

GMAW KAYNAK YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ FARKLI PASLANMAZ ÇELİKLERİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE KULLANILAN İLAVE TELİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ali YÜRÜK^{1*}

¹ Kırka Eti Maden Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-7160-9962>

Anahtar Kelimeler	Öz
GMAW, AISI 430, AISI 304, Kaynak Teli	<i>Ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler birçok endüstriyel alanda bir arada kullanılmaktadır. Bu durum da bu iki paslanmaz çelik türünün birleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde genelde kaynak akımı, kaynak hızı vb kaynak parametreleri üzerine yoğunlaşıldığı görülürken kaynak telinin birleştirmeler üzerindeki etkisi araştırılan çok az çalışmaya rastlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmada kaynak telinin, birleştirmenin mekanik ve mikroyapısına etkilerini incelemek için AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile AISI 430 ferritik paslanmaz çelik farklı kaynak hızlarında GMAW kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Daha sonra yapılan kaynaklı birleştirmenin makro ve mikroyapı özelliklerini tespit etmek içinde mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilirken mekanik özelliklerini belirlemek için de sertlik, çekme testleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda kaynak metalinin mikroyapısının martenzit+ östenit + ferritten oluştuğu görülmüştür. Sertlik ölçüm sonuçlarında ise en sert bölgenin kaynak metaline olduğu belirlenirken 308L kaynak teli ile birleştirilen numunelerin sertlik ölçümleri 309LSi kaynak teli ile birleştirilen numunelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Kaynak tellerinin, kaynak metaline Mn ve Cr gibi dayanım artırıcı elementler katması sebebiyle üretilen tüm kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımı AISI 430 ana malzemeden daha yüksek ölçülmüştür.</i>

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE ADDITIONAL WIRE USED ON THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF DIFFERENT STAINLESS STEELS JOINED BY GMAW WELDING METHOD

Keywords	Abstract
GMAW, AISI 430, AISI 304, Welding Wire.	<i>Ferritic and austenitic stainless steels are used together in many industrial areas. in this case has makes it necessary to join these two types of stainless steel. When the studies carried out to date are examined, it is seen that generally focused on parameters such as welding current, welding speed, etc., there are very few studies investigating the effect of welding wire on joints. There fore in this study, AISI 304 austenitic stainless steel and AISI 430 ferritic stainless steel were joined with GMAW welding method at different welding speeds in order to examine the effects of weld additional wire on the mechanical and microstructure of the joint. While microstructure studies were carried out to determine the macro and microstructural properties of the welded joint, hardness and tensile tests were applied to determine its mechanical properties. As a result of the studies, it has been observed that the microstructure of the weld metal consists of martensite + austenite + ferrite. In the hardness measurement results, it was determined that the hardest region was the weld metal, while the hardness measurements of the samples joined with 308L welding wire were higher than the samples joined with 309LSi welding wire. The tensile strength of all welded joints produced was higher than the AISI 430 base material, as the welding wires add strength-enhancing elements such as Mn and Cr to the weld metal.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 24.02.2023

Kabul Tarihi

: 05.06.2023

Research Article

Submission Date

: 24.02.2023

Accepted Date

: 05.06.2023

* Sorumlu yazar: aliyuruk@hotmail.com

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1255850>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

farklı yol ve yöntemlere başvurmak zorunda kalmıştır. Bu yol ve yöntemlerden birisi de farklı mekanik ve kimyasal özelliklere sahip metal ve alaşımlarının bir arada kullanılmasıdır. Çalışma koşullarından kaynaklanan pek çok olumsuzluğu ortadan kaldırmak için otomotiv sanayi, petrokimya endüstrisi, nükleer güç santralleri ve daha pek çok alan farklı metal ve alaşımları bir arada kullanmaktadır (Nabendu ve diğ., 2017; Rahul vd., 2018). Özellikle yüksek korozyon direncinin ve mekanik dayanımın ön plana çıktığı alanlarda farklı kalitedeki paslanmaz çeliklerin birlikte kullanılması zorunlu hale gelmiştir (Fattah-alhosseini ve Vafaeian 2015).

Paslanmaz çeliklerin diğer çeliklere oranla daha yüksek korozyon direncine sahip olmasının nedeni bileşimlerdeki krom oranının %12 olmasıdır (Durgutlu ve diğ., 2009). Östenitik paslanmaz çelikler mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek korozyon direnci nedeni ile en çok tercih edilen paslanmaz çelik türüdür (Curiel ve diğ., 2011; Sajjad vd., 2012). Östenitik paslanmaz çeliğe bu özellikleri kazandıran ise bileşimindeki %12-25 Cr ve %8-25 Ni'dir. (Durgutlu ve diğ., 2009; Gözütok ve diğ., 2009). Mükemmel mekanik özelliklere, yüksek korozyon direncine ve iyi kaynak kabiliyetine sahip olan bu çelikler, termal güç santrallerinde, biyokimya ve petrokimya endüstrilerinde, otomotiv sanayinde ve kimya endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Curiel ve diğ., 2011; Jibrin vd., 2015).

Ferritik paslanmaz çelikler ise sahip oldukları mükemmel gerilme korozyonu çatlama direncine ve ayrıca klorürlü ortamlarda oyulma ve çatlama direnci özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar (Lakshminarayanan ve diğ., 2009). Ferritik paslanmaz çelikler nikel içermedikleri için östenitik paslanmaz çeliklere oranla daha ucuzdur (Ramkumar ve diğ., 2015; Mahmoud ve diğ., 2014). Bunun dışında ferritik paslanmaz çelikler östenitik çeliklere göre daha düşük genişleme katsayısına sahiptirler (Ramkumar ve diğ., 2015). Otomotif sanayinde eksoz manifoldların imalatında kullanılan ferritik paslanmaz çeliklere, paslanmazlık özelliğini içerisinde %12 oranında bulunan Cr tarafından sağlanmaktadır (Yürük ve Kahraman, 2017; Mallaiah vd., 2014; Villaret vd., 2013; Mallaiah vd., 2013). Ferritik paslanmaz çelikler sahip oldukları bütün bu iyi özelliklerinin yanında kaynak bölgesinde ve ısı tesiri altındaki bölgede, kaynak sırasında tane irileşmesi meydana geldiğinden dolayı düşük kaynak kabiliyetine sahiptirler. Bu sorun ancak kaynak sırasında ısı girdisinin düşük tutulması ile önlenabilmektedir (Ramkumar ve diğ., 2015; Mallaiah vd., 2014).

