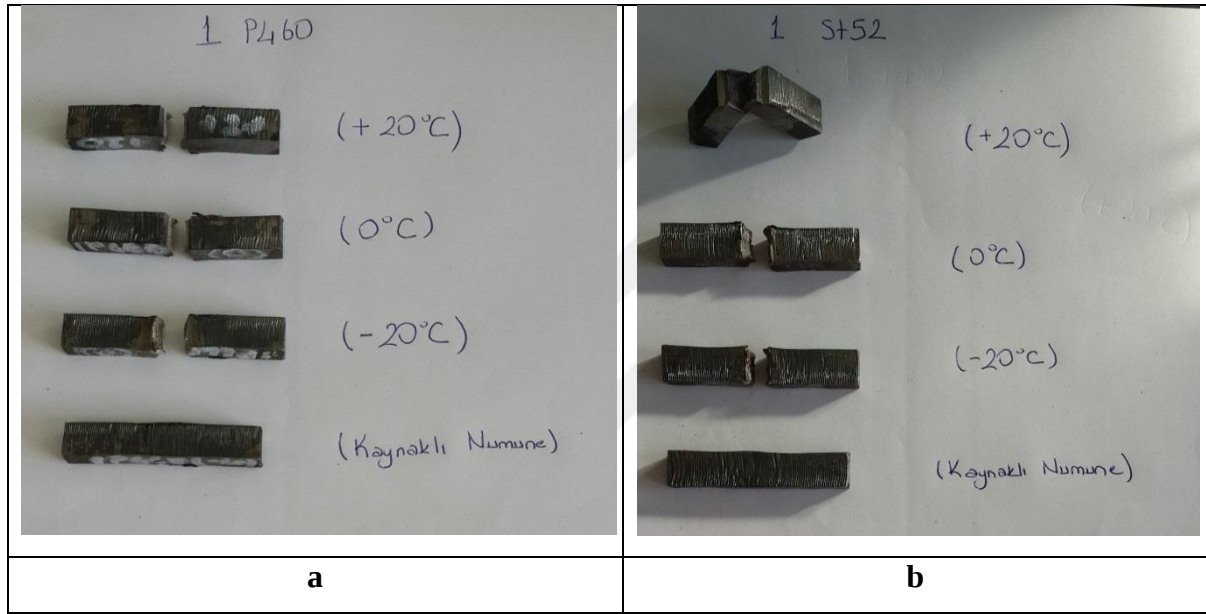
Şekil 7.10. St52 numunelerinin röntgen görüntüleri

Şekil 7.9. ve 7.10. 'da görüldüğü gibi radyografik muayene sonucunda, tozaltı ark kaynağında oluşabilecek nüfuziyet yetersizliği, yanma olukları, gözenek oluşumu, kalıntılar, çatlaklar vb. hatalar gözlemlenmemiş ve gözetilen normlar dâhilinde kabul edilmiştir [6].

Artan amper değeriyle birlikte kaynak nüfuziyetinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca artan amper değerine bağlı olarak birleşme mukavemetinin arttığı, ancak artan ilerleme hızına bağlı olarak da azaldığı tespit edilmiştir.

7.4. Kaynaklı Birleştirmelerin Çentik Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

Tozaltı kaynağı yöntemi ile birleştirilmiş P460 ve St52 çeliklerinin darbeye karşı dayanımını ölçmek için TS EN ISO 148 ve ASTM E23 standartlarına göre çentik darbe testi yapılmıştır.



Şekil 7.11. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonucu makro görüntüleri a) P460 b) St52

Şekil 7.11.' de tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen St52-St52 ve P460- P460 çeliklerinin çentik darbe sonrası görüntüleri verilmiştir.

