



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# S235JR malzemeye uygulanan astar kaplamanın tozaltı ark kaynak kabiliyetine etkisi

## *Effect of primer coating applied to S235JR material on submerged arc weldability*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Cemil ÇETİNKAYA<sup>1</sup>, Ali AKAY<sup>2</sup>, Uğur ARABACI<sup>3</sup>, Tayfun FİNDİK<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-0298-1143

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-7243-9395

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0003-4850-3275

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0003-2057-4864

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Çetinkaya Ç., Akay A., Arabacı U. ve Fındık T., "S235JR malzemeye uygulanan astar kaplamanın tozaltı ark kaynak kabiliyetine etkisi", *Politeknik Dergisi*, 25(3): 1335-1348, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1119093

# S235JR Malzemeye Uygulanan Astar Kaplamanın Tozaltı Ark Kaynak Kabiliyetine Etkisi

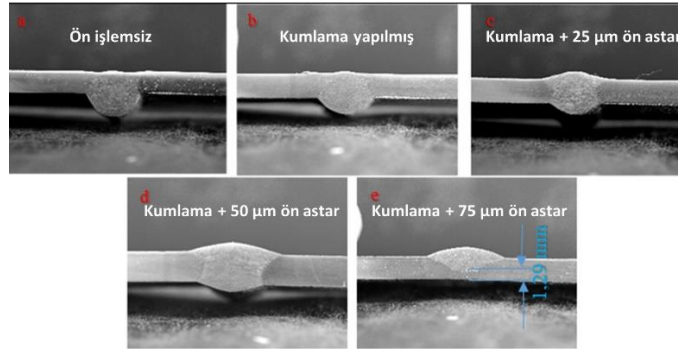
## Effect of Primer Coating Applied To S235JR Material on Submerged Arc Weldability

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ 75  $\mu\text{m}$  ve üzerindeki ön astar kaplama, kaynağı olumsuz etkilemiştir. /Shop-primer coating of 75  $\mu\text{m}$  and above thickness has adversely affected the weld.
- ❖ 25 ve 50  $\mu\text{m}$  ön astar kaplama sonrası yapılan kaynaklarda mekanik özelliklerde düşüş gözlenmemiştir. /No decrease in mechanical properties was observed in welds made after 25 and 50  $\mu\text{m}$  shop-primer coating.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Farklı kalınlıklarda ön astar kaplamasının S235JR malzemelerin kaynak performansına etkisi incelenmiştir. / The effect of the shop-primer coating of different thicknesses on the welding performance of S235JR materials was investigated.



Şekil. Kaynaklı numunelerin makro görüntüleri /Figure. Macrographs of welded specimens

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın hedefi, ön astar kaplamanın kaynak kalitesine ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesidir. / The aim of this study is to examine the effect of shop primer coating on weld quality and mechanical properties.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Farklı kalınlıklarda ön astar kaplama uygulanmış numuneler aynı kaynak yöntemi ve parametreleri ile birleştirilmiştir. / Samples with different thicknesses of shop primer coating were combined with the same welding method and parameters.

### Özgünlük (Originality)

Kaynak kalitesi, mikroyapı ve mekanik özellikler analiz edilmiştir. / Weld quality, microstructure and mechanical properties were analyzed.

### Bulgular (Findings)

Ön astar kaplama belirli bir kalınlığa kadar kaynağa olumsuz etki oluşturmamıştır. / The shop primer coating did not have a negative effect on the weld up to a certain thickness.

### Sonuç (Conclusion)

Ön astar kaplamanın kalınlığı, malzemenin kaynaklanabilirliği için en önemli kistas olduğu, kalın kaplamaların mekanik özellikleri düşürdüğü ve kaynak hatalarına sebep olduğu gözlenmiştir. / It has been observed that the thickness of the shop primer coating is the most important criterion for the weldability of the material, and thick coatings reduce the mechanical properties and cause welding defects

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# S235JR Malzemeye Uygulanan Astar Kaplamanın Tozaltı Ark Kaynak Kabiliyetine Etkisi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Cemil ÇETİNKAYA<sup>1\*</sup>, Ali AKAY<sup>2</sup>, Uğur ARABACI<sup>1</sup>, Tayfun FİNDİK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup> Birikim Mühendislik Ltd., Türkiye

(Geliş/Received : 20.05.2022 ; Kabul/Accepted : 23.06.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 14.09.2022)

## ÖZ

Bu çalışmada farklı kalınlıklarda kaplamalı (imalat ön astarı) ve kaplamasız S235JR yapı çeliğine tozaltı ark kaynak yöntemi uygulanmış ve bu uygulamaların malzemelerin mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Deney çalışmaları esnasında birinci grup malzemeler olduğu gibi, ikinci grup malzemeler Sa 2 ½ derecesinde kumlanmış, diğer gruptaki malzemelere de 25 µm, 50 µm ve 75 µm kaplama (shopprimer) uygulanmıştır. Yüzey durumları ve kaplama kalınlığı değişken parametreler olarak seçilmiştir. Araştırma sonunda 75 µm kaplama kalınlıklarının kaynağa hatalara sebep olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlıklarının, mekanik özellikler üzerinde kısmen etkili olduğu ve numunelerin tümünde sertlik değerleri en yüksek kaynak bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Çekme, eğme ve çentik sonuçlarında, sadece 75 µm kaplama uygulanmış malzeme grubunda uygun olmayan sonuçlara rastlanmıştır. Çekme sonrası malzemelerin kopma yüzeyleri de incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kumlama, imalat ön astarı, tozaltı kaynağı.

## Effect of Primer Coating Applied To S235JR Material on Submerged Arc Weldability

### ABSTRACT

In this study, S235JR structural steel with/without primer in different thicknesses has been welded with submerged arc welding and effect of primer coating on the mechanical and microstructural properties has been investigated. During the study two different batch of test samples has been prepared, both are sand blasted to Sa 2 ½ and one of the batches has been covered with shop primer to 25 µm, 50 µm and 75 µm thicknesses. While carrying out analysis, surface texture and coating thickness has been designated as variables. It has been concluded that, 75 µm covered samples have yielded welding defections. Additionally, it has been observed that coating thickness had a partial effect on mechanical properties of the material as highest hardness measurements has been observed at weld zones. Lastly, tensile, bending and impact tests has been performed, composite surface of failure has been analysed and only 75 µm covered sample plates has yielded non confirming results.

**Keywords:** Sanding, primer coating, submerged arc welding.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İmalat sanayinde kaynak yöntemleri ile birleştirilen malzemelerde kaynak sonrası kaynağın TS EN ISO 5817 kabul standartlarını karşılayacak şekilde kaynaklanabilmesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler; kaynakçı, kaynak yöntemi, malzeme, kullanılan ilave malzeme, soğuma hızı, üst yüzey durumu (imalat ön astarları) olarak sıralanabilir.

İmalat ön astarlarının kullanım amacı, yapısal çelik malzemelerin üretim aşamasında ve ilk boya sistemi uygulanmadan önce depolama esnasında yapısal bileşenleri korumaktır. İmalat ön astarının film kalınlığı malzeme üzerine 20 - 25 µm olarak uygulanmaktadır. Bu kalınlık pürüzsüz test parçaları için belirtilmiştir. Ön imalat astarı ile kaplanmış çelik malzemeler ve yapısal parçalar kaynak yapılabilmektedir [1-3].

A. M. Berendsen tarafından gerçekleştirilen çalışmada ön imalat astarlarının uygulanmasını gerektiren durumlar,

gemi inşası veya açık denizde yapılan imalatlar sırasında korozyona karşı yeterli koruma sağlaması, 6-9 aylık dönemler boyunca imalat sırasında açıkta kalan malzemelerin tam koruması, kaynak ve kesme hızı üzerinde çok az etkiye veya hiç etkisi sahip olmaması, kaynakların homojenliği ve mukavemeti üzerinde çok az etkisi olması, çeliğin bükülmesi dahil sert kullanımlara dayanabilmesi, kaynak ve alevle kesme sırasında zararlı veya zehirli dumanlar oluşturmaması ayrıca son boya sistemi için temel olarak uygun olması ancak çinko bakımından zengin prefabrik astarların kullanılmasıyla gerçekleştirilebileceğini bildirmiştir [4].

İmalat ön astar uygulamasının, uygun kalınlıkta astar boya uygulanmaması ve imalatların nihai işlemleri sonrası kaynak bölgelerinin tekrar kumlanmasına ihtiyaç duyulması gibi bir takım olumsuz etkileri olmasına rağmen imalat esnasında yapılan kaynakların içerdikleri kusur miktarlarının az olmasından dolayı bahsedilen etkiler görmezden gelinmektedir. Konuyla ilgili daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda bu durumu desteklemektedir. Richard Boekholt, imalat ön

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ccetin@gazi.edu.tr

astarlarının mekanize ve otomatik kaynak için kaynak kalitesi üzerindeki etkisi araştırmış ve çalışmada ön imalat astarlarının üretim aşamalarında benzer dezavantajlarından bahsetmiştir [5]. Blasko ve arkadaşları portatif kaynak robotları kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında ön imalat astarlı malzemelerin robot ile kaynak yapılırken daha yavaş kaynak hızlarında gerçekleştirilmesinin ve salınım hareketinin gerekli olduğu ifade edilmiş, malzeme üçten fazla kaynak tabakası gerektirmedikçe, pasolar arası temizliğe ihtiyaç duyulmadığını belirtmiştir [6]. T. Solic ve arkadaşları imalat ön astarların (shopprimer) kaynak bağlantıları üzerine etkileri hakkında gerçekleştirdikleri çalışmada, kaynağın mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin test edilmesini sağlamak için yapı çeliklerinin yüzeyinin hazırlanması ve iki bileşenli epoksi ön imalat astarına atıfta bulunarak, geçici korumanın uygulanması işlemini anlatmaktadır. Kaynak sonrası kaynakların mekanik özelliklerinin test edilmesi, koruyucu kaplamanın kaynaklı bağlantının kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını ifade etmiştir [7]. Ahsan ve arkadaşları, soğuk metal transferi çinko kaplamalı çelikten gaz korumalı ark kaynağı (GMAW) çalışmalarında ısı girdisine bağlı olarak kaynakta oluşan gözeneklerden bahsetmiştir [8].