Bu iki tür paslanma çelik petrokimya endüstrisi, gemi sanayi, nükleer güç üniteleri ve daha pek çok alanda yoğun bir şekilde bir arada kullanılmaktadırlar (Nabendu ve diğ., 2017). Bu kadar geniş bir alanda birlikte kullanılmaları bu iki paslanmaz çeliğin birbirine

kaynak ile birleştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Farklı paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemleri pek çok kaynak yöntemi (GMAW, GTAW, elektrik ark kaynağı, sürtünme karıştırma vb) kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu kaynak yöntemlerinden en çok tercih edilen yöntem ise GMAW kaynak yöntemi olmaktadır.

GMAW kaynak yönteminde ark kaynak sırasında otomatik olarak devamlı beslenen ilave kaynak teli ile iş parçası arasında meydana gelir. Meydana gelen bu ark aynı zamanda kaynak için gerekli kaynak ısısını da oluşturmaktadır (Kılınçer ve Kahraman, 2009). GMAW kaynağında kaynak bölgesi atmosferin zararlı etkilerine karşı Argon ve Helyum gibi gazlar tarafından korunmaktadır (Nabendu ve diğ., 2017). Bu kaynak yöntemini diğer kaynak yöntemlerinden ayıran özellikler ise yüksek kaynak hızı, otomatik kaynak olarak uyarlanabilmesi, yüksek metal biriktirme oranı, her konumda kolaylıkla kaynak yapılabilmesi ve cüruf oluşturmamasıdır (Yürük ve diğ., 2017). GMAW kaynağında kaynak kalitesini koruyucu gaz türü, kaynak akımı, ilave tel, voltaj, kaynak hızı, koruyucu gazın debisi, nozul mesafesi gibi parametreler belirlenmektedir (Nabendu ve diğ., 2017).

Bugüne kadar paslanmaz çeliklerin GMAW kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ile ilgili çok fazla çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda çoğunlukla kaynak hızı, kaynak akımı ve kaynak voltajı gibi parametrelerin kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Meena vd sinerjik GMAW kaynağı paslanmaz çelikleri farklı kaynak akımı, kaynak hızı ve gaz debisinde birleştirmişler ve birleştirmelerin mikroyapı ve mikrosertlik özelliklerini araştırmışlardır (Meena ve diğ., 2017). Biswas ve diğ. GTAW kaynak yöntemi ile AISI 304 paslanmaz çelik ile orta karbonlu 45C8 çeliğini farklı kaynak akımı, kaynak hızı, ark voltajı ve gaz debisinde birleştirmişler ve birleştirmelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır (Biswas ve diğ., 2018). Ayrıca paslanmaz çeliklerin mekanik ve korozyon özellikleri mikroyapılarına bağlı olarak değişmektedir. Mikroyapı özellikleri ise kaynak sırasında tercih edilen kaynak elektrotuna ve diğer kaynak parametrelerine bağlı olarak değişmektedir (Pekkarinena ve Kujanpää, 2010). Bu nedenlerle bu çalışmada kaynak telinin, kaynak metalinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkilerinin incelenmesi amaç edinilmiştir. Bu amaçla farklı kimyasal ve mekanik özelliklere sahip AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ile AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, iki farklı kaynak teli kullanılarak, üç farklı kaynak hızında birleştirilmiş ve daha sonra üretilen kaynaklı birleştirmelerin mikroyapı özellikleri ile mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen numunelere mekanik test olarak sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Martínez ve diğ. (2021), Derin öğrenme ve makine tekniği öğrenme teknikleri GMAW kaynak yöntemini analiz etmişler ve GMAW sürecinin, makine öğrenme teknikleri ile akıllı kontrol geliştirme konusunda büyük potansiyele sahip olduğunu söylemişlerdir. (Yürük ve diğ., 2021), GMAW kaynak yöntemi ile 5754 alüminyum alaşımını farklı kaynak hızlarında ve ark geriliminde birleştirmişler ve çalışma sonunda ark gerilimindeki artışın ısı girdisini artırırken kaynak hızındaki artışın ısı girdisini azalttığını söylerlerken, kaynak parametrelerinde meydana gelen bu değişikliğin mikroyapı değiştirdiğini bildirmişlerdir. (Yürük ve diğ., 2021), farklı alüminyum alaşımları GMAW kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve birleştirmelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma sonucunda kaynaktaki meydana gelen mikro boşluk kusurlarının yorulma dayanımını ve ömrünü düşürdüğünü rapor etmişlerdir. (Nabendu ve diğ., 2017), AISI 409 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerini AISI 308 kaynak teli kullanarak GMAW kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve en iyi sonuçların 100 A kaynak akımında 10 L/dk gaz debisi ve 9 mm nozul mesafesinde elde ettiklerini ifade etmişlerdir. (Yürük ve diğ., 2017), S235JR çeliği ile AISI 430 paslanmaz çeliğini GMAW kaynağı ile birleştirmişler ve Kaynaklı bağlantılarda kaynak akımının artmasıyla ısı girdisi artmış, ısı girdisindeki artış dolayısıyla kaynak sonrası soğuma hızı azaldığından sertliğin düştüğünü bildirmişlerdir. (Chuaiphan ve Srijaroenpramong, 2019), AISI 304 ve AISI 201 çeliklerini GTAW kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada kaynak hızının artması ile ısı girdisinin azaldığı için kaynak genişliğinin azaldığı ve kaynak derinliği, kaynak genişliği oranının düştüğünü söylemişlerdir. (Açar ve diğ., 2022), GMAW kaynak yöntemi AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğini birleştirdikleri ve birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada en yüksek çekme dayanımının %97 Ar+ % 3 H₂ gaz karışımında üretilen numunede elde edildiğini söylemişlerdir. (Oliveira ve diğ., 2019), AISI 304 paslanmaz çelik ile NiTi malzemesini GTAW kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve kaynak metalinin kaynak koşullarına bağlı olarak farklı mikroyapılar ve farklı kimyasal bileşim sergilediğini ifade etmişlerdir. (Serindağ ve Çam, 2021), AISI 304 paslanmaz çelik ile AISI 430 Paslanmaz çeliklerini gaz metal ark kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve östenitik çeliğin ısıl iletkenlik katsayısı ferritik çeliğe oranla daha yüksek olduğu için