Tablo 7.2. Kaynaklı numunelerin çentik darbe testi sonuçları

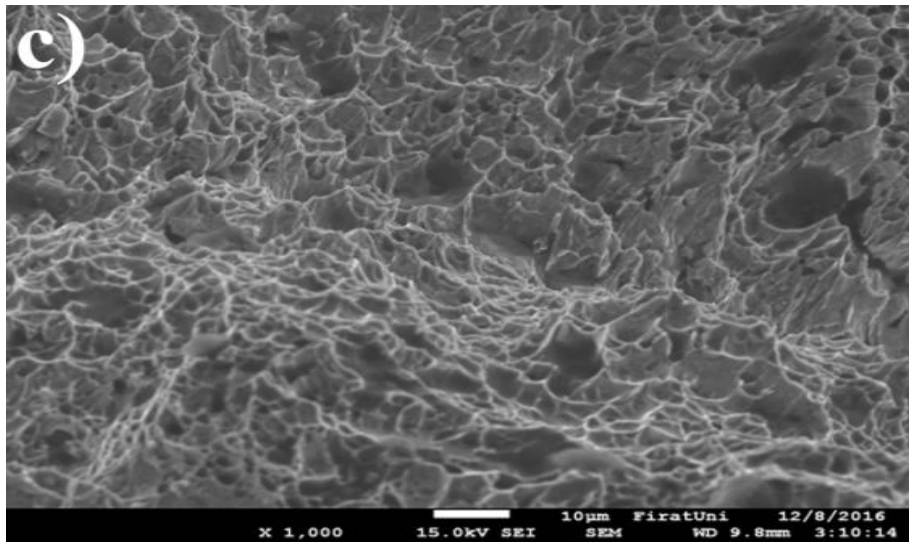
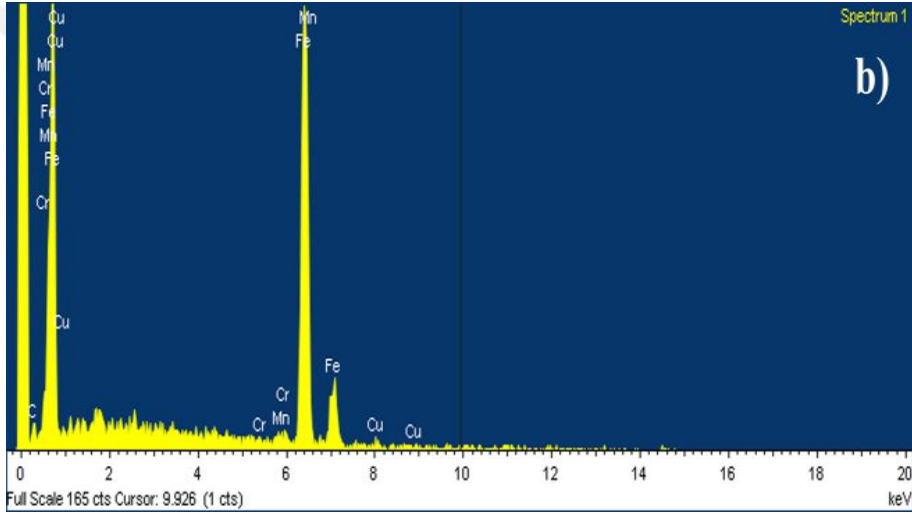
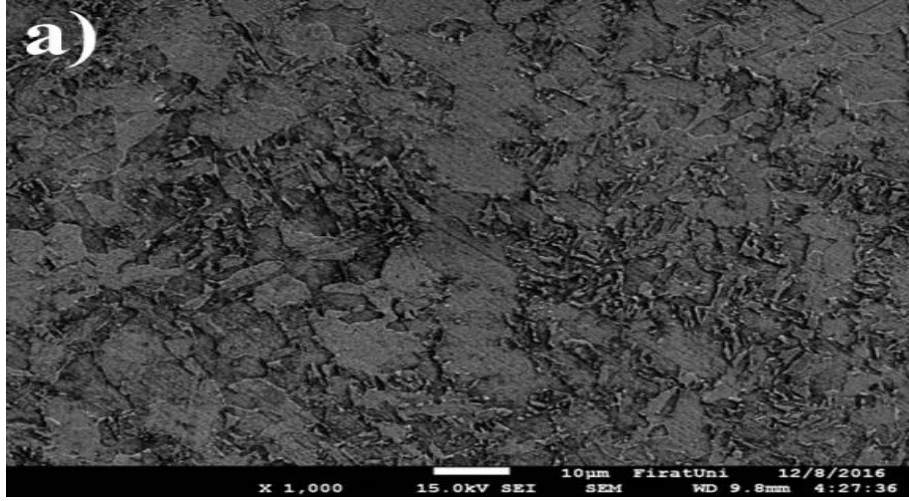
KAYNAK PLAKASI DARBE ÇENTİK TESTİ SONUÇLARI (Joule)											
	C°	1- St52	1- P460	2- St52	2 P460	3- St52	3-P460	4- St52	4-P460	5-St52	5-P460
1	(-20)	63	62	92	58	93	63	52	64	63	38
2	(-20)	66	54	86	88	84	80	59	58	44	54
3	0	81	91	86	88	105	97	91	91	110	45
4	0	80	61	97	80	97	92	92	99	93	40
5	(+20)	112	115	111	115	108	115	90	110	118	54
6	(+20)	120	95	119	109	114	111	112	102	120	57

