

## Kalın S235JR Malzemelerinin Mekanik Özelliklerine Kök Boşluklu ve Boşluksuz Kaynağın Etkisi

Gizem Uslu<sup>1</sup> , Aykut İnanoğlu<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>2</sup>Dekor Alüminyum San. Tic. A.Ş. Düzce, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

**Alınma:** 07.04.2023

**Kabul:** 27.06.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Kök boşluk

S235JR

Metalografi

MIG-MAG Kaynağı

### ÖZET

Bu çalışmada, S235JR çeliğinin kök boşluklu ve kök boşluksuz kaynak uygulama yönteminin kaynak kalitesine ve malzemenin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kaynaklı numunelere çekme testi, çentik darbe testi, sertlik ölçüm testi ve mikro yapı analizleri uygulanmıştır. Test sonuçları verilerine göre, hangi yöntemin malzeme mekanik özelliklerini iyileştirebildiği gözlemlenmiştir. Alınan sonuçlara göre, kök boşluğu bırakılarak kaynak işlemi yapılan numunelerin mikro yapı incelemelerine bakıldığında kaynak nüfuziyetinin tam sağlandığı görülmüş olup kök boşluğu bırakılmadan kaynatılan numunelerde ise kaynağın nüfuz etmediği alanlar tespit edilmiştir. Bu durum, çekme testi deneyinde, çentik darbe testinde ve sertlik ölçüm testlerinde de kök boşluklu numunelerin çekme dayanımının, absorbe edebildiği enerjinin ve sertliğinin artış göstermesini sağlarken, kök boşluklu olmayan numunelerde ise bu değerlerin daha düşük çıkmasına neden olmuştur. En iyi çekme testi sonucu 419 MPa, en iyi çentik darbe sonucu ise 159 J olarak kök boşluklu kaynak uygulamalarında alınan sayısal değerlerin sonuçlarıdır.

## Effect of Welding With and Without Root Gaps on The Mechanical Properties of Thick S235JR Materials

### ARTICLE INFO

**Received:** 07.04.2023

**Accepted:** 27.06.2023

#### Keywords:

Root gap

S235JR

Metallography

MIG-MAG welding

### ABSTRACT

This study investigated the effect of the root gap and root gap welding application method of S235JR steel on the material's weld quality and mechanical properties. Tensile test, notch impact test, hardness test and microstructure analysis were applied to welded samples. According to the test results data, it has been observed which method can improve the mechanical properties of the material. According to the results obtained, when the microstructure examinations of the samples that were welded by leaving a root gap were examined, it was seen that the weld penetration was fully achieved. The areas where the weld did not penetrate were determined in the samples welded without leaving a root gap. This situation increased the tensile strength, absorbable energy and hardness of the hollow root samples in the tensile test, notch impact test and hardness measurement tests. At the same time, these values were lower in the samples without root voids. The best tensile test result is 419 MPa, and the best notch impact result is 159 J, the results of numerical values taken in root gap welding applications.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişmekte olan ülkelerde, nüfus artışı ile beraber kentleşme oranı da her geçen gün artış göstermektedir. Kentleşme oranının artış gösterme nedenlerinden birisi de sanayileşme ile birlikte köyden kente olan göçlerin artmasıdır. Büyük şehirlerin göç alması ile birlikte artan nüfusun gereksinimlerini karşılamak amacı ile üretim modellerinde dikey mimariye doğru bir değişim yaşanmıştır. Gelen kalabalık, beraberinde çevresel kaygıları da getirdiği için yapılarda yüksek katlı

\*Sorumlu yazar, e-posta: aykutinanoglu@gmail.com

To cite this article: G. Uslu, A. İnanoğlu, Kalın S235JR Malzemelerinin Mekanik Özelliklerine Kök Boşluklu ve Boşluksuz Kaynağın Etkisi, Manufacturing Technologies and Applications, 4(2),59-71, 2023.

<https://doi.org/10.52795/mateca.1278868>, This paper is licensed under a CC BY-NC 4.0

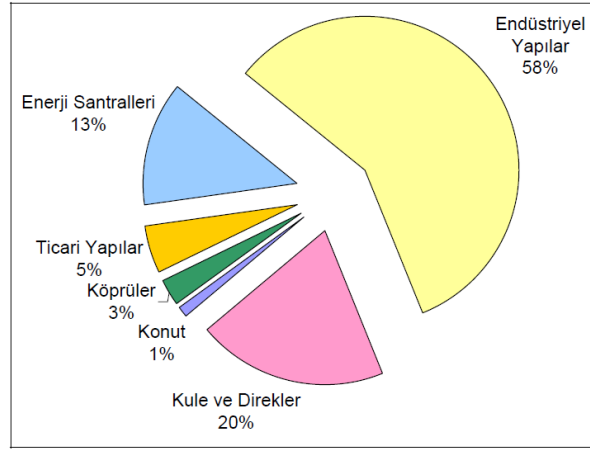
tasarımların zorunlu bir ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Son dönemlerde ivmelenen çelik yapı sektöründeki hızlı büyüme ve artan rekabet, alternatif imalat uygulamalarının geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Artan müşteri taleplerini karşılayabilmek adına; geliştirilen farklı imalat yöntemleri, bazı yöntemlerin diğerlerine kıyasla öne çıkmasını sağlamıştır [1].

Çelik yapı sektörü, bir ülkenin yaşam koşullarının yükselmesinde ve ekonomik açıdan ilerlemesinde büyük bir pay sahibidir. Konu bu açıdan ele alınır, yapının oluşturulmasında görev alan herkesin dünyada çelik yapı sektörünün nasıl ve nereye doğru evrildiğinden, son gelişmelerden haberdar olması gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Son zamanlarda çelik yapı sektöründe öne çıkan gelişmeler, özellikle yaşanan sarsıcı depremler dolayısıyla ile yapılarda dayanıklılık ve imalat kalitesi üzerinde yoğunlaşmış durumdadır [2].