Bu çalışmada, imalat ön astarlarının kaynak kalitesine üzerine etkisini araştırmak amacıyla kumlama ve imalat ön astar kaplama deneyleri ve çalışmalar yapılmış karakterizasyon çalışmaları tahribatsız muayene yöntemleri, metalografi çalışmaları ve mekanik test yöntemleri (sertlik, çekme, eğme ve darbe testleri) ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile kıyaslanarak detaylı olarak verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, endüstriyel üretimde yaygın olarak tercih edilen ve Çizelge 1'de nominal kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri verilen ticari S235JR yapı çelikleri kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** S235JR çeliğinin kimyasal bileşimi Ağr. % (Chemical composition of S235JR steel Wt. %)

C	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Ti
0,09	0,53	0,018	0,011	0,09	0,04	0,025	0,002

DeneySEL çalışmalar için kullanılan numune ölçüleri 4x150x500 mm olarak belirlenmiştir. Malzemelerin bir kısmı olduğu gibi kullanılmış diğer bir kısmına ise malzemelerin yüzeyinde herhangi bir yabancı bir madde kalmaması ve imalat ön astarın yüzeye tutunumunu artırmak için TS EN ISO 8501-1 göre Sa 2 ½ olarak kumlama ve sonrası farklı kalınlıklarda imalat ön astarı uygulanmıştır (Çizelge 2).

Bu uygulamalar sonrasında numuneler tozaltı ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Yapılan bu işlemlerden sonra tüm numunelere gözle muayene, makroyapı, mikroyapı ve radyografi testleri ile mekanik testler

(sertlik, çekme, eğme ve çentik darbe testi) uygulanmıştır.

**Çizelge 2.** S235JR çeliğinin mekanik özellikleri (Mechanical properties of S235JR steel)

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
285	388	40

**Çizelge 3.** Numune isimlendirme ve yüzey işlem durumu (Specimen codes and surface treatment status.)

PARÇA NO	PARÇA DURUMU	UYGULANAN İMALAT ÖN ASTAR KALINLIĞI
T1	Hiç bir işlem yapılmadı	-
T2	Kumlama	-
T3	Kumlama + İmalat ön astar	25 µm ± 5
T4	Kumlama + İmalat ön astar	50 µm ± 5
T5	Kumlama + İmalat ön astar	75 µm ± 5



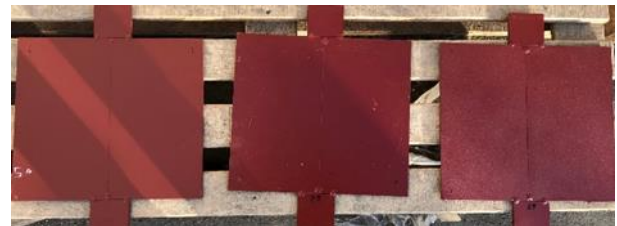
**Şekil 1.** Numunelerin kumlama ölçüm görüntüsü (Sandblasting measurement image of samples)

Yapılan kumlama sonrası numunelere havalı sprey ile imalat ön astar uygulanmıştır. İmalat ön astarlar, pas önleyici olarak kullanılan çinko fosfat pigment içeren, iki bileşenli epoksi poliamidlerdir. Aşağıda deneysel

**Çizelge 4.** İmalat ön astar özellikleri (Shop primer coating properties)

Renk tonu	Kırmızı
Hacimce katı madde oranı	% 26 ± 1
Sert Kuruma	6 dakika, 20°C
Uygulama yöntemi	Havalı sprey
Tiner (maks. Hacimce)	20%
Kuru film kalınlığı	20 µm ± 5

çalışmalarda kullanılan imalat ön astarın genel özellikleri Çizelge 4'te, Çizelge 5'te de imalat ön astar kimyasal içeriği ve Şekil 2'de ise imalat ön astarı uygulama sonrası numune görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 2.** Numunelerin imalat ön astar uygulaması görüntüleri (Shop primer coating application images of samples)

**Çizelge 5.** S235JR çeliğinin kimyasal bileşimi Ağr. % (Chemical composition of S235JR steel Wt. %)

H	P	Ca	Mg	Al	Cr	Zn	Si	O	C
5,8	1,5	5	3,3	0,2	0,8	3,8	3,2	35,6	43,8

İmalat ön astar uygulanmış malzemeler dâhil olmak üzere tüm malzemeler tozaltı ark kaynak yöntemi ile

**Çizelge 6.** Kullanılan kaynak teli özellikleri (Characteristics of the welding wire used.)

TS EN ISO 14341-A	S2		
AWS A5.17	EM 12		
EN ISO 14341-A	S2		
Kimyasal Analizi (%) – (Tipik)			
C	Si	Mn	Cu
0,12	0,10	1,00	<0.30
Kaynak metalinin mekanik özellikleri (Tipik)			
Akma Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	460		
Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	525		
Uzama (%)	30		
Darbe Dayanımı (J)	55 (-30 °C)		

**Çizelge 7.** Kaynak tozu özellikleri (Welding flux properties)

TS EN ISO 14341-A	SA AB 1 68 AC H5		
AWS A5.17	F6A2-EL12 / F7A4-EM12 / F7A2-EM12K / F7A4-EH12K		
Kimyasal Analizi (%) – (Tipik)			
C	Si	Mn	Cu
0,07	0,35	1,50	-

**Çizelge 8.** Kaynak parametreleri (Welding parameters)

Kaynak Yöntemi	Amper (A)	Voltaj (V)	İlerleme Hızı (cm/dk)	Isı Girdisi (kJ/mm)
Tozaltı	480-490	30	123	7,1

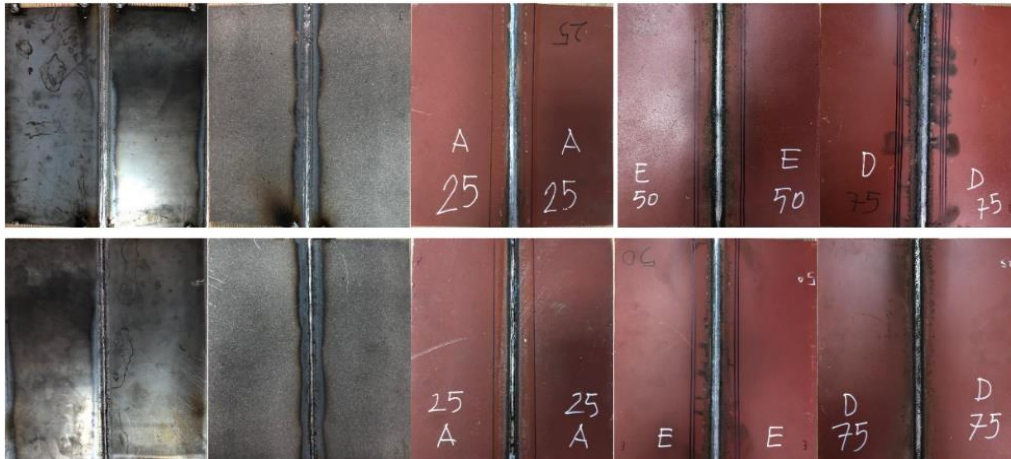
kaynaklanmasında kullanılan kaynak teli ve özellikleri Çizelge 6'da, kullanılan kaynak tozu özellikleri Çizelge 7'de, yapılan kaynak işlemlerinde deney süresince sabit tutulan kaynak parametreleri ve özellikleri Çizelge 8'de verilmiştir.

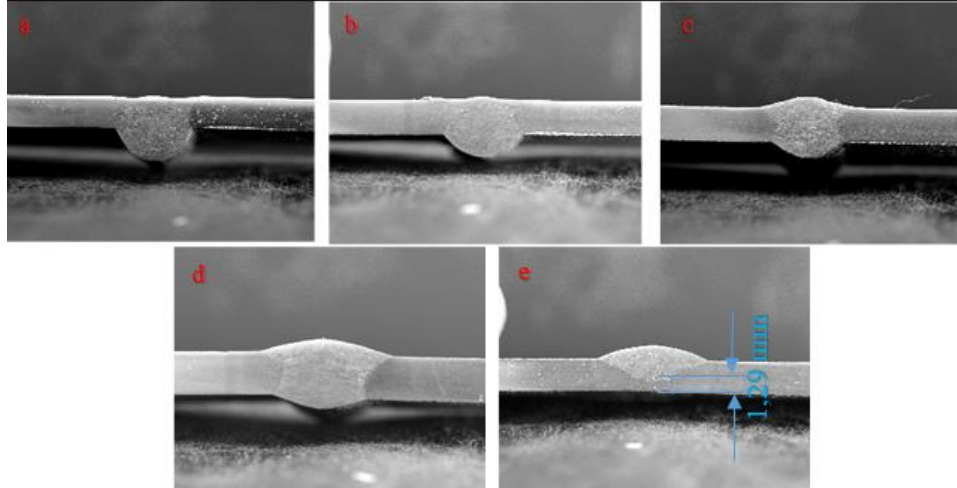
### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Numuneler üzerinde TS EN ISO 5817 standardında belirtilen kabul kriterlerine göre görsel incelemeler yapılmıştır. S235JR yapı çeliğinin kaynak sonrası kep ve kök dikiş görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.