St52 ve P460 numuneleri, çentik darbe testleri açısından incelendiğinde; artan amper değerine bağlı olarak çentik darbe dayanımının da arttığı gözlenmektedir. Genel olarak sıcaklık düştükçe malzemelerin darbe direncinin de düştüğü bilinmektedir. Malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak, darbe direncindeki düşme, aniden olabileceği gibi belirli bir sıcaklık aralığında da olabilmektedir.

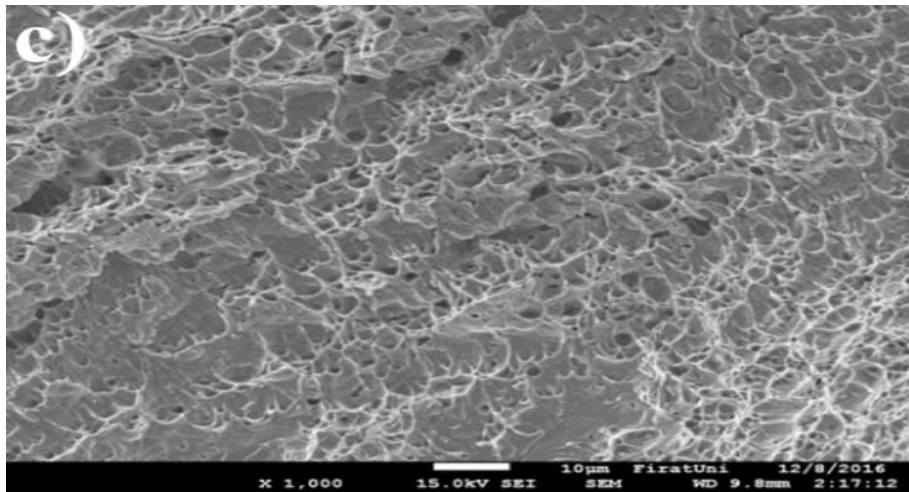
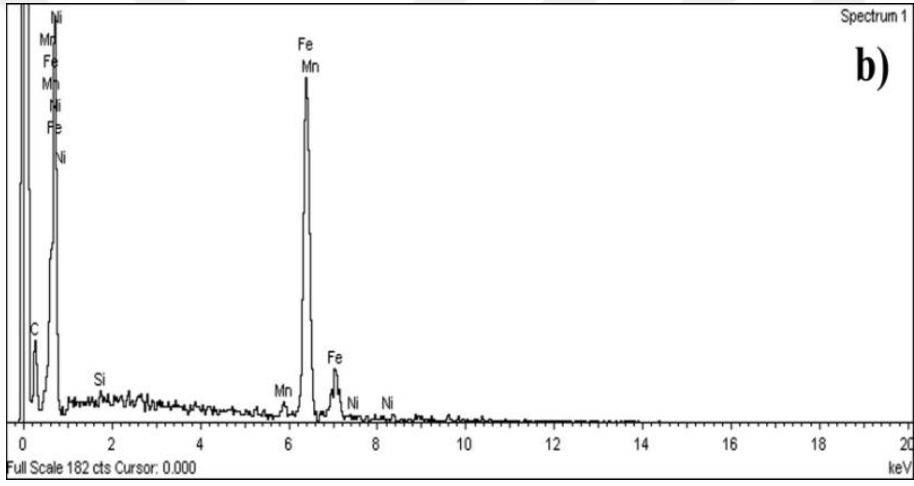
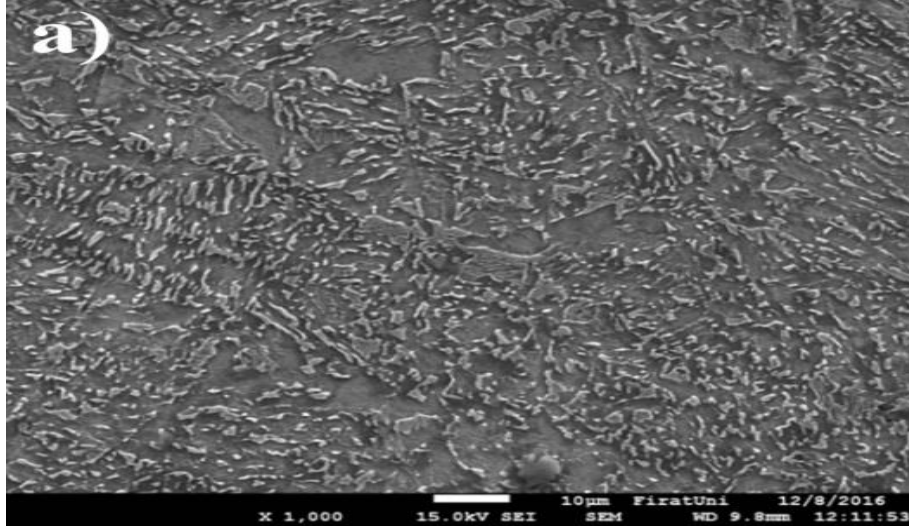
Darbe testinin sonucu olarak, en yüksek değerler St52 numuneleri için, 17-20 cm / dakika kaynak hızı, + 20 ° C 'de ve 450-500, 475-525, 550-600 amper değerlerindeki örneklerde görülmüştür (1,2 ve 5 numaralı numuneler). P460 numuneleri için ise 17-20 cm / dakika kaynak hızı, + 20 ° C 'de 450-500, 475-525, 500-550 amper değerlerindeki örneklerde görülmüştür (1,2 ve 3 numaralı numuneler). En düşük değer St52 için, 525-575 amper değerinde, 17-20 cm / dakika kaynak hızı ve -20 ° C'de gerçekleştirilen darbe testinin sonucu olarak görülmüştür (4 numaralı numune). P460 için ise, 550-600 amper değerinde, 17-20 cm / dakika kaynak hızı ve -20 ° C'de gerçekleştirilen darbe testinin sonucu olarak görülmüştür (5 numaralı numune). P460 için -20 ° C'de 38 (5 numaralı numune), St52 -20 ° C'de 44 ölçülen (5 numaralı numune) esas malzemenin çentik darbe enerjisi, kaynaklı numunelere yakın değerlerde bulunmasına rağmen diğer amper değerlerine kıyasla daha başarısız olduğu görülmüştür.