düşük ısı girdili birleştirmelerde çatlama meydana geldiğinin görüldüğünü ve bu nedenle farklı paslanmaz

çeliklerin kaynağında kaynak koşullarının önemli bir etkiye sahip olduğunu dile getirmişlerdir. (Durgutlu ve diğ., 2015), AISI 316 paslanmaz çeliğini TIG kaynak yöntemi ile birleştirdikleri ve sürekli akım ile darbeli akımın mikroyapı üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada darbeli akımla üretilen numunelerin kaynak metalinin tane yapısının sürekli akım ile üretilen numuneler oranla daha küçük olduğunu söylemişlerdir. (Açar ve diğ., 2023). GMAW kaynak yöntemi ile AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğini birleştirdikleri ve koruyucu gazın kaynak üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada Argon gazının içerisine %3 ve %7 oranlarında H₂ eklendiğinde tane yapısının irileştiğinin gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

3. Yöntem

Bu çalışma araştırma ve yayın etiğine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deney Yöntemi

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemeler 200×100×2 mm boyutlarında giyotin makasta kesilerek farklı kaynak hızlarında ve farklı kaynak teli kullanılarak birleştirilmiştir. AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ile AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Kaynak işlemlerinde kaynak teli olarak 1,2 mm çaplarındaki 309 LSi ve 308 L kaynak telleri kullanılmıştır. Kaynak tellerinin kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Hazırlanan numunelerin kaynaklı birleştirme işlemleri Tablo 3’teki kaynak parametreleri kullanılarak Linconl Powertec 365 S gazaltı kaynak makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kaynak esnasında koruyucu gaz olarak saf argon gazı kullanılırken atlık olarak da bakır altıklar kullanılmıştır.

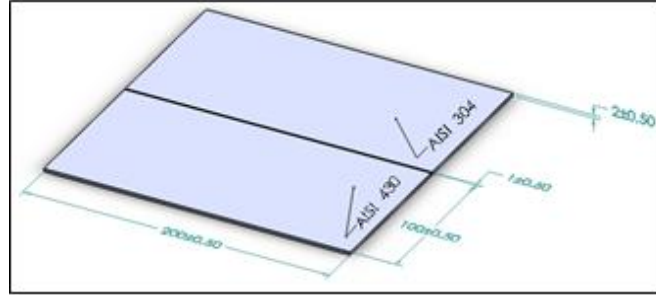
Şekil 1’deki gibi hazırlanan numunelere kaynak öncesinde yüzeylerindeki yabancı maddeleri temizlemek için mekaniksel olarak yüzey temizliği işlemi uygulanmıştır. Daha sonra aralarında 1’er mm kaynak boşluğu kalacak şekilde 4 noktadan puntalanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminden sonra kaynaklı birleştirmelerin gözle kontrolleri yapılırken makro ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mekanik özellikleri belirlemek için sertlik ve çekme deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 1. AISI 430 ve AISI 304 Paslanmaz Çeliklerinin Kimyasal Bileşimi

Paslanmaz Çelik	Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	P	S	Fe
AISI 430	Bileşim	0,05	0,48	0,28	16,9	0,16	0,2	0,011			Kalan
AISI 304	Oranı (%)	0,04	0,9	0,5	18,2	8,1			0,03	0,001	Kalan
Mekanik Özellikler		Akma Dayanımı (MPa)		Çekme Dayanımı (MPa)		Uzama (%)		Mikro Sertlik (HV)			
AISI 430		318		424		13		220			
AISI 304		290		675		70		162			

Tablo 2. Kullanılan Kaynak Tellerinin Kimyasal Bileşimi

Kaynak Teli	Bileşim (%)	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo	Cu
309 LSi		0,03	1-2,5	0,65-1	23-25	12-14	0,03	0,03	0,75	0,75
308 L		0,03	1,5-2,2	0,30-0,95	19,5-22	9-11	0,03	0,03	0,75	0,25
Mekanik özellikler		Akma Dayanımı (MPa)			Çekme Dayanımı (MPa)			Uzama (%)		
309 LSi		410			570			38		
308 L		≥350			≥ 550			≥47		



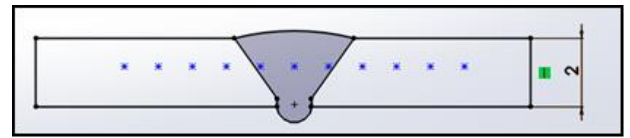
Şekil 1. Malzemelerin Kaynağının Şematik Görünümü