Türkiye, jeolojik ve topografik yapısı nedeniyle sık sık yıkıcı ve sarsıcı depremlere maruz kalmaktadır. Ülkemiz topraklarının %92'si deprem bölgelerinde yer almaktadır ve insanlarımızın %95'i bu bölgelerde yaşamaktadır. 1903'ten 1999'a kadar 100.000'den fazla insanın hayatını kaybetmesi ve 420.000 evin 58 büyük depremle çökmesine neden olan depremler, Türkiye'nin tehdit altında olduğu deprem felaketinin boyutlarını açıkça gözler önüne sermektedir. Bu nedenle, günümüzde depreme dayanıklı yapıların tasarımı ve özellikle yeni yapılacak yapıların tasarım ve imalat süreçlerindeki dikkat edilmesi gereken önemli kriterler, yapıların dayanımının ve ömrünün en önemli belirleyicileri olmaktadır. Çelik yapılar, ülkemizde konutlarda da kullanılmakla birlikte özellikle endüstriyel yapılar için de tercih edilmektedir. Bunlar arasında, geniş açıklıklı köprüler, spor salonları, sergi ve konferans salonları örnek olarak verilebilmektedir. Günümüzde özellikle son on yılda artış gösteren deprem olaylarının yaşanmasına paralel olarak, yapılarda çelik kullanımının giderek artış gösterdiği gözlenmektedir [3]. Çelik, mimari yapılarda gösterdiği üstün mekanik özellikleri sayesinde günümüzde dünyada birçok ülke tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir [2].

Çelik, demir elementi ile genellikle %0,02 ila %2,1 oranlarında değişen karbon miktarının bileşiminden meydana gelen bir alaşımdır. Çelik alaşımındaki karbon miktarları çeliğin sınıflandırılmasında önemli rol oynamaktadır. Dünyanın altyapısını ve endüstrilerini inşa etmek için açık ara en yaygın kullanılan malzeme olan çelikler, dikiş iğnelerinden petrol tankerlerine ve devasa gökdelenlere kadar her şeyi imal etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca bu tür eşyaları ve yapıları imal etmek için gerekli aletler de yine çelikten yapılmaktadır. Çeliğin ana metali demirdir. Sıcaklığa bağlı olarak, iki kübik kristal yapı (allotropik form) alabilir: hacim merkezli kübik ve yüzey merkezli kübik. Demirin allotroplarının, başta karbon olmak üzere alaşım elementleriyle etkileşimi, çeliğe ve dökme demire benzersiz özellikler katmaktadır. Demire kıyasla mukamevet açısından ve işlenebilirlik özelliklerinden ötürü oldukça üstün özellikler barındıran çelik, aynı zamanda demirden daha hafiftir. Çeliğe göre daha kırılğan bir özellik taşıyan demirin aksine çelik, ağırlık ve baskı karşısında daha dirençli bir özellik sergilemektedir. Çelik malzemenin bu gibi avantajlar taşıyor olması, ona köprü inşası, yüksek katlı binalarda kullanımı, büyük projelerde ana yapı elemanı olarak kullanılması ve demiryolu rayları gibi ağırlık taşıyan araçlar için oldukça yaygın bir kullanım alanı kazandırmıştır [4-6].

Türkiye'de üretilen çelik yapıların yaklaşık olarak %60'ı endüstriyel yapılar olarak göze çarpmaktadır. Bu orana, kuleler ve enerji altyapı yatırımları da eklendiğinde bu oran %90'lara çıkmaktadır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, ticari yapılar ve köprüler ise kalan payın %10'unu oluşturmaktadır [7].



Şekil 1. Türkiye’de çelik yapıların dağılımı (Distribution of steel structures in Türkiye) [7]

Yapılarda çelik kullanımı, mimari özgünlük, estetik, hafiflik, çok katlı bina yapımına uygunluk, depreme dayanıklılık, prefabrikasyon, kolay denetim, hızlı yapı üretimi, nakliye kolaylığı, %100 geri dönüştürülebilirlik, güçlendirme etkisi gibi kolaylıkları da beraberinde getirmektedir. Bu avantajların varlığı bağlamında “neden çelik yapı?” diye sorulduğunda şöyle bir sonuca ulaşılmaktadır: Yapı çeliğinin kırılğan değil sünek bir yapıda olması, kalıp ve iskele kullanma zorunluluğu olmadığı için daha küçük temel ve kazı yapılabilmesi, yeniden kullanılabilirliğe uygun olması ve en kötü zeminleri bile değerlendirebilmek için daha geniş kullanım alanları oluşturabilmesidir. Ayrıca kolon sayısını azaltabilmek için, ucuz değil ekonomik olabildiği için, yapım esnasında kolay denetlenebildiği için, işletme giderlerini asgari seviyeye indirebildiği için, çevreyi kirletmemek için, ormanların sürekliliğini sağlamak için ve depremlere dayanabildiği için, yapı çeliği sıkça tercih edilmektedir [8].

Yapılara ve sektörlere sağlamış olduğu avantajlar sayesinde çelik, dünya üzerinde birçok ülkede yaygın olarak üretilmekte ve kullanılmaktadır. Dünyada çeliğin üretim ve kullanım oranlarına bakıldığında, Dünya çelik üretiminin yaklaşık olarak yarısını Çin’in gerçekleştirdiği görülmektedir. Son yıllarda yükselen bir ekonomiye sahip olan Çin ekonomisi, diğer birçok sektörde olduğu gibi, çelik sektöründe de üstün ve belirleyici bir konum elde etmiştir. Çelik üretimi, çelik kullanımı, çelik ihracatı ve ithalatında ilk sırada olan Çin’in ardından Japonya, Güney Kore gibi Uzakdoğu ülkeleri gelmektedir. Türkiye, çelik üretimi konusunda İtalya, Fransa ve Belçika gibi ülkeler ile aynı kategoride bulunurken, Brezilya ve İspanya gibi ülkeler ise katma değeri yüksek çelik ürün imalatı yapan diğer ülkelerdir [9].