Gözle muayene kontrol işlemi, uygulanacak TS EN 5817 standartlar için gerekli TS EN 17637 göre şartları yerine getiren ortamda ve konusunda uzmanlaşmış ve TS EN ISO 9712 standardına uygun olarak vasıflandırılmış, Seviye II bir kontrolör tarafından yapılmıştır. Kaynaklanan numunelerin görsel muayene sonucunda, T1, T2, T3 ve T4 numunelerinde kaynak yüzeylerinde yetersiz nüfuziyet, kökte çökme ve çatlak gibi kaynak kusurlarının varlığı gözlenmemiştir. Buna rağmen, kısmi yanma oluklarının olduğu bu kusurların kabul standardının sınırları içerisinde olduğu tespit edilmiştir. T5 numunesinde sıralı gözenekler ve nüfuziyet eksikliği hataları tespit edilmiştir. TS EN ISO 5817'de açıklanan 4021 numarası ile gösterilen tamamlanmamış kök nüfuziyeti açısından yapılan değerlendirmede, T5 numunesi hariç diğerlerinde bir problem görülmemiştir. T5 numunesi TS EN ISO 5817'deki kusur sınıfları B, C ve D'ye göre kabul sınırları içerisinde değildir. Kaplama kalınlığı arttıkça kaynak sonrası kararma artışı numunelerde belirgin olarak görülmektedir.

TS EN ISO 1090-2'de belirtildiği gibi kaynak yapılacak tüm yüzeyler kuru olmalı ve kaynakların kalitesini olumsuz etkileyecek veya kaynak işlemini engelleyecek (pas, organik malzeme veya çinko) malzemelerden

**Şekil 3.** S235JR yapı çeliğinin kaynak sonrası kep ve kök görüntüleri (Post-weld cap and root images of S235JR structural steel)



Şekil 4. Numunelerin makroyapı görüntüleri (Macrographs of the specimens) a) T1, b) T2, c) T3, d) T4, e) T5

arındırılmış olmalıdır. EXC1 için ön imalat astarları, ancak kaynak işlemini olumsuz etkilemiyorlarsa, kaynak ergime yüzeylerinde bırakılabilir. EXC2, EXC3 ve EXC4 için, TS EN 15614-1 veya TS EN 15613 uyarınca kaynak prosedür testleri bu tür prefabrikasyon astarları kullanılmalarında, imalat ön astarları kaynak ergime yüzeylerinde veya ısıdan etkilenen bölgede bırakılmamalıdır, şeklinde bilgi verilmiştir [9]. Bu standardın imalat ön astarlarıyla ilgili yapmış olduğu kabule rağmen 25 ve 50 µm kalınlığında uygulanmış olan imalat ön astarlarının bir etkisi görülmemiştir.

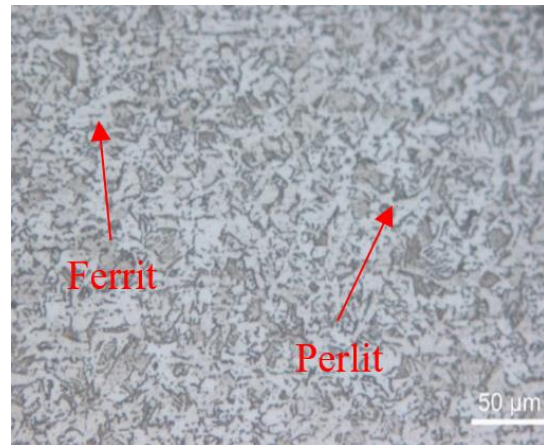
Şekil 4'te test parçalarının kaynak sonrası makrografi görüntüleri verilmektedir.

T1 ve T2 numunelerine ait makroyapı görüntülerinde aşırı kök sarkması görülmektedir. Bu durum TS EN ISO 5817 standardında açıklanan 504 numarası ile gösterilen aşırı nüfuziyet kaynak esnasında altlık kullanılması sebebi ile değerlendirme dışı tutulmuştur. T5 parçasında ise nüfuziyet sağlanmadığı belirgin olarak görülmektedir. TS EN ISO 5817 standardında açıklanan 4021 numarası ile gösterilen tamamlanmamış kök nüfuziyetine göre yapılan değerlendirmede 1,29 mm eksik nüfuziyet ölçülmüş olup kabul kriterleri içerisinde olmadığı görülmüştür. Makro inceleme sonucunda numunelerde ergime hatası, nüfuziyet eksikliği (T5 hariç), gözenek, çatlak ve kalıntı tespit edilmemiştir. İmalat ön astar kaplamama kalınlığı 25 ile 50 µm olan T3 ve T4 numunelerinde nüfuziyete yönelik herhangi bir kusur görülmemiştir. Solic ve arkadaşlarının yaptığı S235JR malzemelerin MAG kaynağı yapısal özelliklerin test edilmesi çalışmasında, kaynak bölgesinde, koruyucu kaplama ile kaplanmış örnekler ile referans örnekler arasında makro fotoğraflarda ne görünür kusurların ne de sapmaların olmadığını bildirmiştir [7].

İmalat ön astar kaplaması en yüksek olan T5 numunesinde nüfuziyet sağlanmadığı görülmüştür. Bu duruma artan imalat ön astar kalınlığının ısı girdisini engellemesi sebebiyle kaynak banyosunun istenen sıcaklığa ulaşamamış ve yeterli ergimenin gerçekleşmemiş olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Numunelere uygulanan imalat ön astar

kaplama kalınlığındaki artışının kaynak kalitesini etkilediği düşünülmektedir.

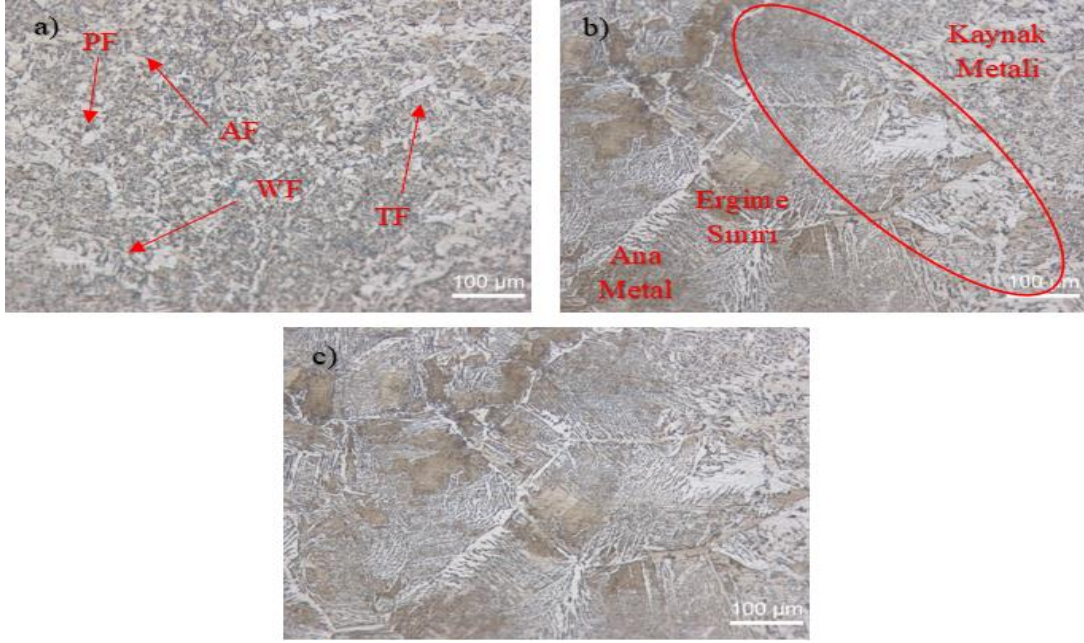
Yapılan mikroyapı incelemesinde tane yapısı, kaynak ısı girdileri ve soğuma sonucu oluşan faz dönüşümleri belirlenmiştir. S235JR yapı çeliğine ait ana malzeme mikroyapı görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.



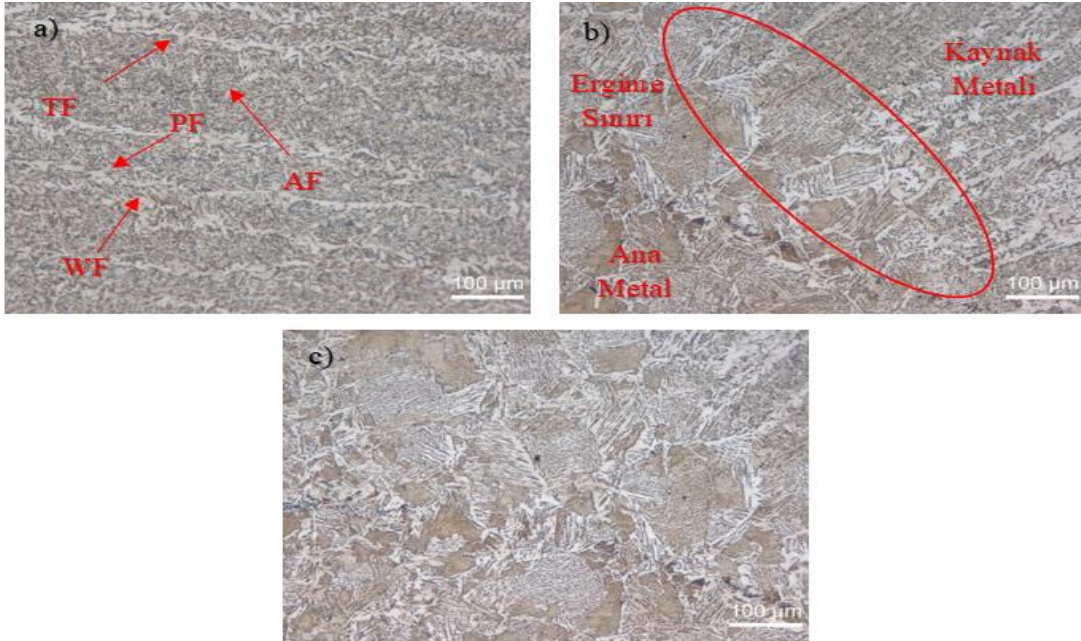
Şekil 5. S235JR yapı çeliğine ait ana malzeme mikroyapı görüntüsü (Microstructure image of S235JR structural steel base metal)

Şekil 5'te S235JR yapı çeliğinin ana malzeme mikroyapı görüntüsü incelendiğinde siyah renkte görülen bölgeler perlit, açık renkli olarak görülen bölgeler ise ferriti temsil etmektedir. Aktaş ve arkadaşları çalışmalarında, S235JR çeliğinin içerdiği karbon miktarına (%0,0902) bağlı olarak açık renkli bölgelerin ferrit ve koyu bölgelerin de az bir miktar perlit tanelerinden oluştuğunu ifade etmişlerdir [10].