7.5. Kaynaklı Birleştirmelerin Kırılma Yüzeyleri ve EDS ve SEM Analizi

Deneylerde kullanılan St52 ve P460 malzemelerindeki elemental geçişler EDS analizi ile hesaplandı. Çatlak yüzeyi nedeniyle EDS analizi tam tarama ile alındı. Bu analiz sonucunda Fe ve C elemanlarında en yüksek element değişiminin (%) olduğu tespit edilmiştir. EDS analizinin sonucu olarak, Fe elementi St52 çeliğinde% 79.68 ve P460 çeliğinde% 73.33 iken, C elementi St52 için% 18.70 ve P460 çeliği için% 24.90 idi. P460 çeliğindeki% 1.25 Mn elementinin varlığı, çeliğin mukavemet ve kaynak edilebilirliğinin arttığını göstermiştir. EDS analizlerinde belirlenen unsurlar ve oranlar aşağıda verilmektedir. Malzemenin kırık yüzeyi ve SEM görüntüleri incelendiğinde, sünek kırılma mekanizmasının olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7.12. St52 çeliğinin a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırılma yüzey görüntüsü (525-575 amper değerleri)



Şekil 7.13. P460 çeliğinin a) SEM görüntü b) EDS grafiği c) Kırılma yüzey görüntüsü (525-575 amper değerleri)

EDS analizlerinde saptanan unsurlar ve oranlar aşağıda verilmiştir.