Tablo 3. Kaynak Parametreleri

Parça kodu	Kaynak akımı (A)	Tel Hızı (m/dak)	Kaynak Hızı (mm/dak)	Voltaj (V)	Isı Girdisi (kJ/mm)	Gaz	Gaz Debisi (lt/dak)	Kaynak Teli
LS1	197	5	30	24	7,565	Argon	12	309 LSi
LS2	197	5	40	24	5,674	Argon	12	
LS3	197	5	50	24	4,539	Argon	12	
L1	197	5	30	24	7,565	Argon	12	308 L
L2	197	5	40	24	5,674	Argon	12	
L3	197	5	50	24	4,539	Argon	12	

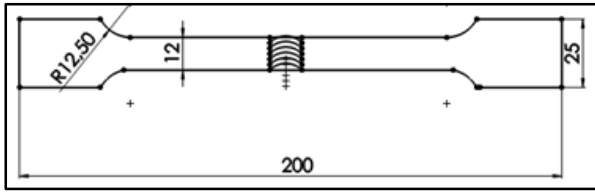
Makro ve mikroyapı incelemeleri için kaynaklı birleştirmelerden kaynak kesitine dik olarak örnekler çıkartılmış ve standart yöntemlerle zımparalama, parlatma ve dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işlemi %10 oksalik asit ile elektrolitik olarak, 13,8 V, 3 Amper akımda 12 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Dağlama işleminden sonra optik mikroskop yardımı ile makro ve mikroyapı görüntüsü elde edilmiştir.

Sertlik ölçümleri için üretilen kaynaklı birleştirmelerden kaynak yönüne dik olacak şekilde kaynak kesitinden örnekler hazırlanmıştır. Sertlik ölçme işlemi için şekil 2'de görüldüğü gibi kaynak merkezinden her iki tarafa doğru 1mm aralıkla 11 noktadan ölçüm alınmış ve daha sonra ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak sertlik dağılım grafiği çizilmiştir.



Şekil 2. Sertlik Ölçüm Yöntemi

Çekme deneyi için numuneler ASTM E08 standardına göre Şekil 3'te verilen ölçülere göre hazırlanmış ve 100kN kapasiteye sahip olan İNSTON marka çekme test cihazı kullanılarak 4 mm/dak çekme hızında kopuncaya kadar çekilmiştir. Çekme deneyinde her kaynak hızı için üç örnek hazırlanmış ve üç örneğin ortalaması alınarak çekme uzama grafiği çizilmiş ve literatür yardımı ile yorumlanmıştır.

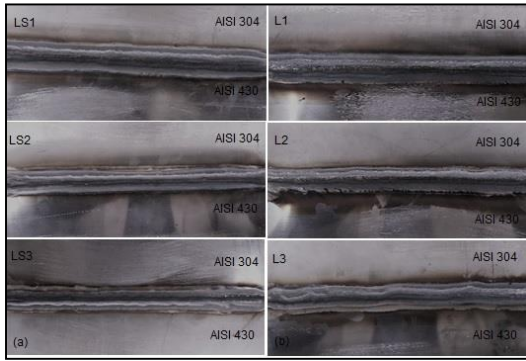


Şekil 3. Çekme Deney Numunesi Ölçüleri

4. Sonuçlar ve Tartışma

4.1. Görsel Kontrol

Farklı kaynak teli kullanılarak birleştirilen AISI 430 ve AISI 304 kalite paslanmaz çelik numunelerin kaynak dikişinin yüzeyinde ve etrafında oluşmuş olabilecek olan düzensiz difüzyon, gözenek vb hataları belirlemek amacıyla numunelere gözle kontroller gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kaynaklı birleştirmelerden üretilen görüntüler Şekil 4'te verilmiştir.

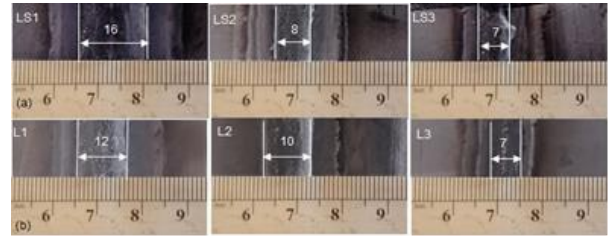


Şekil 4. Görsel Kontrol Görüntüleri A) 309Lsi ile Birleştirilen Numuneler B) 308L İle Birleştirilen Numuneler

Şekil 4'teki görüntüler incelendiğinde üretilen kaynaklı birleştirmelerin hiçbirinde kaynağın dayanımını olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir kenar yenmesi, birleşme hatası, boşluk gibi kaynak kusurlarına rastlanmamıştır. Zhi ve diğ. TIG, MIG çift taraflı olarak bakır ile paslanmaz çeliği MIG kaynağı birleştirdikleri çalışmada kaynak yüzünde birkaç sıçrama olmasına rağmen düzgün kaynak dikişleri elde ettikleri belirtmişlerdir (Zhi ve diğ., 2019).

Şekil 5'te kaynak hızının kaynak metaline olan etkisi görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde kaynak hızının

artması ile her iki kaynak teli ile üretilen numunelerin kaynak genişliğinin de azaldığı görülmektedir. Kaynak genişliği ölçümleri sonuçlarına göre 309 LSi kaynak teli ile üretilen birleştirmelerde kaynak hızının 30 mm/dk 'dan 40 mm/dk yükseltilmesi ile kaynak genişliği %50 azalırken 308 L kaynak teli ile üretilen numunelerde kaynak hızının 30 mm/dk'dan 40 mm/dk'a yükseltilmesi ile kaynak genişliği yaklaşık olarak %16,7 azalmıştır. Kaynak genişliği, kaynak hızının artması ile azalan ısı girdisi nedeniyle azalmıştır. Chuaiphan ve Srijaroenpramong AISI 304 ve AISI 201 çeliklerini gaz tungsten ark kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada artan kaynak hızı ile kaynak genişliğinin azaldığını bunun da kaynak hızının artması ile azalan ısı girdisinden kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Chuaiphan ve Srijaroenpramong, 2019).