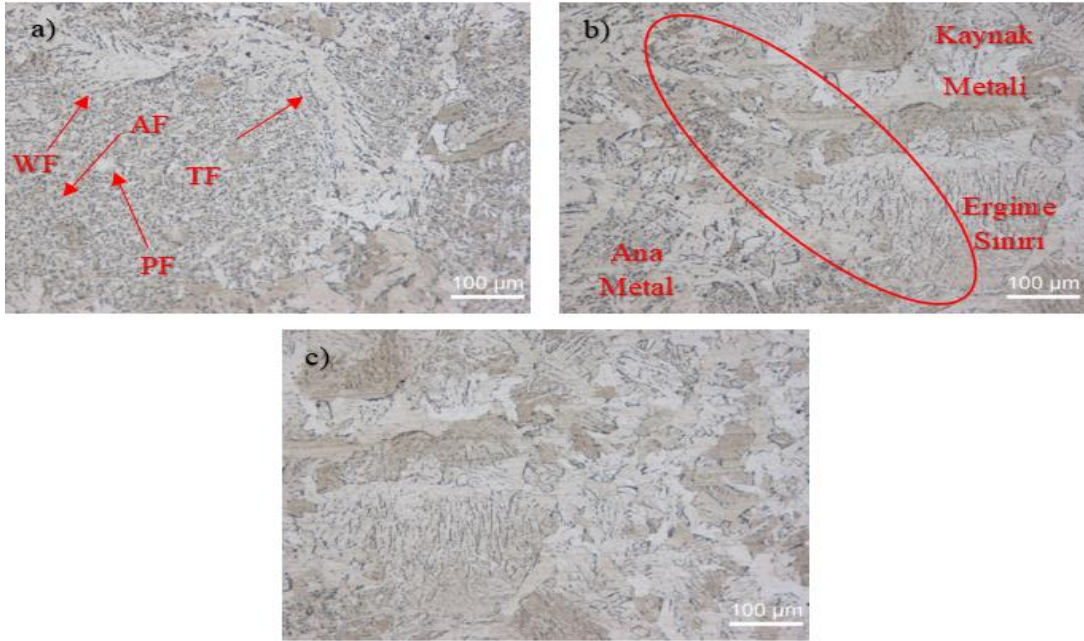
Şekil 6-10'de ise tüm numunelere ait, kaynak metali, ergime sınırı ve iri taneli bölgelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Daha sonra ise bu sonuçlar birlikte değerlendirilmiştir.



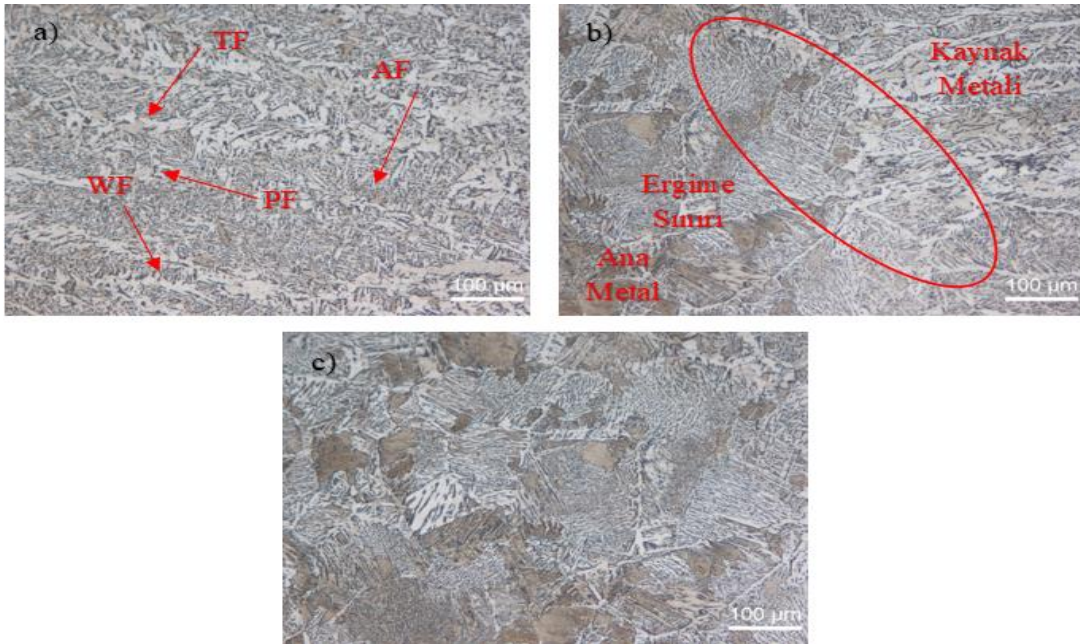
Şekil 6. T1 numunesine ait kaynak bölgesi görüntüleri, a) kaynak metali, b) ergime sınırı, c) iri taneli bölge (Weld zone images of T1 sample, a) weld metal, b) melting limit, c) coarse grained zone)



Şekil 7. T2 numunesine ait kaynak bölgesi görüntüleri, a) kaynak metali, b) ergime sınırı, c) iri taneli bölge (Weld zone images of T2 sample, a) weld metal, b) melting limit, c) coarse grained zone)

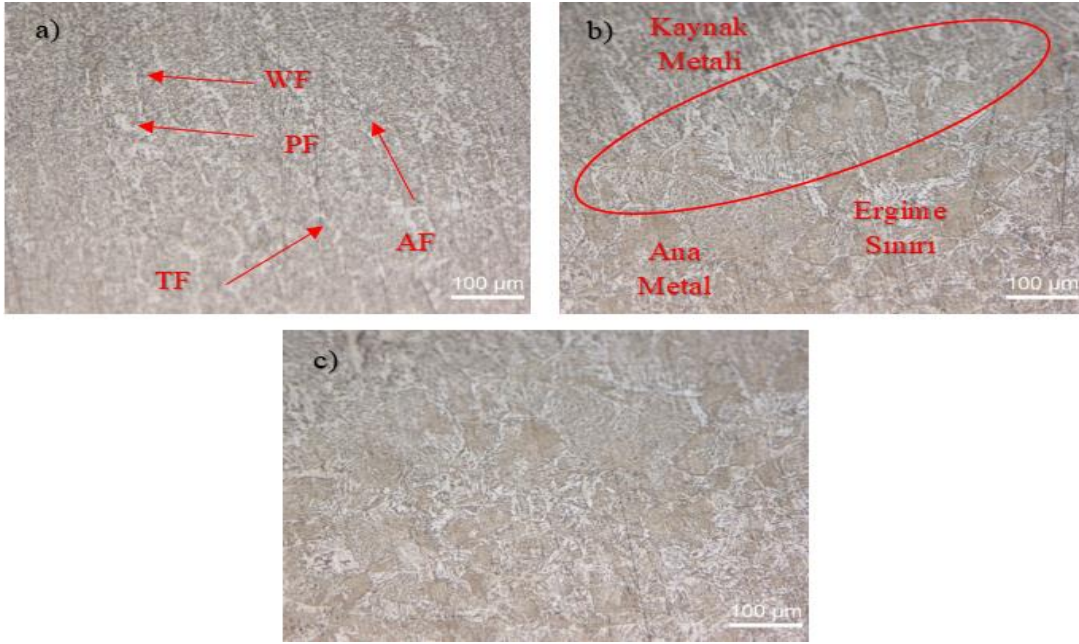


Şekil 8. T3 numunesine ait kaynak bölgesi görüntüleri, a) kaynak metali, b) ergime sınırı, c) iri taneli bölge (Weld zone images of T3 sample, a) weld metal, b) melting limit, c) coarse grained zone)



Şekil 9. T4 numunesine ait kaynak bölgesi görüntüleri, a) kaynak metali, b) ergime sınırı, c) iri taneli bölge (Weld zone images of T4 sample, a) weld metal, b) melting limit, c) coarse grained zone)





**Şekil 10.** T5 numunesine ait kaynak bölgesi görüntüleri, a) kaynak metali, b) ergime sınırı, c) iri taneli bölge (Weld zone images of T5 sample, a) weld metal, b) melting limit, c) coarse grained zone)

Şekil 6 ile 10 arasında verilen mikrografilerde, numunelerin kaynak metallerinin mikroyapısı, şekillerde gösterildiği ana metalden belirgin şekilde farklıdır. Bu farklılık, kimyasal bileşimle değil, ana metal ve kaynak metallerinin farklı termal geçişleriyle ilgilidir.