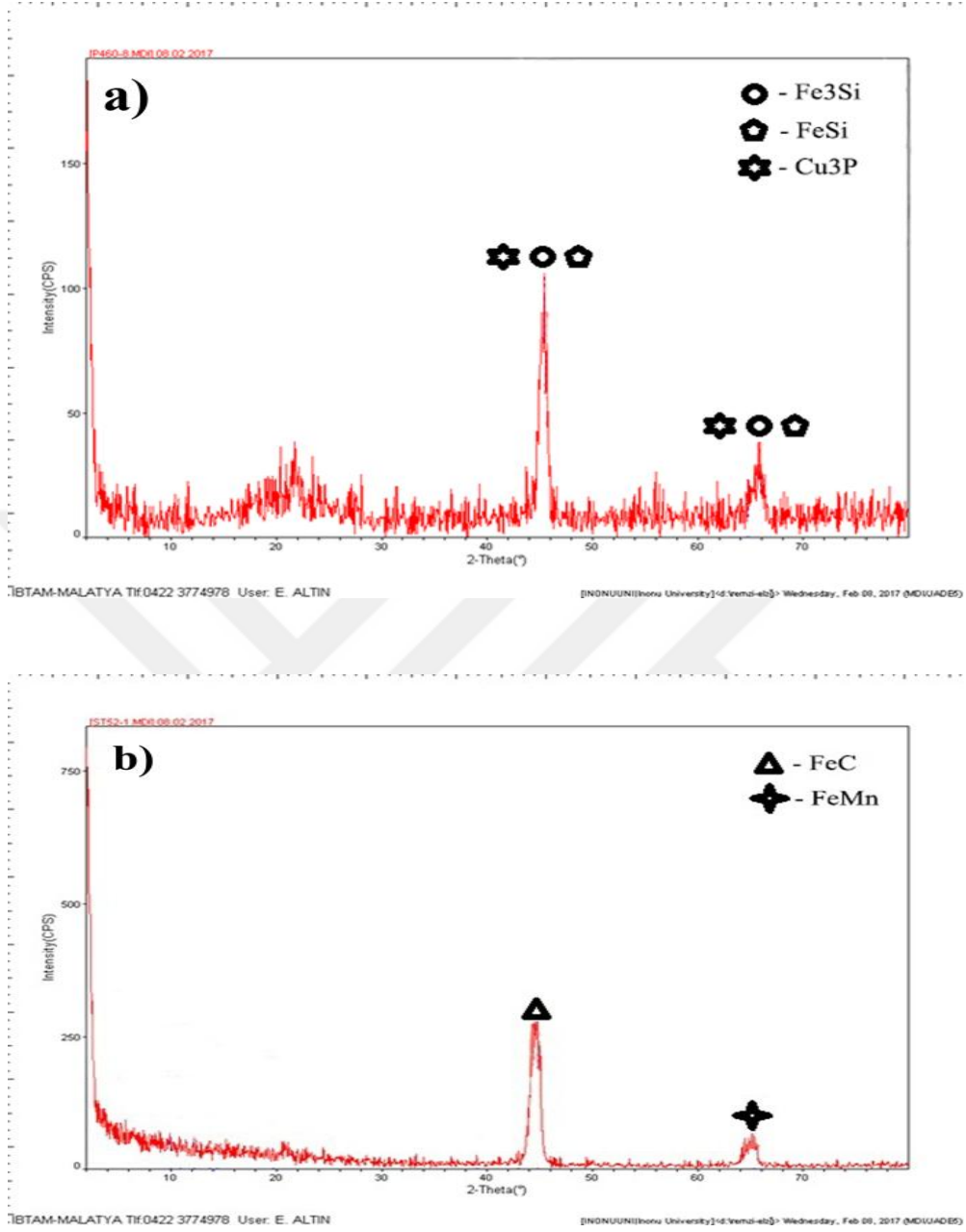
Tablo 7.3. EDS analiz sonuçları

Element	Ağırlık %		Atomik %	
	P460	St52	P460	St52
C	24.90	18.70	60.57	51.71
Si	0.27	-	0.28	-
Mn	1.25	0.16	0.67	0.09
Fe	73.33	79.68	38.36	47.40
Ni	0.24	-	0.12	-
Cr	-	0.17	-	0.11
Cu	-	1.30	-	0.68
Toplam	100.00	100.00	100.00	100.00

7.6. Kaynaklı Birleştirmelerin XRD Analiz Sonuçları

Malzemenin EDS analizi incelendiğinde St52 ve P460 çeliklerinde ferrit ve perlit fazları tespit edilmiştir. XRD analizi sonrasında P460 çeliğinin yapısında Fe_3Si , FeSi ve Cu_3P , St52 çeliğinin yapısında ise FeC , FeMn fazları belirlenmiştir.

XRD'nin sonucu olarak elde edilen fazlar, kırılğan intermetalik fazlar değildir. Bunun nedeni, geçiş bölgelerinde herhangi bir çatlak oluşumunun bulunmamasıdır. S3 numunesinin (500-550 Å) XRD analizinin sonucu aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.14. Numunelerin XRD analizinin sonucu a) P460 b) St52

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Genel Sonuçlar

1. P460-St52 malzemeleri tozaltı kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde birleştirilmiştir.
2. Mikroyapı açısından bakıldığında; homojen bir kaynak dikişinin ve ITAB bölgesinin meydana geldiği görülmüştür. Birleştirmelerde herhangi bir çatlak ve gözenek oluşumu gözlenmemiştir.