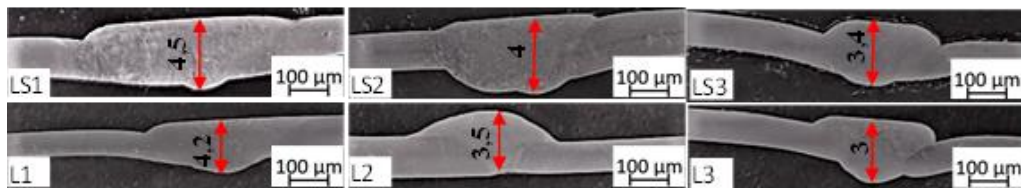


Şekil 5. Kaynak Dikiş Genişliği Ölçüm Sonuçları

4.2. Makro ve Mikroyapı

4.2.1. Makroyapı

Kullanılan farklı kaynak tellerinin ve kaynak hızlarının makroyapı üzerindeki etkileri incelemek için makroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen makroyapı görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. Makroyapı görüntüleri incelendiğinde herhangi bir birleştirme hatasına, çatlak ve gözenek oluşumuna rastlanmamıştır. Açar ve diğ., AISI 430 paslanmaz çeliğini GMAW kaynak yöntemi birleştirdikleri çalışmada, üretilen kaynaklı birleştirmelerin üst ve alt bölgelerin gözenek, çatlak gibi makro kusurlara rastlanmadığını belirtmişlerdir (Açar ve diğ., 2022).



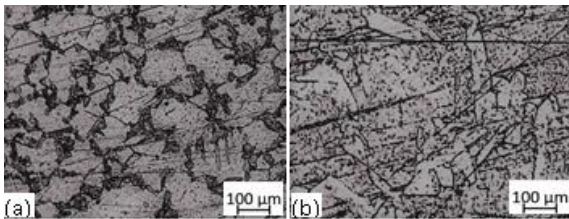
Şekil 6. Makroyapı Görüntüleri

Kaynak hızının makroyapı üzerindeki etkileri incelendiğinde ise kaynak hızının artması ile kaynak nüfuziyet derinliğinin azaldığı görülmüştür. 309LSi kaynak teli ile üretilen numunelerde kaynak hızının 30 mm/dak'dan 40mm/dak çıkartıldığında kaynak nüfuziyeti 0,5 mm azalarak 4 mm'e düşmüştür. Benzer şekilde 308L kaynak teli ile üretilen numunelerde kaynak hızının 30 mm/dak'dan 40 mm/dak'a yükseltilmesi ile kaynak nüfuziyeti 0,7mm azalarak 3,5 mm düşmüştür. Kaynak nüfuziyet derinliğinin azalmasına kaynak hızının artması ile azalan ısı girdisi sebebiyle ana metalde ve ilave telde meydana gelen erimenin azalmasının neden olduğu düşünülmektedir. Xie ve diğ., Keyhole GTAW kaynak yöntemi ile AISI 430 paslanmaz çeliğini birleştirdikleri çalışmada Düşük kaynak akımının ve yüksek kaynak hızının düşük nüfuziyet meydana getirdiğini söylemişlerdir (Xie ve diğ., 2018). Benzer şekilde Wang vd., paslanmaz çelikleri lazer kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak hızının artması ile kaynak nüfuziyetinin azaldığını ifade etmişlerdir (Wang ve diğ., 2017).

Şekil 6'a incelendiğinde göze çarpan bir diğer nokta ise kaynak telinin değişmesi ile kaynak nüfuziyetinin azalma eğiminde olmasıdır. 30mm/dak kaynak hızında kaynak telinin 309LSi den 308L'ye değiştirilmesi ile kaynak nüfuziyetinin 4,5 mm'den 4,2 mm düştüğü görülürken aynı şekilde 40 mm/dak kaynak hızında kaynak telinin değiştirilmesi ile kaynak nüfuziyeti 4 mm'den 3,5 mm'ye düştüğü tespit edilmiştir.

4.2.2. Mikroyapı

Farklı kaynak hızlarının ve farklı kaynak tellerinin mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen görüntülerden ana metallerine ait olanlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Ana Malzemelerin Mikroyapıları (a) AISI 430, (b) AISI 304

AISI 430 Ferritik paslanmaz çeliğin ana metalinin mikroyapısı, taneler etrafında dağılmış karbürler içerirken, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ana malzemenin mikroyapısının ise östenit taneleri içeren tek fazlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Serindağ ve Çam GMAW kaynak yöntemi ile AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile AISI 430 paslanmaz çeliğini

birleştirdikleri çalışmada ferritik ana malzemenin taneler boyunca ve tane içlerinde dağılmış halde karbürler içerirken, östenitik ana malzemenin östenit taneleri içeren tek fazlı bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir (Serindağ ve Çam, 2021). Benzer şekilde Şenol ve Çam AISI 430 ferritik paslanmaz çelikleri GMAW yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada ferritik ana malzemenin tane sınırlarında ve tane içlerinde dağılmış halde karbür içeren bir mikroyapıya sahip olduğunu söylemişlerdir (Şenol ve Çam, 2020).