Çelik malzemeler, ihtiyaca ve şartlara göre, kesilerek, bükülerek, kaynatılarak kullanılabilir. Yapılara kattığı değer sayesinde her sektörde kendine kullanım alanı bulan çeliğin birleştirilmesi, bir diğer ifade ile çelik malzemelerin kaynatılması, doğru yöntem ve uygulamalar ile gerçekleştirildiği takdirde çeliğin bütün özelliklerinden fayda sağlamak mümkün olacaktır. Çünkü uygulanan kaynak yöntemindeki en küçük bir hata, birleştirilen çeliklerin birbirinden kopmasına, yapılarda meydana gelebilecek hasarlara, yapıların çökmesine ve hatta insanların yaralanmasına ya da ölümüne bile sebebiyet verebilecek türden büyük çaplı sorunlara yol açabilecektir. Dolayısıyla, çelik malzemelerin kullanılacak olduğu alana, ortama ve taşıyacak olduğu yüke göre en uygun ve kaliteli kaynak yönteminin seçilmesi hayati bir önem taşımaktadır. Bu nedenle, çelik malzemelerin kaynak yöntemleri ve mekanik dayanımları ile ilgili yapılan çalışmaların, yol gösterici olması açısından önemi büyüktür [10 - 14].

Bu çalışmada, Dünya genelinde özellikle yapı sektöründe oldukça yaygın bir kullanım alanı bulunan S235JR kalitesindeki çelik malzemelerin kaynak yapım aşamalarında, AWS-D1.1-D1.1M-2020 [15] standardında belirtildiği gibi kaynak kök boşluğu bırakmanın ne gibi sonuçlar ortaya çıkarabileceği detaylı bir şekilde analiz edilerek, kaynak üzerindeki mekanik özelliklerinin ve mikro yapı analizlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Alın kaynağı için; 450x37x8mm ölçülerinde, köşe kaynağı için ise 450x37x8x10mm ölçülerindeki numuneler, 450x400mm ölçülerinde kaynatılan 4 adet plakadan telerozyon yöntemi ile kesilerek çıkarılmıştır. Bu çalışma, 2 opsiyon olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci opsiyonda numuneler arasında boşluk bırakılmadan kaynak işlemi gerçekleştirilirken ikinci opsiyonda ise kaynatılan numuneler arasında 4mm kök boşluğu bırakılarak kaynak uygulaması yapılmıştır. Kaynak işlemi öncesi numune yüzeyleri kir, yağ, toz ve çapak gibi istenmeyen maddelerden arındırılmıştır. Kaynak işlemlerinde 1mm çapında Magmaweld marka SG2 (TS EN ISO 14341-A) kaynak teli seçilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada kullanılan S235JR çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de, mekanik özellikleri Tablo 2’de, malzeme standardı Tablo 3’de, gösterilmiştir.

Tablo 1. S235JR çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of S235JR steel) [16]

Malzeme No	C	Mn	P	S	N	Fe
1.0254	0.17	1.4	0.035	0.04	0.0012	Kalan

Tablo 2. S235JR çeliğinin mekanik özellikleri (Mechanical properties of S235JR steel) [16]

Malzeme No	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (Mpa)	Uzama %
1.0254	350.0-480.0	235.0	25.0

Tablo 3. S235JR çeliğinin malzeme standardı (Material standard of S235JR steel) [16]

DIN	AISI/SAE/St	EN
17100	St 37	S235JR

Çalışmada kullanılan gaz altı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu Tablo 4’de verilmiştir. Kaynak esnasında kullanılan deneysel kaynak parametreleri ise Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Gazaltı kaynak telinin kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of arc welding wire) [17]

Malzeme	C	Si	Mn	Fe
SG2 Kaynak Teli	0.08	0.85	1.45	Kalan

Tablo 5. Kaynak parametreleri (The welding parameters)

Tel ilerleme hızı (cm/dk)	Kaynak gerilimi (V)	Kaynak hızı (mm/dk)	Koruyucu gaz	Gaz debisi (lt/dk)	Tel Çapı (mm)	Akım türü
800	22.7	450	CO <sub>2</sub>	14	1.2	DC

Bu çalışmada S235JR çeliğinin alın ve köşe kaynak uygulaması sonrası kök boşluğunun gereksiniminin önemini açıklayabilmek için çekme testi ve mikro yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Her opsiyon için 3 farklı numune üzerinde detaylı bir veri elde edebilmek adına mikro yapı incelemesi, sertlik ölçümü, çekme deneyi ve çentik darbe uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Köşe kaynağı için, kök boşluklu ve kök boşluksuz olarak 2 opsiyon, alın kaynağı için de aynı şekilde kök boşluklu ve kök boşluksuz olmak üzere 2 opsiyonlu kaynak işlemi uygulanmıştır. Deney için hazırlanan bütün numunelerde kök boşluğu değişkeni dışındaki bütün etkenler (kaynak voltaj değeri, kaynak hızı, kaynak amper değeri vb.) sabit tutularak kaynak işlemi yapılmıştır. Test numuneleri, kaynak sonrası oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğuma

gerçekleştikten sonra mikro yapı analizi, sertlik ölçümü, çekme testi ve çentik darbe uygulamalarına başlanmıştır.