3. Mikrosertlik test sonuçları açısından bakıldığında; ITAB bölgesinde ve kaynak dikişinde sertlik değeri artan amper değeri ile artmış daha sonra ana malzemenin ortalama sertlik değerine düşmüştür. Bu durumun kaynak dikişindeki olası intermetalik faz oluşumlarından ve kaynak esnasındaki ısıl dönüşümlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.
4. Malzemenin kırık yüzey ve SEM görüntüleri incelendiğinde sünek kırılma mekanizmasının meydana geldiği görülmektedir. Kırılgan ve sert intermetalik fazların oluşmaması da bu durumu desteklemektedir.
5. Çentik darbe test sonuçları açısından bakıldığında; Ana malzemenin çentik darbe enerjisi kaynaklı numunelere göre daha düşüktür. Darbe testinin sonucu olarak, en yüksek değerler St52 numuneleri için, + 20 ° C 'de ve 450-500, 475-525, 550-600 amper değerlerindeki örneklerde görülmüştü. P460 numuneleri için ise + 20 ° C 'de 450-500, 475-525, 500-550 amper değerlerindeki örneklerde görülmüştür. En düşük değer St52 için, 525-575 amper değerinde, -20 ° C'de gerçekleştirilen darbe testinin sonucu olarak görülmüştür. P460 için ise, 550-600 amper değerinde, -20 ° C'de gerçekleştirilen darbe testinin sonucu olarak görülmüştür. St52 ve P460 çeliklerinde ferrit ve perlit fazları tespit edilmiştir. XRD analizi sonrasında P460 çeliğinin yapısında Fe_3Si , FeSi ve Cu_3P , St52 çeliğinin yapısında ise FeC , FeMn fazları belirlenmiştir.
6. Malzemenin EDS analizi incelendiğinde St52 ve P460 çeliklerinde ferrit ve perlit fazları tespit edilmiştir. XRD analizi sonrasında P460 çeliğinin yapısında Fe_3Si , FeSi ve Cu_3P , St52 çeliğinin yapısında ise FeC , FeMn fazları belirlenmiştir.