Numunelerin kaynak metali mikroyapılarında asiküler (AF), widmanstatten (WF), tane sınırı (TF) ve poligonale ferrit (PF) yapıları tespit edilmiştir. Asiküler ferrit, östenit tanelerinin iç kısmında, inklüzyonlar üzerinde doğrudan çekirdeklenme ile oluşmakta olup kaynak metalinde dayanımı ve tokluğu artırmaktadır. Literatüre göre, asiküler ferritin ince tane boyutu ile birlikte birbirine kenetlenen yapı, bölünme yoluyla çatlak yayılmasına karşı maksimum direnç sağlar. Çeşitli ferrit morfolojilerinin çekirdeklenmesine metalik olmayan inklüzyonların yardım ettiği bildirilmektedir; özellikle belirli bir tip ve büyüklükteki oksijen bakımından zengin bölgelerin, iğnemsiz ferritin intragranüler oluşumu ile ilişkili olduğu açıklanmaktadır [11,12]. Poligonale ferrit, östenit taneleri için meydana gelmekte olup yapısı itibarıyla tokluğa zarar vermektedir. Literatürde, poligonale ferrit önceki östenit tanelerinin içinde kaba ferrit adaları şeklinde oluşur. Poligonale ferrit, tane sınırı ferritine benzer, kaba tane boyutu nedeniyle tokluğa zarar verir [11]. Tane sınırı ferritler östenit tanelerinin sınırlarında soğuma esnasında daha kolay hareket yolları buldukları için oluşurlar. Literatürde, östenitik tane sınırı daha kolay difüzyon yoluna sahip olduğundan, östenitik tane sınırında ferrit oluşacağı açıklanmıştır [11]. Widmanstatten ferrit östenit tane sınırlarında oluşup tane içlerine doğru büyümektedirler. İğne şeklinde yapılarıyla oluşan widmanstatten ferritler kaynak metalinin dayanımının düşmesine neden olurlar. Widmanstatten ferrit, 750-6500 C sıcaklık aralığında tane sınırı ferrite nazaran daha hızlı soğuma sonucu meydana gelmektedir.

[12]. Tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin mikroyapısında büyük taneler elde edilmiştir. Bu durum tozaltı kaynak yönteminde ısı girdisinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Durgutlu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarında bu farklılaşmanın sebebini, toz altı kaynak yönteminde ısı girdisinin fazla olmasından dolayı daha iri tanelerin oluştuğu görülmektedir, şeklinde açıklanmaktadır [13].

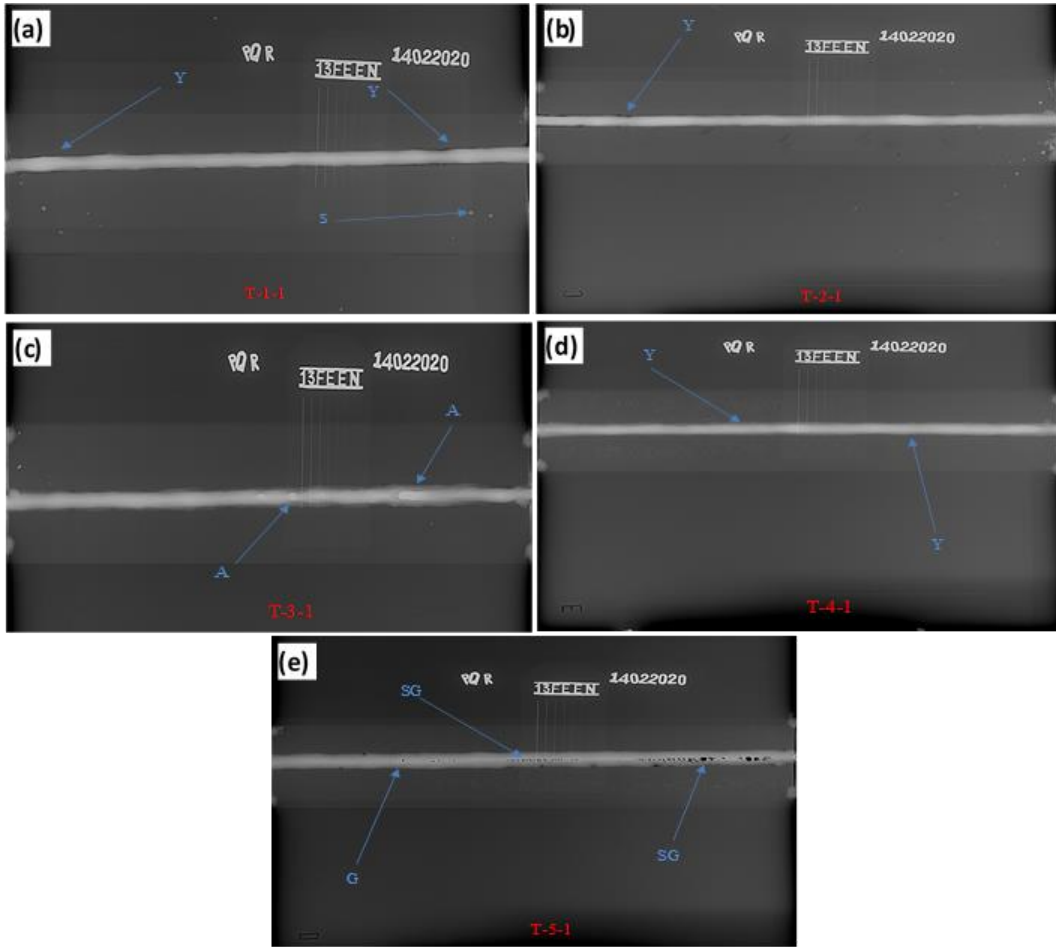
Numunelerin ergime sınırı ve ITAB incelendiğinde kaynak işlemin doğal sonucu olan ergime sınırı ve ITAB alt bölümlerinden biri olan ferrit ve perlit içeren iri taneli bölgelerin oluştuğu görülmektedir. Kaynak metali esas olarak katılaşma ve soğutma ile belirlenirken, ısıdan etkilenen bölgede tam termal döngü mikroyapının belirlenmesinde etkilidir. Literatürde kaynak yöntemine bağlı olarak ısı girdisinin tane büyüklüğü üzerinde etkisi olduğu bildirilmiştir [12].

Tozaltı ark kaynağı ile imalat ön astarlı ve imalat ön astarsız malzemeler üzerine aynı parametrelerde yapılan birleştirme işlemleri uygulanmış numuneler üzerinde mikroyapı çalışmaları sonucunda T5 numunesi hariç belirgin bir fark görülemedi. T2 numunelerin yüzeylerinin kumlanması sonrası yapılan kaynak işlemi sonrasında kaynaklanan parçaların mikroyapı incelemelerinde, kumlamanın olumlu ya da olumsuz bir etkisi gözlenmemiştir. T3, T4 ve T5 numuneleri üzerinde bulunan imalat ön astar kalınlığının 25, 50 ve 75 µm değiştirilerek yapılan kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı incelemelerinde kaplama kalınlığının etkisi sadece T5 numunesi üzerinde görülmüştür. T5 numunesi iri taneli bölgede taneler diğer numunelerde daha küçüktür. ITAB genişliği diğer numunelerden çok daha dar kaldığı görülmüş ve geçiş bölgesinin tespiti zor olmuştur. Bunun sebebi numune üzerinde 75 µm

kalınlığında bulunan imalat ön astarının ısı girişinin engellenmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Şekil 11’de numunelerin kaynak bölgelerine ait radyografi film görüntüleri verilmiştir.

standardı, aşırı nüfuziyeti, bir kaynağın kökünden dışarı taşan aşırı kaynak metalidir, şeklinde tanımlamaktadır [17]. T5 numunelerine ait film incelendiğinde gözeneklilik miktarlarının çok fazla olduğu



**Şekil 11.** Numunelerin kaynak bölgesi radyografi görüntüleri (Weld area radiography images of samples) a) T1, b) T2, c) T3, d) T4 ve e) T5.

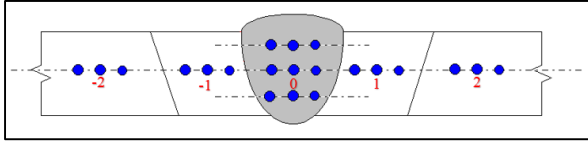
Şekil 11’de verilen radyografi görüntülerinde, Y ile gösterilenler yanma oluklarını, G ile gösterilenler gözenekleri, S ile gösterilenler sıçrantıları, A ile gösterilenler aşırı nüfuziyeti ve SG ile gösterilenler sıralı gözenekliliği ifade etmektedir. T1, T2 ve T4 numunelerin radyografi filmlerinde yanma oluklarını lokal olarak görülmektedir. Radyografi filmlerdeki yanma oluşu, kaynak görüntüsünün kenarını takip eden düzensiz koyu yoğunluklu bir çizgi olarak görünür. Literatürde yanma olukları, kaynağın kenarı boyunca plakanın yüzeyinde bir oluk veya kanal şeklinde röntgen filmlerinde belirirler, şeklinde açıklanmıştır [14-16]. T1 ve T2 numunelerinde gri renkte görülen noktalar kaynak sıçrantılarıdır. Sıçrantılar, uygun olmayan uzun arklar kullanılırsa, erimiş metal damlacıklar kaynak bölgesinin etrafına sıçrar. Ancak T1 ve T2 numuneleri görüntülerinde görülen sıçrantılar kaynak başlangıç bitiş parçalarının kaynatılması esnasında oluştuğu düşünülmektedir. T3 numunesi kaynak metalinde görülen açık renkteki gri bölgeler, A ile gösterilen aşırı nüfuziyeti olan yerleri göstermektedir. EN ISO 6520-1

görülmektedir. Literatürde, gözeneklilik radyografide birçok şekil alabilir, ancak genellikle tek tek, kümeler halinde veya sıralar halinde görünen koyu yuvarlak veya düzensiz noktalar veya lekeler olarak görünür. Tüm gözeneklilikler, çevresindeki alandan daha yüksek bir radyografi yoğunluğa sahip görülecektir, şeklinde açıklanmaktadır [18].