Çalışmada, kaynaklı birleştirme işlemi için Gaz altı kaynağı (MIG-Metal Inert Gas, GMAW-Gas Metal Arc Welding) yöntemi tercih edilmiştir. Gaz altı kaynağı, iki ayrı metalin, gaz ortamında kaynak işlemi ile birleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, genellikle argon gazı kullanılarak kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Gaz altı kaynak, elektrik arkı kullanarak metal parçaları birleştirmek için kullanılan ve sıkça tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, elektrik arkı, bir metal elektrot ve kaynak malzemesi arasında oluşurken, koruyucu bir gaz kaynak havuzunu çevreleyerek havadan oksijen ve diğer toz, polen, parikül gibi kirleticilerin kaynağa zarar vermesini önler. Gaz altı kaynak, oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir ve özellikle alüminyum ve paslanmaz çelik gibi metallerin birleştirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. Gazaltı kaynak yöntemi; yüksek kalite, az deformasyon, estetik görünüm, atmosfer koruması, az spatter (sıçranti-sıçrama) gibi avantajları bulunduğundan dolayı genellikle inşaat, otomotiv, havacılık, gemi yapımı, basınçlı kaplar ve hassas endüstriyel uygulamalar gibi alanlarda tercih sebebi olmaktadır. Gaz altı kaynağı, gazla çalışan bir kaynak makinesidir ve genellikle oksijen ve aketilen gazlarının yanmasıyla yüksek sıcaklıkta metal birleştirmek için kullanılmaktadır. Gaz altı kaynağının uygulama prosesi kısaca şu şekilde gerçekleştirilir: Oksijen ve aketilen gazının sağlanması, gaz kaynağı için kaynak makinesi seçimi (yapılan işe göre seçilmelidir), güvenlik önlemlerinin alınması (iyi havalandırma ve yangın risklerine karşı alınacak önlemler gibi), gazların bağlanması ve son kontroller, kaynak işlemine başlanması [12-21].

Gaz altı kaynak işleminde, voltaj değerleri ve kaynak hızı; kaynak işleminin doğruluğu, erime hızı ve malzeme birleştirme kalitesi açısından önemlidir. Bu değerler, kullanılan gaz türüne, kaynak malzemesine ve kaynak uygulamasının gerektirdiği spesifikasyonlara bağlı olarak değişebilir. Voltaj değerleri, kaynak arkının istenen performansı sağlaması için uygun bir seviyede olmalıdır. Genellikle gaz altı kaynakta, DC (doğru akım) veya AC (alternatif akım) kullanılabilir. DC kaynak, daha yüksek bir derinlik kontrolü sağlarken, AC kaynak daha iyi temizleme etkisi ortaya çıkartır. Genellikle, kaynak yapılacak malzemenin kalınlığı ve kaynak uygulamasının gereksinimleri göz önünde bulundurularak voltaj değeri ayarlanır. Kaynak hızı ise, erime hızını ve malzeme birleştirme kalitesini etkiler. Hızlı bir kaynak işlemi, daha az ısı girişi ve daha küçük bir etkilenen bölge anlamına gelir, ancak malzeme penetrasyonunu ve kaynak dikişi kalitesini etkileyebilir. Yavaş bir kaynak hızı ise daha fazla ısı girişi ve daha büyük bir etkilenen bölgeye neden olabilir, bu da malzeme deformasyonu ve termal gerilmelere neden olabilir. Kaynak hızı, malzeme kalınlığına, kaynak uygulamasının gerektirdiği penetrasyon derinliğine ve diğer parametrelere bağlı olarak dikkatlice ayarlanmalıdır. Her kaynak işlemi için spesifik voltaj ve kaynak hızı değerleri kullanılır. Bu nedenle, belirli bir uygulama için doğru voltaj ve kaynak hızını belirlemek için, kaynak operatörü tarafından uygulama gereksinimleri, kaynak malzemesi ve kaynak makinesinin üretici talimatları göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, kaynak işlemi sırasında kaynak kalitesini izlemek ve gerekirse anlık müdahaleler ve ayarlamalar yapmak da önemlidir [10-20].

## 2.1. Deney Düzenegi

Bu makaledeki deneysel çalışmalar Dekoral Alüminyum A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Test için hazırlanan numuneler üzerinde ilk olarak mikro dağlama yöntemi kullanılarak mikro yapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemesi; TS EN ISO 17639 standardına göre 20 °C de ve %51 nem oranına sahip bir ortamda yapılmıştır. Analiz için Nikon Ters Metal Mikroskobu test cihazı olarak seçilmiştir.

Sertlik ölçümü uygulaması, TS EN ISO 9015-1 standardına göre yapılmıştır. Ölçüm, 25.01.2023 tarihinde, 20°C sıcaklıkta ve 51 % nemli bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü, mikro vickers sertlik ölçümü ile yapılmıştır.

Çekme testi uygulaması; 25.01.2023 tarihinde, ASTM A 143/ DIN EN ISO 6892-1 standartlarına göre 20 °C de ve %51 nem oranına sahip bir ortamda yapılmıştır. Test cihazı olarak Zwick marka, 25000 KN kapasiteye sahip bir cihaz kullanılmıştır.

Çentik darbe testi, TS EN ISO 148-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. 25.01.2023 tarihinde gerçekleştirilen testi sırasında ortam sıcaklığı 20°C, nem miktarı ise, %51 olarak kayıt altına alınmıştır. Gerçekleştirilen bütün test uygulamalarında ortam sıcaklığının ve nem oranının sabit olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 2. Test için hazırlanan numune görselleri (Sample images prepared for testing)

### 3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

Kök boşluklu-kök boşluksuz olarak 2 farklı opsiyon ve köşe kaynağı-alın kaynağı olarak 2 çeşit kaynak şeklinde hazırlanan numunelerin mikro yapı analiz ölçümleri, sertlik ölçümleri, çekme testi ve çentik darbe testi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6. Opsiyonların özellikleri (features of options)