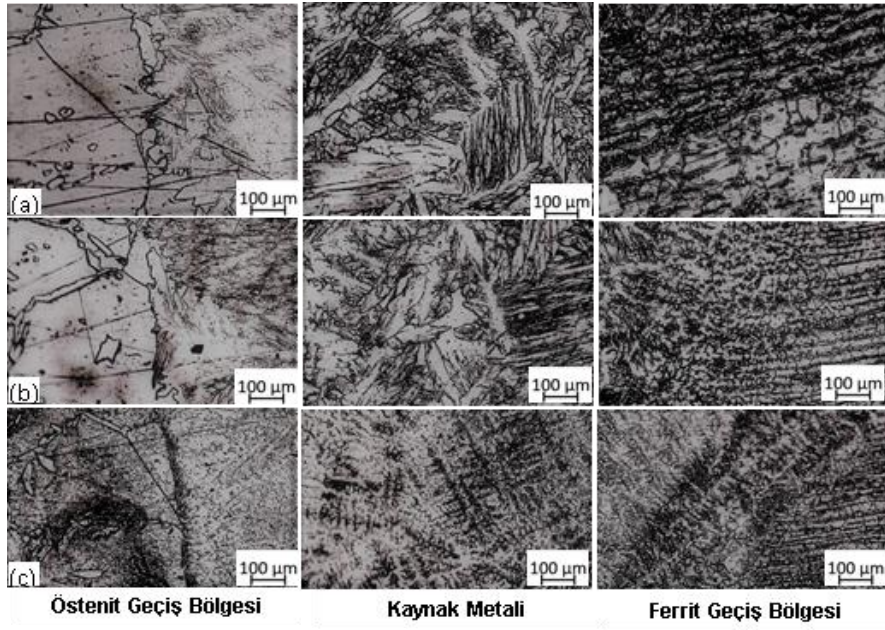
Üretilen kaynaklı birleştirmelerden 309LSi kaynak teli ile birleştirilenler Şekil 8'de verilirken 308L kaynak teli ile birleştirilenler Şekil 9'da verilmiştir. Her iki kaynak teli ile üretilen numunelerin kaynak metallere mikroyapıları ile ana malzemelerin mikroyapıları karşılaştırdığımızda kaynak metalinin dentritik oluşumlardan meydana gelen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında meydana gelen bu yapıya ısınma ve ardında soğuma neden olmuştur. Kumar vd., östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri lazer ark kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin, yavaş katılma hızı ile soğuduğu için dentritikler içerdiğini söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018).

Kaynak metallere mikroyapıları Şekil 10 ve 11'deki schaeffler diyagramı yardımı ile incelendiğinde kaynak metalinin her iki ana metalin ve kullanılan ilave kaynak metallere mikroyapıları ile ana malzemelerin mikroyapıları karşılaştırdığımızda kaynak metalinin dentritik oluşumlardan meydana gelen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında meydana gelen bu yapıya ısınma ve ardında soğuma neden olmuştur. Kumar vd., östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri lazer ark kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin, yavaş katılma hızı ile soğuduğu için dentritikler içerdiğini söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018).

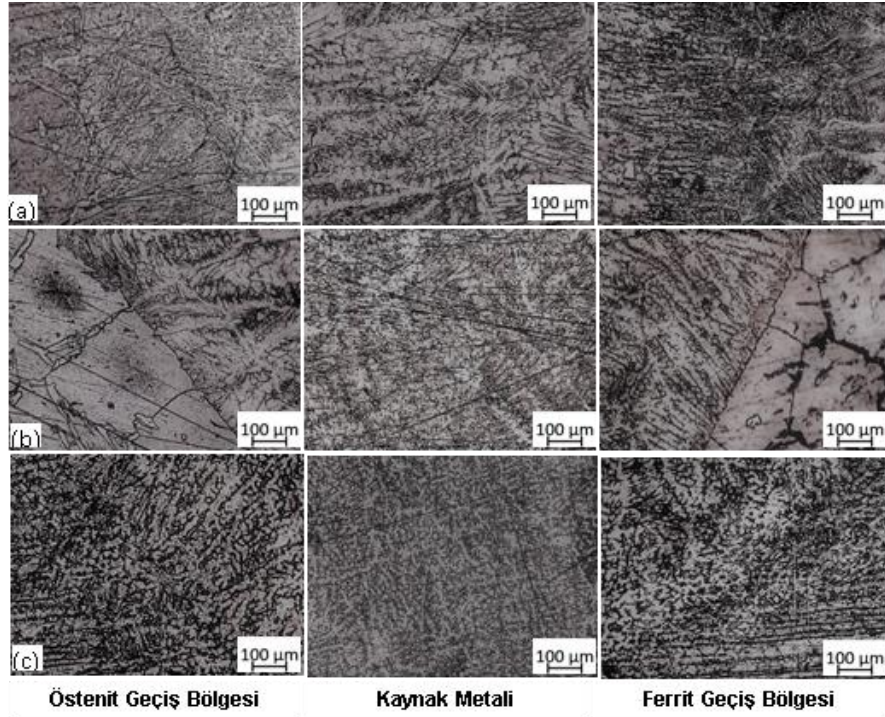
Kaynak metallere mikroyapıları Şekil 10 ve 11'deki schaeffler diyagramı yardımı ile incelendiğinde kaynak metalinin her iki ana metalin ve kullanılan ilave kaynak metallere mikroyapıları ile ana malzemelerin mikroyapıları karşılaştırdığımızda kaynak metalinin dentritik oluşumlardan meydana gelen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında meydana gelen bu yapıya ısınma ve ardında soğuma neden olmuştur. Kumar vd., östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri lazer ark kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin, yavaş katılma hızı ile soğuduğu için dentritikler içerdiğini söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018).

Kaynak metallere mikroyapıları Şekil 10 ve 11'deki schaeffler diyagramı yardımı ile incelendiğinde kaynak metalinin her iki ana metalin ve kullanılan ilave kaynak metallere mikroyapıları ile ana malzemelerin mikroyapıları karşılaştırdığımızda kaynak metalinin dentritik oluşumlardan meydana gelen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında meydana gelen bu yapıya ısınma ve ardında soğuma neden olmuştur. Kumar vd., östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri lazer ark kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin, yavaş katılma hızı ile soğuduğu için dentritikler içerdiğini söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018).