T5 numunesinde tespit edilen gözeneklerin uygulanan çinko esaslı imalat ön astar uygulamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ahsan ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, gözenek oluşumu, büyüme ve kaçış davranışı ile CMT-GMAW'daki kaynak bağlantılarının geniş bir ısı girdisi aralığında (150-550 J/mm) mekanik özellikleri üzerine bir çalışmayla açıklamaktadır. Bu çalışmada, kaynak havuzunun viskozitesi ve çinkonun buhar basıncı kullanılarak gözenek oluşumu, büyüme ve kaçış mekanizmaları açıklanmıştır [19].

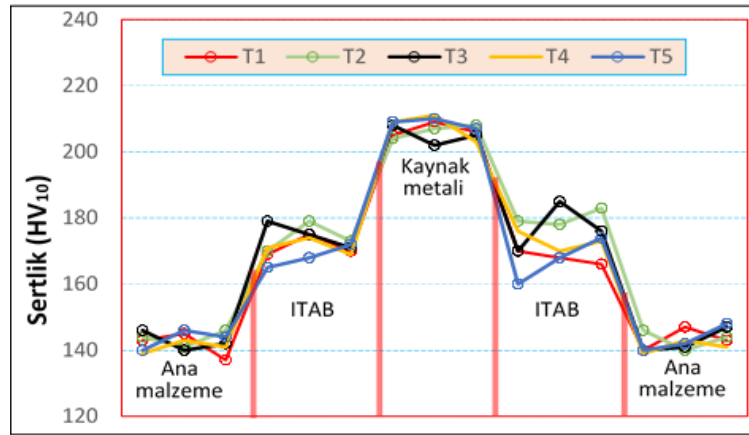
Şekil 12’de kaynak metali kesiti üzerindeki sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar gösterilmektedir. Burada (0) kaynak metali, (1) ve (-1) ITAB, (2) ve (-2) ana

malzemeyi temsil etmektedir. Şekil 13’de ise kaynatılan numunelerin sertlik sonuçları grafik halinde verilmiştir.



Şekil 12. Kaynak metal kesiti üzerindeki sertlik ölçümlerinin alındığı noktalar (Points where hardness measurements were taken on the weld metal section)

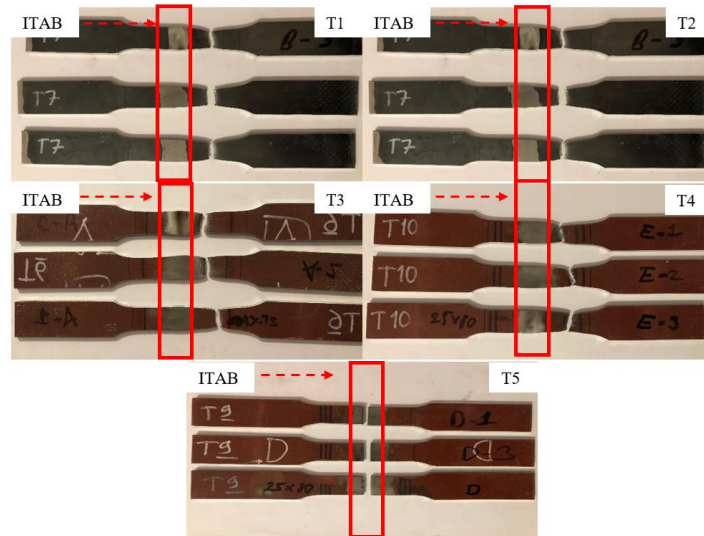
malzemelerin kaynağının deneysel ve teorik incelenmesi adlı çalışmalarında, kaynaklı malzemelerin sertlik değişimi incelendiğinde en yüksek sertliğin kaynak metalinde meydana geldiğini bildirilmiştir [20]. Bu sonuçlara paralellik gösteren Durgutlu ve arkadaşlarının ark kaynağında kaynak hızının nüfuziyete ve mikroyapıya etkisi çalışmalarında, tozaltı ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde en yüksek sertliğin kaynak metalinde olduğu ve onu sırasıyla ITAB ve ana malzemenin takip ettiği belirtilmiştir [13]. Numunelerinin yüzey işlemleri ve kapsam aralığındaki imalat ön astar kalınlığının numunelerin sertliğine, kaynak esnasında elde edile ısı vasıtasıyla imalat ön



Şekil 13. T grubu numunelerine ait sertlik grafiği (Hardness graph of T group samples)

Şekil 13’de verilen numunelere ait sertlik grafiğinde en yüksek sertliğin kaynak metalinde olduğu görülmektedir. Kaynak metalinde görülen bu sertlik artışının sebebi ise termal dönüşümle meydana gelen mikroyapılardan, ilave tel ve koruyucu tozun Mn ilavesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sertlik grafikleri incelendiğinde en yüksek sertliğin yapı dönüşümlerinin meydana geldiği kaynak metalinde olduğu, onu sırasıyla ITAB ve kaynak metalinin takip ettiği görülmektedir. Çelik ve diğerlerinin farklı

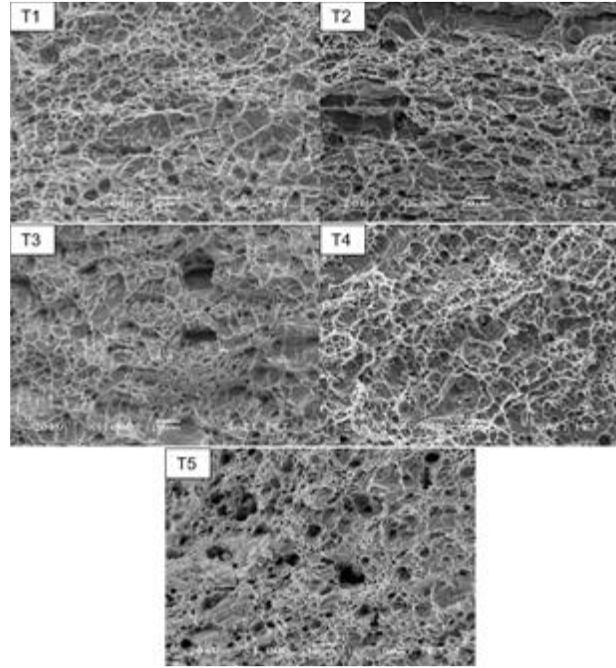
astarı yakılarak ortamdan uzaklaştırılmasında dolayı bir etkisi olmamıştır. 75 µm imalat ön astar kaplanmış T5 numunesinde kaynak esnasında oluşan sıralı gözeneklerin kaynak bölgesi (kaynak metal, ITAB ve kaynak metal) üzerinde sertliğe bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Numunelerin çekme testi ortalama sonuçları Çizelge 9’da, Şekil 14’de ise çekme sonucu meydana gelen kopma bölgelerinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 14. Numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri (Images of samples after tensile test)

**Çizelge 9.** Numunelerin çekme sonuçları (Tensile results of samples)

Numune Adı	Numune Sayısı	Çekme Hızı (mm/dk.)	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kesit Alan Daralması (%)	Toplam Uzama (%)
T1	3	15	403,7	56,7	22,2
T2	3	15	401,6	57,9	22,5
T3	3	15	397,6	56,8	22,8
T4	3	15	403,1	58,1	22,7
T5	3	15	256,9	10,4	1,4

**Şekil 15.** Numunelerin kopma yüzeylerine ait SEM görüntüleri (SEM images of the rupture surfaces of the samples)

Şekil 15'te numunelerin çekme sonrası kopma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri verilmiştir

Çekme deneyi ile elde edilen çekme mukavemeti sonuçları kaynak metalinin esas malzemeye uygunluğunu belirlememizi sağlamaktadır. Çekme testlerinde elde edilen sonuçlarda kaynak metalinin ana metale oranla daha mukavemetli olması beklenmektedir. TS EN ISO 4136 Çekme testi standardında belirtildiği gibi çekme sonucunda yöntemin uygunluğu açısından kaynaklı numune özelliklerinin en az ana malzeme çekme özelliklerine eşit olması beklenmektedir [21].

Çekme deneyinde T5 numunesi kaynak metalinde, bunun dışındaki tüm numunelerde ise kopmalar ITAB'ın dışında ana malzemede meydana gelmiştir. Bunun sebebi olarak bu bölgede ısı kaynaklı herhangi bir termal değişikliğin olmaması düşünülmektedir. Termal değişikliğe uğrayan kaynak metal ve ITAB'ta soğuma hızından dolayı sertlik artmakta buna bağlı olarak da mukavemet artmaktadır. Dolayısıyla mukavemeti düşük olan esas metalde kopma gerçekleşir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımının ana metalin çekme dayanımından biraz yüksek olduğu görülmüş olup bunun sebebi kaynaklı numunelerde, kaynaktan dolayı ITAB'ta ve kaynak metalinde mukavemet artmış ve bu bölgelerde deformasyonun gerçekleşmesi daha çok kuvvet

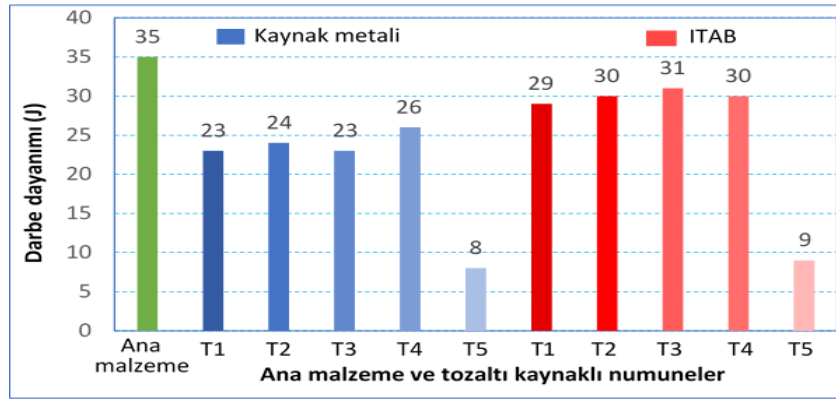
gereksinimi ortaya çıkartmıştır. Çekme bölgesindeki sünek kısım daha kısaldığı için çekme dayanımında bir parça artışa sebep olmuştur. Literatürde, kaynak metalinin genellikle nispeten yüksek yoğunlukta dislokasyon içerir ve bu da akma dayanımının artmasına katkıda bulunur. Nihai sonuç, karbon ve/veya alaşım içeriği daha düşük olduğunda bile kaynak metalinin normal olarak eşdeğer plaka malzemesinden daha yüksek çekme ve akma dayanımına sahip olduğu açıklanmaktadır [22].