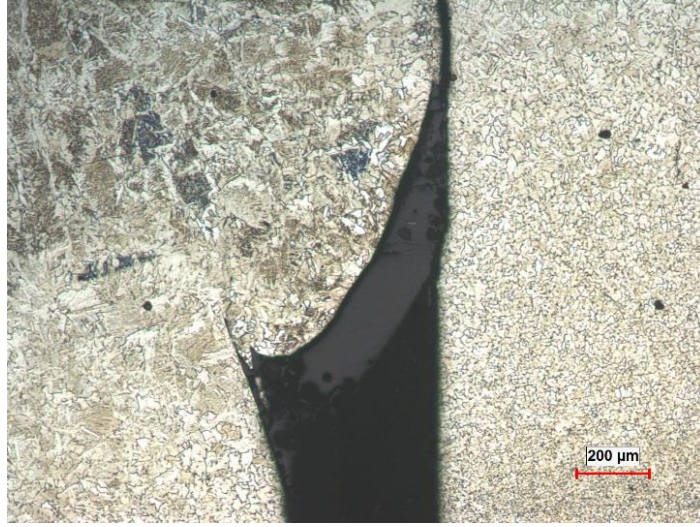
Opsiyon Kodu	Opsiyon Yöntemi
Opsiyon A	Kök Boşluksuz Köşe Kaynağı ve Alın Kaynağı Uygulaması
Opsiyon B	4mm Kök Boşluklu Köşe Kaynağı ve Alın Kaynağı Uygulaması

Mikro yapı analizi malzemenin kaynak dağılımlarının, geometrik yapılanmasının ve hacim içerisinde nasıl yayındığının mikroskop altında incelenmesidir [18]. Şekil 3'te ana malzemenin mikro görüntüsü verilmiştir. Tüm kaynak işlemlerinde hem ısı girdisi hem de tüm parametreler kontrol altında tutulmuştur. Buna bağlı olarak, tüm kaynakların tam nüfuziyetle tamamlanması esastır. Herhangi bir gözeneklilik, gaz boşluğu, erimemiş bölge, cüruf kalıntıları (hacimsel hata) ve tüm kaynaklı malzemeleri araştırmak için mikro incelemesine tabi tutulmuştur [19].



Şekil 3. Ana malzeme (Main material)

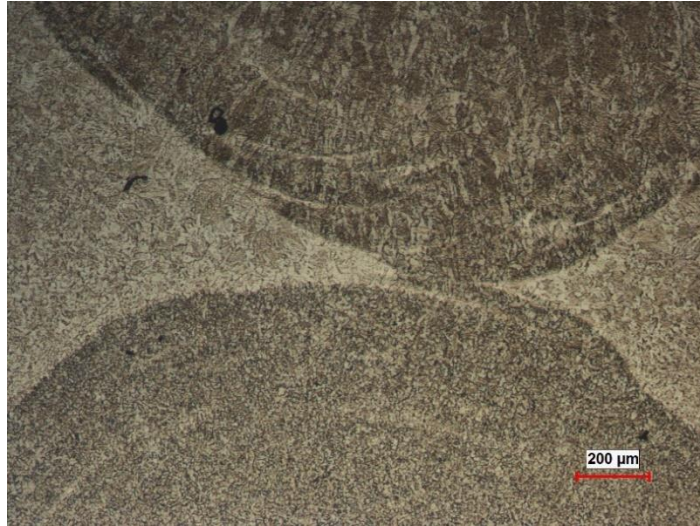
Şekil 4'te Opsiyon A'nın mikro yapı görüntüsü verimiştir. Opsiyon A'ya kök boşluksuz bir şekilde kaynak işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4. Kök boşluksuz kaynatılan numunenin mikro yapı görüntüsü (Microstructure image of the sample welded without root space)

Şekil 4'te görüldüğü gibi kök boşluk bırakılmadan kaynatılan numunenin malzemeleri arasında nüfuziyet eksikliği görüldüğü saptanmıştır. İnce taneli yapıdan iri taneli yapıya geçişin düzenli sağlanamadığı gözlemlenmiştir.

Opsiyon B'de ise kaynak işlemi uygulanırken malzemeler arası kök boşluk bırakılarak kaynak işlemi uygulanmıştır. Mikro yapı görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir.

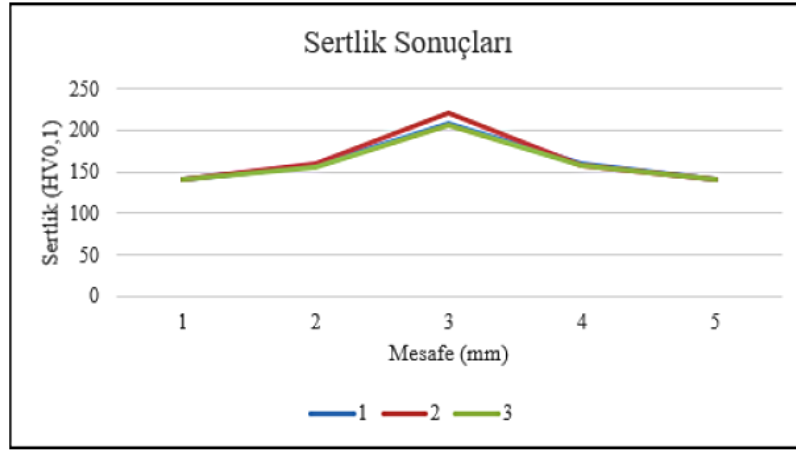


Şekil 5. Kök boşluklu kaynatılmış numunenin mikro yapı görüntüsü (Microstructure image of welded sample with root cavities)

Şekil 5'te görüldüğü gibi kök boşluk bırakılarak kaynatılan numunede malzemeler arasında tam nüfuziyet sağlanmıştır. İTAB bölgesinde geçiş eksikliği yoktur. Uygulanan kaynak işlemi sonucunda numunenin mikro yapısında ve ısıdan etkilenen bölgelere doğru (ITAB) taneler arası geçiş sağlanmıştır [20].