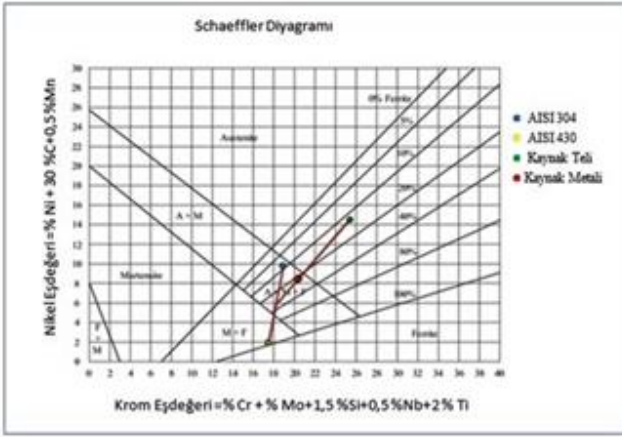
Kaynak metallere mikroyapıları Şekil 10 ve 11'deki schaeffler diyagramı yardımı ile incelendiğinde kaynak metalinin her iki ana metalin ve kullanılan ilave kaynak metallere mikroyapıları ile ana malzemelerin mikroyapıları karşılaştırdığımızda kaynak metalinin dentritik oluşumlardan meydana gelen bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Kaynak sırasında meydana gelen bu yapıya ısınma ve ardında soğuma neden olmuştur. Kumar vd., östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri lazer ark kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin, yavaş katılma hızı ile soğuduğu için dentritikler içerdiğini söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018).



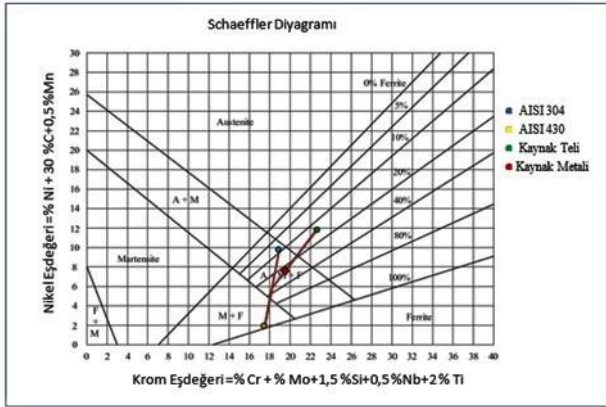
Şekil 8. 309LSi İlave Tel ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapıları (a) LS1, (b) LS2, (c) LS3



Şekil 9. 308L İlave Tel ile Birleştirilen Numunelerin Mikroyapıları (a) L1, (b) L2, (c) L3



Şekil 10. 309LSi ilave Tel ile Birleştirilen Numunelerin Schaeffler Diyagramı



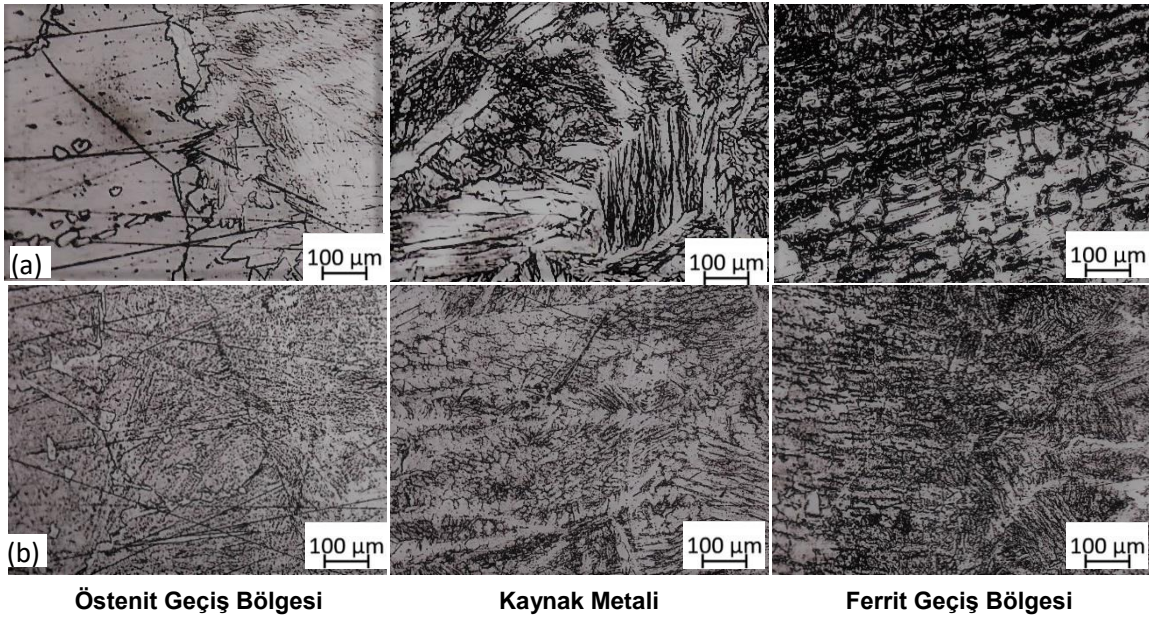
Şekil 11. 308L ilave Tel ile Birleştirilen Numunelerin Schaeffler Diyagramı

Bir kaynaklı birleştirmede, kaynak sırasında meydana gelen ısınma ve soğuma nedeniyle mikroyapısında değişiklik oluşması sebebiyle en hassas bölgelerden biri de Isı Tesiri Altındaki Bölgedir (ITAB). Her iki kaynak teli ile birleştirilen numunelerin östenit tarafındaki ITAB'ların mikroyapısı incelendiğinde östenit tanelerin etrafını çevreleyen ferrit oluşumu görülürken ferrit tarafındaki ITAB'lar incelendiğinde ise ferrit tane sınırlarında karbür çökeltilerinin bulunduğu gözlemlenmiştir.