Numunelerin çekme değerleri T5 hariç birbirine yakın olup, kopmalar ITAB'ın dışında gerçekleşmiştir. Artan kaplama kalınlığı kaynak kalitesini olumsuz etkilemiş olup çekme sonuçlarında ise sadece T5 numunesi çekme testinde olumsuz sonuç elde edilmiştir. Bunun da sebebi kapsam aralığındaki kaplama kalınlığından dolayı elde edilemeyen nüfuziyet ve sıralı gözeneklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynak kusuru olarak değerlendirilen nüfuziyet eksikliği ve sıralı gözeneklerdir. T5 numunesinde görülen gözenekler kaynaklı birleşirmenin yapısal bütünlüğünü ciddi olarak zayıflatarak kaynaklı bağlantının mukavemetini olumsuz olarak etkilemektedir. Nüfuziyet yetersizliği, ergimenin T5 numunesi kalınlığı boyunca olmaması sonucunda meydana gelmiş ve kaynak bağlantısının alt kısımlarında kırılmayı ve kopmayı teşvik eden oyuk ve çentikler

şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu kusur çekme esnasında T5 kaynaklı numunenin bağlantısı üzerinde olumsuz bir etkisi oluşturmuştur. Dolayısıyla yapılan çekme deneyinden olumsuz sonuçlar elde edilmiştir.

Çekme sonucu oluşan kopma yüzeyleri incelendiğinde kırılma yüzeylerinin görünümü, S235JR çeliğinin yapı ve içerdiği düşük karbon oranına bağlı olarak sünek kırılmaya maruz kaldığını göstermiştir. Daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda anlatıldığı gibi kırılma, boşluk birleşmesi veya numunenin kendisinin mekanik kararsızlığı nedeniyle meydana gelebilir. İlk olarak, boşluklar inklüzyonlarda çekirdeklenir ve ardından plastikliğin yardımıyla büyür. Sonunda birleştiklerinde, bir çatlak oluşur ve malzeme kırılır. Plastik deformasyona maruz kalan düşük karbonlu malzemelerde girintili çıkıntılı sünek kırılma olur, şeklinde açıklamalar yapılmaktadır [23-25].

kaynak metalinde tokluk en düşüktür. ITAB'ta ise elde edilen tokluk anma malzemeden düşük kaynak metalinden yüksek olarak elde edilmiştir. T5 numunesi çentik darbe testi sonucu kaynak metalinde 8 J, ITAB'ın ise 9 J olarak tespit edilmiştir. Nüfuziyet elde edilemeyen ve sıralı gözenek içeren kaynağın darbe direnci diğer numunelere kıyasla oldukça düşük değerlerde çıkmıştır. Kaynak kusuru olarak değerlendirilen nüfuziyet eksikliği ve sıralı gözenekler, bağlantının mukavemetini düşürmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen çentik darbe değerleri sırasıyla en yüksek ana malzemede, sonra ITAB'ta daha sonra ise kaynak metalinde elde edilmiştir. Kaynak metalinde kullanılan ilave metal ve soğuma hızlarına bağlı olarak artan sertlik tokluğu düşmüştür. Benzer şekilde, önceki çalışmalarda düşük karbonlu çeliklerin kaynağında ITAB'ın kırılma davranışları üzerine etkisi araştırılmış



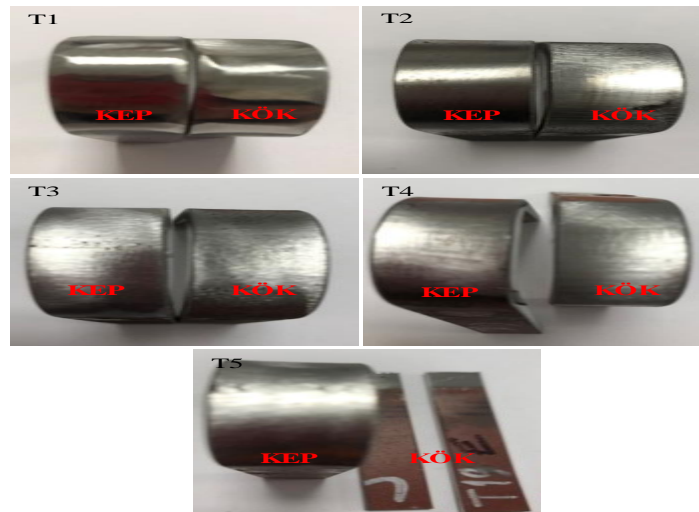
Şekil 16. Numunelere ait çentik darbe sonuçları (Notch impact results of samples)

Şekil 16'da numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları grafik olarak verilmiştir.

Test sonucu grafiksel olarak Şekil 16'da gösterildiği gibi T1, T2, T3 ve T4 numunelerinin kaynak metalinde çentik darbe değerleri sırasıyla 23 J, 24 J, 23 J, 26 J, ITAB'ta ise 29 J, 30 J, 31 J ve 30 J olarak ölçülmüştür. Sonuçlar, elde edilen sertliklerle ilişkili olarak zıt anlamda değişkenlik göstermektedir. Numunelerin sertlik testlerine zıt olarak en yüksek sertliğin elde edildiği

ITAB'daki iri taneli bölgenin tokluğunun kaynak metalinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ITAB'ın sertliğinin kaynak metali sertliğinden düşük olması bu sonucu doğrulamaktadır, şeklinde açıklanmaktadır [26-27].

Eğme deneyi ile ana metal, ITAB ve kaynak metalinin fiziksel özelliklerini belirlemek için TS EN ISO 5173 standardına uygun hazırlanarak eğme deneyine tabi tutularak belirlenmiştir. Bu amaçla deneyler



Şekil 17. Numunelere ait çentik darbe sonuçları (Notch impact results of samples)

gerçekleştirilmiş olup Şekil 17'de numunelere ait sonuçlar verilmiştir.

Şekil 17 incelendiğinde, T1, T2, T3 ve T4 numunelerinin yapılan kep ve kök eğme testinde eğme deneyi neticesinde birleşme bölgesinde çatlak tespit edilmemiş, numunelerde şekillendirilebilirlik açısından herhangi problemin oluşmadığı görülmüştür. Yapılan çeşitli çalışmalarda, kaynaklı S235JR çeliklerine, kaynak bölgesinin şekil değiştirme özelliğinin belirlenmesi için uygulanan iki yönlü eğme testleri sonucunda, tüm kombinasyonlar 180° eğildiklerinde gözle görülebilir bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Bükme testinde, çatlak durumunun uzama miktarı ile doğru orantılı olduğu göz önüne alındığında, elastik dönüşüm miktarının U tipi bir bükülme oranına izin verdiği sonucuna varılabilir. Bu, kaynak metalinin neden en azından malzemeler kadar burulma mukavemeti sergilediğini açıklar. Bu nedenle kaynak metali, temel malzemeler olarak sahada kullanıma uygundur, şeklinde açıklamalar bulunmuştur [28-30].

T5 numunesine ait eğme test sonucuna yönelik değerlendirmede, yapılan kep ve kök eğme testinde eğme deneyi sonrasında birleşme bölgesinde kaynak kusurları tespit edilmiştir. Kep bölgesinde eğme deneyinde çatlak, kök bölgesinde eğme deneyinde ise bükme testi başlangıcında kökte kopma meydana gelmiştir. T5 numunesi Sa 2 ½ derecesinde kumlanmış, daha sonra 75 µm kalınlığında imalat ön astar boya uygulanmış S235JR çeliklerin kaynaklarında, şekillendirilebilirlik açısından problemler tespit edilmiştir.

T1, T2, T3 ve T4 numunelerinin eğme testlerinde oluşan herhangi bir hata belirlenmemiş, numunelerin kaynaklarının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Yapılan alın birleştirme bağlantısının şekillendirilebilirlik kabiliyetinin olumlu olarak sonuçlanmıştır. Safriwardy tarafından yapılan çalışmada, eğme testi, yüzey alanında çok az değişiklik olan veya hiç değişmeyen doğrusal bir eksene karşı metalin plastik deformasyon işlemidir. Eğme, nötr eksenin dışındaki metalin çekmesine neden olurken diğer taraf basınç altındadır. Dış yük sadece esneklik sınırı içinde deformasyona neden oluyorsa malzemenin sünek olduğu söylenir, şeklinde tanımlama yapılmaktadır [31].

Farklı yüzey durumlarına getirilip kaynakları yapılan numunelerin kaynaklarının eğme testi ile uygunluk değerlendirmesi sonucunda T5 numuneleri hariç, diğer birleştirmelerin başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Solic ve diğerlerinin yaptığı yapısal özelliklerin test edilmesi çalışmasında, eğme testinin sonuçları iyi olarak değerlendirildiği, yani bükülmeye maruz bırakıldıktan sonra kaynak yüzünde veya kaynak kökünde görünür bir mekanik hasar meydana gelmediğini bildirmişlerdir [7].