Mikro analizler gerçekleştirildikten sonra numunelere TS EN ISO 9015-1 standardında bir sertlik ölçümü yapılmıştır. Kök boşluklu ve kök boşluksuz olarak kaynağı yapılmış malzemelerin mikro

sertlik test grafiği Şekil 6 'da, sertlik ölçüm sonuçları ve kaynak bölgeleri ise Tablo 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Sertlik ölçüm grafiği (hardness measurement chart)

Tablo 7. Sertlik ölçüm sonuçları ve kaynak bölgeleri (hardness measurement results and weld zones)

Ölçüm No	Malzeme	HAZ	Kaynak	HAZ	Malzeme	Kaynak Bölgeleri
1	140	156.9	209	158.8	140	ITAB
2	140	159.5	221	157.4	140	Kaynak Bölgesi
3	140	155.8	207	156.9	140	Kaynak Numunesi

Kök boşluklu kaynak işleminde kaynak havuzu ve numuneler arası nüfuziyet daha iyi bir sonuç vererek sertliği olumlu yönde etkilemiştir. Kaynak uygulaması ve kaynaktan etkilenen bölge (ITAB) sertlik değerlerinin en yüksek olduğu yerlerdir. Kaynak uygulaması alanından numuneye doğru gidildikçe sertlik değerleri azalma göstermiştir. Topçu'da yaptığı çalışmada bu bulguya ulaştığını belirtmiştir [20]. Kaynak sonrası incelemelerde sertlik testinin temel amacı, sertlik değerinin bir bölgeden diğerine geçişindeki eğilim yönünü izlemektir [20].

Şekil 6 'daki grafiğe ve Tablo 7'deki değerlere göre, uygun kök boşluğunun kaynak kalitesini arttırdığı görülmektedir. Aynı şekilde bu durumun malzemede tam nüfuziyet sağlaması ile birlikte malzemenin sertliğini de doğru oranda artırmış olduğu gözlemlenmektedir.

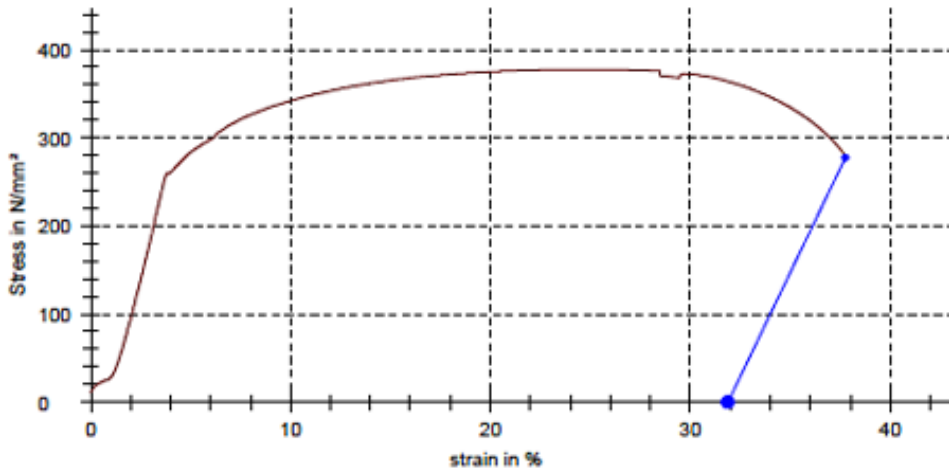
Numunelere mikro yapı analizi, sertlik ölçüm testleri uygulandıktan sonra çekme deneyi testi uygulanmıştır. Çekme testi deneyi numunenin kopana dek tek eksenli bir şekilde çekme kuvvetlerine maruz bırakıldığı ve buna bağlı olarak da numunenin kaynak kalitesinin ölçülmesini ve malzeme ile arasındaki dayanımı ölçmeye sağlayan bir testtir. Özdeş türdeki iki çeliğin kaynakla birleştirilmesinde, numunelerin çekme dayanımının ana malzemeye eşit veya yakın olması istenmektedir [21]. Bu çalışmada özdeş türdeki malzemeler kaynakla birleştirilip çekme testine tabi tutulmaktadır. Şekil 7'de hazırlanan numunelerin çekme testi sonucu görselleri verilmiştir.





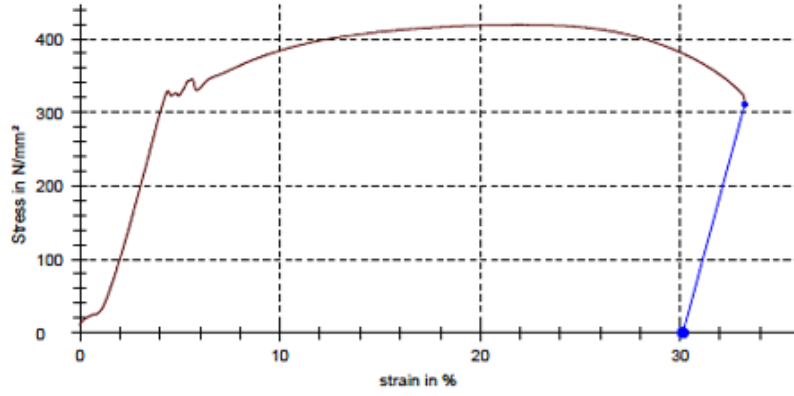
Şekil 7. Numune görselleri (Sample images)

Şekil 8’de numuneler arası kök boşluğu bırakılmadan kaynak işlemi uygulanmıştır. Çekme testi deneyi sonuçları Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de de görüldüğü gibi, kök boşluksuz uygulama ile kaynatılan numunenin gerilme direnci 377 MPa sonuç vermiştir. Bu değer de malzemenin maksimum çekme dayanımının 377 MPa değerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 8. Kök boşluksuz kaynatılan numunenin çekme testi deneyi sonucu (Tensile test result of welded sample without root gap)

Diğer opsiyon olarak kök boşluklu kaynak uygulamasının çekme testi yapılmıştır. Çekme testi deneyi Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi kök boşluklu kaynak uygulaması ile kaynatılan numunelerin gerilme direnci 419 MPa sonuç vermiştir. Bu sonuç bu uygulama ile kaynatılan numunelerin maksimum çekme dayanımının 419 MPa değerinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Kök boşluklu kaynatılan numunenin çekme testi deneyi sonucu (Tensile test result of welded sample with root space)