7. Radyografik test sonuçları incelendiğinde; artan amper değerine bağılı olarak birleşme mukavemetinin arttığı, ancak artan ilerleme hızına bağılı olarak da azaldığı tespit edilmiş olup, birleştirmelerde herhangi bir çatlak ve gözenek oluşumu gözlenmemiştir.

8.2. Öneriler

1. Yapılan çalışmanın korozyon dayanımı ve yorulma dayanımı test edilebilir.
2. Farklı tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanarak incelenebilir.
3. Farklı kaynak yöntemi ve farklı parametreler kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilebilir.
4. Farklı toz ve tel bileşimleriyle kaynak işlemi gerçekleştirilerek kaynak dikişine istenilen özellik kazandırılabilir.
5. Kaynak edilmiş numunelere farklı ısıtım yöntemleri uygulanarak mikroyapıda meydana gelebilecek değişiklikler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Açık, M., 2014, AISI 1010-Bakır Malzeme iftinin Sürtünme Kaynak Yöntemi İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [2] Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., 2002, Tozaltı Kaynağında Kaynak Tozunun Mikroyapı Ve Mekanik zelliklere Etkisinin İncelenmesi , Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Y.10, s. 11, s. 1-8.
- [3] Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., 2005, Tozaltı Ark Kaynağı İle Kaynaklanan Düşük Karbonlu eliklerde Serbest Tel Uzunluğunun Mikroyapı Ve Mekanik zelliklere Etkisinin Araştırılması, G.. Fen Bilimleri Dergisi 18(3): 473-480.
- [4] Kaya, Y., Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., 2010, Tozaltı Ark Kaynağı İle Birleştirilen Farklı Kalınlıktaki Grade A Gemi Saclarının Mekanik zelliklerinin Araştırılması, e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 5, Number: 2, Article Number: 1A0088.
- [5] Küpeli, G., Tekin, N., Gülsoy H.., ve Salman S., 2011, Paslanmaz elik İle Düşük Karbonlu Alaşımsız eliklerin Toz Altı Kaynak Metodu İle Birleştirilmesi, 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ, Türkiye.
- [6] Akay, A.A., Kaya, Y., Kahraman, N., 2013, Farklı zellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesi Ve Birleştirmelerin Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi, Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, SA. Fen Bil. Der. 17. Cilt, 1. Sayı, s. 85-96.
- [7] Akay, A.A., Kaya, Y., Kahraman, N., 2013, Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen X60, X65 Ve X70 eliklerin Kaynak Bölgesinin Etüdü, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 3 (2), s. 34-42.