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma sonunda 4 mm kalınlığında S235JR kalite malzemeler tozaltı ark yöntemi ile T2, T3, T4 ve T5 numunelerine yüzey işlemleri yapılarak, T1 numunesine ise herhangi bir yüzey işlemi yapılmadan kaynak işlemi

gerçekleştirilmiş ve yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde, kaplamadaki yanma ve kararmanın, kaplama kalınlığına bağlı olarak arttığı görülmüştür.
- Tozaltı ark kaynak yöntemi ile en yüksek kaplama kalınlığına sahip numune (T5) hariç diğer tüm numunelerde gözle yapılan inceleme neticesinde, kaynak yüzey kusurları olan eksik veya fazla kaynak kepi, kökte çökme gibi hatalara rastlanılmamıştır. T5 numunesinde tam nüfuziyet sağlanmamış olup bunun sebebinin kaplama kalınlığından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.
- Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, kaynak metalinde widmanstatten ferrit, asiküler ferrit ve poligonal ferrit gibi benzer mikroyapıların oluştuğu görülmüştür. Yapılan farklı kaplama kalınlıklarının ve yüzey hazırlamanın mikroyapı üzerine bir etkisi, 75 µm kaplama kalınlığında tane boyutunu küçülmesinden dolayı bir etkisi olmuştur.
- Radyografik muayene sonuçları incelendiğinde ise T1, T2, T3 ve T4 numunelerinin TS EN ISO 10675-1 Level 1 kabul standardı içerisinde olduğu görülmüştür. T5 numunelerinde ise porozite (gözeneklilik) oluştuğu gözlenmiştir ve tespit edilen hataların ise TS EN ISO 10675-1 Level 1 göre kabul standartları dışında kaldığı görülmüştür. Oluşan bu porozitelerin kapsam aralığında uygulanan imalat ön astar kaplamanın kaynak esnasında kaynak banyosunda hapsolmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Sertlik sonuçlarına göre tüm numunelerde sertlik değerlerinin ana malzemedeki kaynak metaline doğru gittikçe arttığı görülmüştür. Sertlik sonuçları ile yüzey işlemleri ve artan kaplama kalınlığı arasında bir ilişki görülmemiştir.
- Çekme testlerinde, T5 numunesi hariç geriye kalan numunelerde, kopmalar kaynak bölgesi haricinde ana malzemede meydana geldiği ve mekanik değerlerinin standardının gerektirdiği değerden yüksek olduğu bulunmuştur. T5 numunesinde ise yeterli nüfuziyet sağlanamadığı için kopma, kaynak metalinde gerçekleşmiştir. Kopma yüzeyi SEM incelemelerinde sünek kırılma özellikleri görülmüştür. T1, T2, T3 ve T4 numunelerinde yüzey durumu ve kaplama kalınlığının bir etkisi olmamıştır. Ancak T5 numunesinde ise kaplama kalınlığının etki görülmüştür.
- T5 numunesi hariç tüm numunelerde, çentik darbe testleri neticesinde, kaynak metali tokluk değerleri, ITAB ve ana malzeme tokluk değerlerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. T5 numunesinde 75 µm kalınlığındaki imalat ön astar kaplamanın olumsuz etkisi çentik darbe testi sonuçları üzerinde görülmüştür.
- T5 numunesi hariç tüm numunelerde eğme testleri başarı ile sonuçlanmış olup elde edilen kaynakların

şekillendirilebilirliğe uygun olduğu görülmüştür. T5 numunesinde görülen hasarın ise kaplama kalınlığının kaynağın şekillendirilebilirliği üzerine olumsuz etkisinin olduğu görülmüştür.

- Kaynak yapılacak malzemelerde, imalat ön astar kaplamanın 25 ve 50 µm kadar uygulamalarında herhangi problemin meydana gelmediği ancak 75 µm kalınlığındaki imalat ön astar kaplamanın kaynağı olumsuz etkilediği görülmüştür..

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Cemil ÇETİNKAYA:** Deney sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazımına katkı sunmuştur.

**Ali AKAY:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Uğur ARABACI:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Tayfun FİNDİK:** Deney sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazımına katkı sunmuştur.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Hempel "Doğru boya sistemi nasıl seçilmeli. Korozyona karşı koruyucu boyalar için ISO 12944 standardına uygun temel esaslar ve sistemler", *Hempel Coatings*, İstanbul, 14-16, (2017).
- [2] JOTUN, "Coating Manual", *Jotun Paints*, Sandefjord, Norway, 3(5)-15.37, (1999).
- [3] Teknos, "Handbook, For Corrosion Protection of Steel Surfaces by Painting", *Teknos OY*, (Second Edition), Finland, 9-65, (2013).
- [4] Berendsen M., "Marine Painting Manual", *TNO Paint Research Institute Springer*, Delft. Netherlands, 167-169, (1989).
- [5] Blasko G. J., Moniak D. J. and Howser B. C., "A project of the national shipbuilding research program for the society of naval architects and marine engineers ship production committee", *SP-7 Welding Panel, Evaluation of hitachi zosen portable welding robotics, U.S. Navy: News Shipbuilding*, 3-5, (1992).
- [6] Solic T., Maric D., Jagodic Z., and Samardzic I., "Testing Of The Shopprimer's Influence on The Quality Of Welded Joint", *Metalurgija*, 56 (3-4), 357-360, (2017).
- [7] Anık S., "Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar", *Gedik Eğitim Vakfı. Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü*, 41-103, (1991).
- [8] TS EN 1090-2, "Çelik ve alüminyum yapı uygulamaları-Bölüm 2: Çelik yapılar için teknik gerekler", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2018).
- [9] Akkaş, N., Onar, V. ve Varol, F., "Raylı Sistem Araçlarında Kullanılan S235JR(Cu) Çelik Sacların Direnç Nokta Kaynağında Mikro Yapı Analizi", *III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, Gaziantep*, 1591-1599, (2018).
- [10] Parmar, R.S., "Welding Engineering And Technology", (First Edition), *Khanna Publisher*, India, 659-700, (1995).
- [11] Akay A., "Astar kaplama uygulamalarının S235JR malzemelerin kaynak kabiliyeti üzerine etkilerinin araştırılması", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2021).
- [12] Durgutlu A., Gülenç B. ve Tülbentci K., "Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikro yapıya Etkisi", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*, 23, 251-259, (1999).
- [13] CGSB, "Manual on Industrial Radiography", *Canadian General Standards Board*, Ottawa, Canada, 101-113, 2013).
- [14] Carestream, "NDT Images An Overview, Your guide to proper processing and interpretation of radiography films for Non-Destructive Testing (NDT)", *Carestream, Inc*. New York, USA, 4-82, (2014).
- [15] IAEA, "Introduction to Radiographic Examination, Nondestructive Examination (NDE) Technology and Codes, Student Manual", Vol. 1, Ch. 5, *IAEA Technical Training Center*, Vienna, Austria, 12-57, (2008).
- [16] TS EN ISO 6520-1, "Kaynak ve ilgili işlemler - Metalik malzemelerde geometrik kusurların sınıflandırılması - Bölüm 1: Ergitme kaynağı", *Türk Standartları Enstitüsü*, (2008).
- [17] Mix, P., "Introduction to Nondestructive Testing, A Training Guide" (Second Edition). *Wiley-Interscience*, USA, 301-407. (2005).
- [18] Ahsan Md. R. U., Kim Y. R., Ashiri R., Cho Y. J., Jeong C., and Park Y. D., "Cold Metal Transfer (CMT) GMAW of Zinc-Coated Steel". *Welding Journal*, 95, 120-132, (2016).
- [19] Çelik A., Özel, A., Akgün A., "Farklı Malzemelerin Kaynağının Deneysel ve Teorik İncelenmesi", *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 21-30, (1999).
- [20] Biner İ., "Kaynaklı Numunelerin Tahribatlı Testlerinin Güvenilirliği ve Cihaz Kalibrasyonu", *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 125-129, (2015).
- [21] Kou S., "Welding Metallurgy", (Second Edition) *Department of Materials Science and Engineering University of Wisconsin*, USA, 143-393, (2003).
- [22] Bahman A.R. and Alialhosseini E., "Change in hardness, yield strength and UTS of welded joints produced in St37 grade steel", *Indian Journal of Science and Technology*, 1162-1164, (2010).
- [23] Kossakowski P.G., "Experimental Determination Of The Void Volume Fraction For S235JR Steel At Failure In The Range of High Stress Triaxialities", *Arch. Metall. Mater.*, 167-172, (2017).

- [24] Çetinkaya C., Arabacı U. ve Akay A., “Yakma Alın Kaynağı İle Kaynatılmış İki Farklı Çeliğin Kaynak Kalitesine Yığma Akım Zamanının Etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 519-525, (2006).
- [25] Ada, H. , Aksöz, S. , Fındık, T. , Çetinkaya, C. & Gülsün, M. “Tozaltı Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Petrol ve Doğalgaz Borularının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19 (3) , 275-282, (2016).
- [26] Çetinkaya C. “Düşük karbonlu çeliklerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliği ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 279-293, (1999).
- [27] Kaya Y., “S235JR ile S355JR Yapı Çeliklerinin Özlü Tel Elektrotla MAG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 597-602, (2018).
- [28] Guo J., Xu X., Jepson M.A. and Thomson R.C., “Influence of weld thermal cycle and post weld heat treatment on the microstructure of MarBN steel”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 174, 13-24, (2019).
- [29] Çiçek B, İş E.G., Gümüş E. ve Topuz P., “The Effect of Welding Positions on the Weldability of X20CrMoV11-1 Steels”, *Hittite Journal of Science and Engineering*, 5 (1) , 75-83, (2018).
- [30] Çetinkaya C., Akay A., Arabacı U. and Özdemir U., "Effect of Shop-Primer Coating on S235JR Steel on MAG Weldability" *Advances in Materials Science*, 22 (2), 49-63, (2022).
- [31] Safriwardy F., “The Effect of Welding Position on the Quality of SMAW Welding Electrode Joint AWS E 7018”, Proceedings of the 1st Workshop on Multidisciplinary and Its Applications WMA-1, January 20-21, Indonesia, 278-285, (2018).