Son olarak numunelere çentik darbe testi deneyi uygulanmıştır. Bu tip deneylerin nedeni, numunenin gerilmeye karşı gösterdiği tepkiyi belirlemek amacıyla numuneye önceden yapay bir çentik oluşturup bir kırılma etkisi yaratarak gösterdiği tepkiyi ölçmektir [20]. 2 farklı uygulama şeklinde kaynak işlemi yapılan numuneler arasında kök boşluğu bırakılarak kaynatılan numunenin çentik darbe testi sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Kök boşluğu bırakılarak kaynatılan numunenin çentik darbe testi sonucu (Notch impact test result of the sample welded by leaving a root cavity)

Test Yeri/ Test Location	Çentik Tipi Notch Type	Test Sıcaklığı Test Temperature	Ölçüler (mm)/ Sample Dimensions	Numune Yönü/ Sample Direction	Sonuç/ Result (Joule)			Ortalama/ Avarge
					1	2	3	
Malzeme/Material	V	23°C	10x10x55	Material/Transverse	174	160	144	159
Kaynak/Weld	V	23°C	10x10x55	Weldseam/90°	20	12	16	16

Tablo 8’de de görüldüğü gibi kök boşluğu bırakılarak kaynatılan numunelerin ortalama absorbe edebildiği enerji 159 J olarak sonuçlanmıştır.

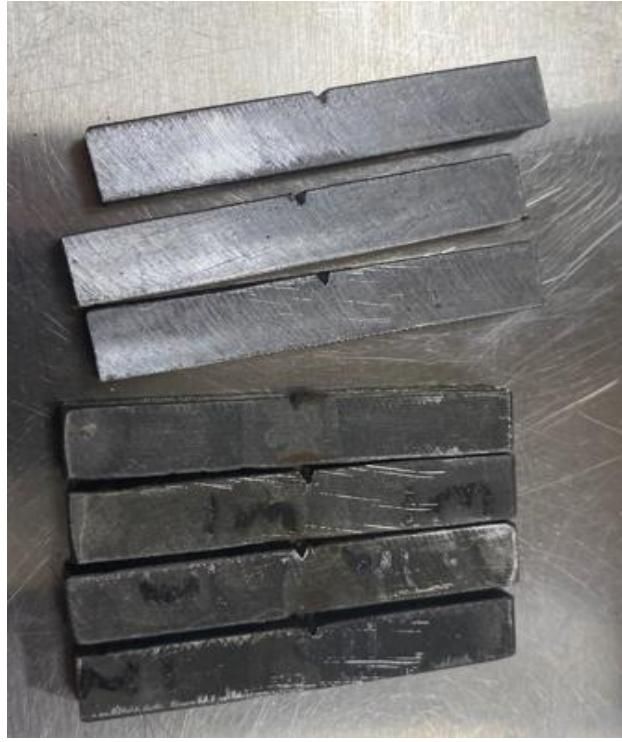
Kök boşluksuz şekilde kaynak işlemi yapılan numunenin çentik darbe testi sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Kök boşluğu bırakmadan kaynatılan numunenin çentik darbe testi sonucu (Notch impact test result of the sample welded without leaving a root cavity)

Test Yeri/ Test Location	Çentik Tipi Notch Type	Test Sıcaklığı Test Temperature	Ölçüler (mm)/ Sample Dimensions	Numune Yönü/ Sample Direction	Sonuç/ Result (Joule)			Ortalama/ Avarge
					1	2	3	
Malzeme/Material	V	23°C	10x10x55	Material/Transverse	160	126	148	145
Kaynak/Weld	V	23°C	10x10x55	Weldseam/90°	52	44	68	55

Tablo 9’da görüldüğü gibi kök boşluğu bırakılarak kaynatılan numunenin ortalama absorbe edebildiği enerji değeri 145 J olarak sonuç vermiştir.

Kaynak sonrası her iki opsiyon uygulamasından da tahribatlı muayenelerden birisi olan çentik darbe testi için numune alınırken, kesimlerde numunelerin iç yapısını bozacak sıcak uygulamalardan uzak durulmuş ve soğutucu bir sıvı kullanılarak işlem tezgahında ihtiyaç duyulan çentikler dikkatle atılmıştır. Çentik darbe testi numunelerinin görselleri, Şekil 10’da verilmiştir [21].



Şekil 10. Çentik darbe testi numuneleri (Notch impact test specimens)

Her iki uygulama çeşidi de ISO148-1 standartlarına göre yapılmıştır. ISO148-1 standartlarına göre çentik darbe testi sonuçları Şekil 11’de gösterilmiştir [22].

Designation	Symbol and no.	V-notch test piece			U-notch test piece		
		Nominal dimension	Machining tolerance		Nominal dimension	Machining tolerance	
			Tolerance class <sup>a</sup>				Tolerance class <sup>a</sup>
Length	<i>L</i>	55 mm	±0,60 mm	js15	55 mm	±0,60 mm	js15
Width	<i>W</i>	10 mm	±0,075 mm	js12	10 mm	±0,11 mm	js13
Thickness <sup>c</sup>	<i>B</i>	10 mm	±0,11 mm	js13	10 mm	±0,11 mm	js13
— standard test piece		10 mm	±0,11 mm	js13	10 mm	±0,11 mm	js13
— subsize test piece		7,5 mm	±0,11 mm	js13	7,5 mm	±0,11 mm	—
— subsize test piece		5 mm	±0,06 mm	js12	5 mm	±0,06 mm	—
— subsize test piece		2,5 mm	±0,05 mm	js12	—	—	—
Angle of notch	1	45°	±2°	—	—	—	—
Ligament	2	8 mm	±0,075 mm	js12	5 mm	±0,09 mm	js13
Notch radius	3	0,25 mm	±0,025 mm	—	1 mm	±0,07 mm	js12
Notch position (centering)	4	27,5 mm	±0,42 mm <sup>d</sup>	js15	27,5 mm	±0,42 mm <sup>d</sup>	js15
Angle between plane of symmetry of notch and longitudinal axis of test piece		90°	±2°	—	90°	±2°	—
Angle between adjacent longitudinal faces of test piece	5	90°	±2°	—	90°	±2°	—
Surface roughness <sup>b</sup>	NA	<5 µm			<5 µm		

<sup>a</sup> In accordance with ISO 286-1.