- [8] Şık, A., 2007, Mıg/Mag Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Çelik Malzemelerde İlave Tel Türleri Ve Koruyucu Gaz Karışımlarının Eğmeli Yorulma Ömürlerine Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 22, No 4, s. 769-777.
- [9] Yavuz, N., Özcan, R., Polat, F.G., 2005, Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Termal ve Mekanik Analizi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2.
- [10] Kurtulmuş, M., Fidaner, O., Yükler, A.İ., Normalize St52 Çeliklerin Ultrasonik Muayenesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük.
- [11] Ashassi-Sorkhabi, H., Asghari, E., 2009, Influence of Flow On The Corrosion Inhibition Of St52-3 Type Steel By Potassium Hydrogen-Phosphate, Corrosion Science 51, pp. 1828–1835.
- [12] Cvetkovski, S., Slavkov, D., Magdeski, J., 2003, Welding Procedure Specification For Arc Welding Of St 52-3N Steel Plates With Covered Electrodes, Faculty of Technology and Metallurgy - Skopje.
- [13] Fydrych, D., Rogalski, G., Łabanowski, J., 2011, Weldability Of High Strength Steels In Water Environment.
- [14] Eruslu, S.Ö., 2008, İnce Cidarlı Basıncılı Tüplerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, Journal of Engineering Sciences, s. 169-174.
- [15] Kimsesiz, E., Çayır, E., Reis, N., Gemici, V., Erdönmez, U., Karakuş, C., Torlakoğlu, M., Basıncılı Kapların Periyodik Test ve Kontrol Sistemi, III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, s. 353-361.
- [16] Anık, S., 1991, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, İstanbul, s. 12, 93, 109, 113-115, 150-152, 208-213.
- [17] Çalgülü, U., Kaynak Metalurjisi Ders Notları, Fırat Üniversitesi, s. 7-10.
- [18] Çalgülü, U., Kaynak Metalurjisi ve Teknolojisi Ders Notu, Fırat Üniversitesi, s. 4-7.
- [19] MEGEP, 2006, Metal teknolojisi, Tozaltı Kaynağı, Ankara, s. 3-6.
- [20] Külahlı, E., 1988, Tozaltı Kaynak Yöntemi, Oerlikon Kaynak Bilimi 2, s. 2-7.
- [21] Uztuğ, H.E., 2003, Basıncılı Kapların El Kitabı, s. 110-113.

- [22] Piroğlu, F., Uzgider, E., Vural, M., Çağlayan, Ö.B., (2003), Geçmişten Bugüne Yapı Çeliği Ve Önemli Yapısal Özellikleri, Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426 - 2003/4
- [23] TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001), Periyodik Kontrol Mühendis El Kitabı-II Basınçlı Kaplar, s.79.
- [24] A.K. Gur, N. Yigittürk, T. Yıldız, " Plazma Transfer Ark Kaynağı İle Birleştirilen AISI304-Ramor 500 Çelik Çiftlerinin X-Ray Radyografisi" SYLWAN, Vol, 160(11), pp. 212-225, 2016.
- [25] <http://www.detayquality.com/teknik/46.pdf>, Kaynak ve Kaynak Teknikleri. 23 Nisan 2017.
- [26] [http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/malzeme/6-23 Nisan 2017celikler%20sınıflandırma %20ve%20standartlar.pdf](http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/Docs/malzeme/6-23Nisan2017celikler%20sınıflandırma%20ve%20standartlar.pdf) 23 Nisan 2017
- [27] <https://tr.scribd.com/doc/117658492/Celik-Uretim-Yontemleri>, Çelik Üretim Yöntemleri 23 Nisan 2017.
- [28] <http://www.sacsatis.com/index.php/sac-cesitleri/diger-celikler/item/13-st52-nedir>, St52 Nedir. 23 Nisan 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Aday Ebru TUFANOĞLU; 1992 yılında İzmir/Konak İlçesi'nde dünyaya geldi. İlk, Orta ve Lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazanıp, 2015 yılında aynı bölümden mezun olmuştur. 2016 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamış olup, halen devam etmektedir. Aday bekârdır. Yabancı dili İngilizce'dir.