<sup>b</sup> The test pieces shall have a surface roughness better than  $Ra$  5 µm except for the ends.

<sup>c</sup> If another thickness (2 mm or 3 mm) is specified, the corresponding tolerances shall also be specified.

<sup>d</sup> For machines with automatic positioning of the test piece, it is recommended that the tolerance be taken as ±0.165 mm instead of ±0.42 mm.

Şekil 11. ISO 148-1 standartlarına göre çentik darbe testi sonuçları (Notch impact test results according to ISO 148-1 standards)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, kaynak kök boşluğu uygulamasının kaynak kalitesine etkisi ve malzemenin mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Mikro yapıları incelendiğinde ana malzemede düşük karbonlu çeliklere ait eş eksenli tane yapısı görülmüştür. Kaynak dikişlerinde asiküler ferrit tane yapısı vardır. Bu yapının oluşumu kaynak dikişinde bir miktar sertlik artışına neden olmuştur. Mikro yapılarına bakıldığında kaynak kök boşluğu bırakılan numunelerde tam nüfuziyet sağlandığı görülürken kaynak kök boşluğu bırakılmamış olan numunelerde ise nüfuziyet eksikliği tespit edilmiştir.
- Sertlik ölçümlerine bakıldığında sertlik ölçümleri mikro vickers sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ana malzemedeki kaynak metaline doğru gidildikçe sertliğin arttığı görülmüştür. Bu artış genel kabul kriterlerine ve önceki deneysel çalışmalara uygun olduğu ve sertlik miktarlarının kabul kriterleri arasında olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme testi sonuçlarına bakıldığında teste tabi tutulan numunelerin ana malzemedeki kırıldığı, yüzde uzama miktarlarının kabul kriterleri arasında olduğu tespit edilmiştir. Kök boşluksuz kaynak uygulamasına göre kök boşluklu kaynak uygulamasının çekme dayanım değeri daha yüksek sonuç vermiştir.
- Çentik darbe testi sonuçları incelendiğinde ise kök boşluklu uygulamanın absorbe edebildiği enerji miktarı kök boşluksuz kaynak uygulamasından daha fazla değerde sonuç vermiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Yazarlar, çalışmaya olan katkılarından dolayı Dekoral Alüminyum San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür etmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. H. Çapın, S235 JR alaşımız çelik boruların dik pozisyonda orbital kaynak cihazı ile birleştirilmesi ve uygulamanın optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2014.
2. B. Güler, Türk inşaat sektöründe yapısal çelik üretim-örgütlenme-uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2005.
3. G. Altay, E.M. Güneyisi, Türkiye'de yapısal çelik sektörü ve yeni gelişimler, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2005.
4. Britannica, Steel, <https://www.britannica.com/technology/steel> Erişim tarihi 02.04.2023.
5. M. F. Ashby, Engineering Materials 2, Oxford: Pergamon Press. 0-08-032532-7.
6. World History Encyclopedia, İngiltere sanayi devriminde çelik endüstrisi, <https://www.worldhistory.org/trans/tr/2-2206/ingiltere-sanayi-devriminde-celik-endustrisi>, Erişim tarihi:02.04.2023.
7. TUCSA (Türk Yapısal Çelik Derneği), yapısal çelik kullanımı, üretim kapasiteleri, çeliğin Avrupa ve Türkiye inşaat sektöründeki yeri, Türk Yapısal Çelik Derneği, 2005.
8. EAG Demir San. Ve Tic. A.Ş., Yapısal çeliğin önemi, <https://www.eagdemir.com/yapısal-celiğin-onemi-icerik-71>, Erişim tarihi:01.04.2023.
9. T. Ersöz, D. Ünver, B. Eyiol, Demir çelik sektörüne genel bir bakış ve beş milyon ton üstü demir çelik ihracatı yapan ülkelerin kümeleme analizi ile incelenmesi, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2): 75-90, 2015.
10. N. Kahraman, B. Gülenç, A. Hüseyin, Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2): 75-85, 2002.
11. K. Yakup, S235JR ile S355JR yapı çeliklerinin özlü tel elektrotla MAG kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması, Politeknik Dergisi, 21(3): 597-602, 2018.

12. R. Yılmaz, Z. Barlas, Paslanmaz eliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(3): 391-400, 2011.
13. N. Yavuz, R. Özcan, F. G. Polat, Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10(2):9-19, 2005
14. A. Akın, Gazaltı kaynak parametrelerinin kaynak mukavemetine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2015.
15. D1.1-D1.1M, AWS, American Welding Society, 2020.
16. H. Çağlar, ST37 eliğinin mekanik ve termal yüzey işlemleri uygulamaları ile mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2022.
17. B. Çevik, Örtülü elektrot ark kaynağı ve MIG kaynağında akım şiddetinin kaynak nüfuziyetine etkisinin incelenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2(2): 22-29,2013.
18. N. Yavuz, R. Özcan, F. G. Polat, Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10(2):9-19, 2005.
19. B. Çiçek, T. Aydoğmuş, E. G. İş, Y. Sun, Invetigations of mechanical properties after dissimilar steels post-weld of Q345B steel, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(7): 1328-1334, 2020.
20. İ. Topçu, TIG ve MIG Kaynağı ile İşlem Gören 304 ve 1040 eliklerin ITAB Bölgesindeki Mekanik Özelliklerin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3): 171-181, 2019.
21. A. Yürük, Y. Kaya, N. Kahraman, Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliđinin İncelenmesi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1): 42-52, 2021.
22. Y. Gür, B. Gülenç, The effect of MAG weld applied to high tensiles 700mc structural steel on hardness and toughness values, 3rd International Turkish World Engineering and Science Congress, October 22-24 2021, Ankara.