Kumar ve diğ., plazma ark kaynak yöntemi ile östenitik ve ferritik paslanmaz çelikleri birleştirdikleri ve birleştirmelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada östenit tarafındaki ITAB'da östenit tane sınırlarını çevreleyen δ delta ferrit ağının oluşumu gözlenirken ferrit tarafındaki ITAB'da ise ferrit tanelerinin etrafında karbür çökeltilerinin bulunduğunu söylemişlerdir (Kumar ve diğ., 2018). Ayrıca Mahmoud ve diğ., TIG ve Nd:YAG lazer kaynak yöntemleri ile 304 ve 316 paslanmaz çelikleri birleştirdikleri çalışmada 304 paslanmaz çelik tarafındaki ITAB'ın ferrit içerdiğini belirtmişlerdir (Mahmoud ve diğ., 2014).

Kaynak hızının mikroyapı üzerindeki etkileri incelendiğinde kaynak hızının artması ile kaynak bölgesine giren ısı miktarının azalmakta bunun sonucunda da soğuma hızı artmaktadır. Artan soğuma hızı da kaynak metalindeki dentritik yapının, incelmeye neden olmuştur. Açar vd., GMAW kaynak yöntemi ile AISI 430 paslanmaz çeliğini kaydattıkları çalışmada düşük ısı girdisinin mikroyapıda bulunan mikro partiküllerin irileşmesine müsaade etmediğini söylemişlerdir (Açar vd., 2022). Aynı şekilde Kumar ve Shahi GTAW kaynak yöntemi ile AISI 304 paslanmaz çeliğini kaydattıkları çalışmada düşük ısı girdisi ve soğuma hızının kaynak metalindeki dentritiklerin boyutları üzerinde etkili olduğunu söylemişlerdir (Kumar ve Shahi, 2011). Rizvi AISI 304 paslanmaz çeliğini MIG kaynağı ile birleştirdiği çalışmada düşük ısı girdisinin daha ince boyutlarda dentritler ürettiğini söylemiştir (Rizvi, 2020).

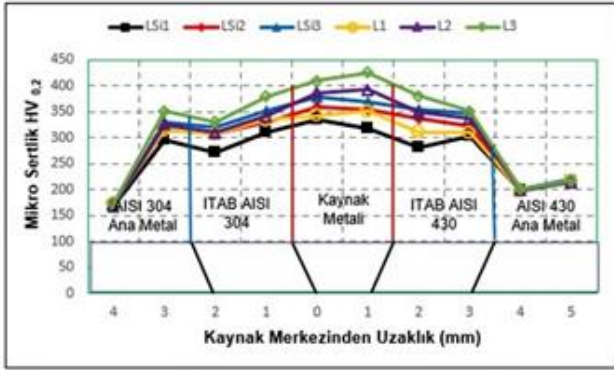
Farklı kaynak tellerinin mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 30mm/dak kaynak hızında üretilen birleştirmelerden elde edilen görüntüler Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde mikroyapıların birbirine benzer olduğu görülürken 308L kaynak teli üretilen numunenin 309LSi kaynak teli ile üretilen numuneye oranla daha ince tane bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Mikroyapının birbirine benzer çıkmasının sebebi ise kaynak metallerinin kimyasal bileşimlerinin oranları dışında aynı olmasıdır.



Şekil 12. Farklı Kaynak Telinin Mikroyapı Üzerindeki Etkileri (a) LS3, (b) L3

4.3. Mikro Sertlik

Kaynak hızının ve kullanılan farklı tellerin kaynaklı birleştirmelerin sertlikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan sertlik ölçüm sonuçları kullanılarak elde edilen sertlik dağılım grafiği Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Sertlik Ölçüm Sonuçları

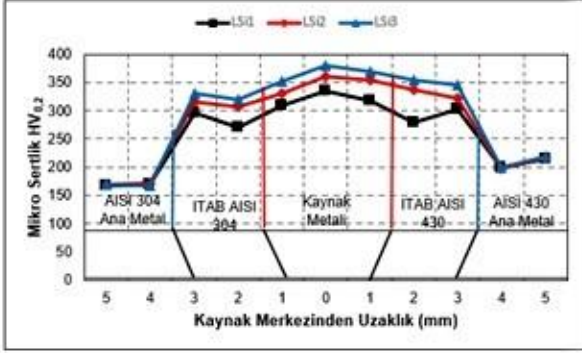
Şekil 13'te de görüldüğü üzere yapılan sertlik ölçüm sonuçlarında en sert bölge kaynak metali olurken sertlik dağılımının kaynak metali, ITAB ve ana metal şeklinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kaynak metalinde elde edilen en yüksek sertlik 426 HV_{0.2} ile L3 nolu numunede ölçülürken en düşük sertlik 318 HV_{0.2} ile LS1 nolu numunede ölçülmüştür. En sert bölge olarak kaynak metalinin belirlenmesinde kaynak metalinin martenzitik bir yapıya sahip olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Lakshminarayanan ve diğ., ferritik paslanmaz çelikleri otojen ark kaynak yöntemi ile

birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin en yüksek sertliğe sahip olduğunu söylemişlerdir (Lakshminarayanan ve diğ., 2009). Açar ve diğ., AISI 430 paslanmaz çeliğini GMAW kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada kaynak metalinin sertliğini, mikroyapıda meydana gelen martenzitik oluşum nedeniyle ITAB'dan ve ana metalden daha büyük olarak ölçtüklerini söylemişlerdir (Açar ve diğ., 2022).

Kaynak metalinden sonra en yüksek sertlik ITAB'da ölçülmüştür. ITAB bölgesinde en yüksek sertlik değeri L3 nolu numunenin ferritik taraftaki ITAB'ında 380 HV_{0.2} olarak ölçülürken en düşük sertlik değeri ise LS1 nolu numunenin Östenit tarafındaki ITAB'ında 271 HV_{0.2} olarak elde edilmiştir.

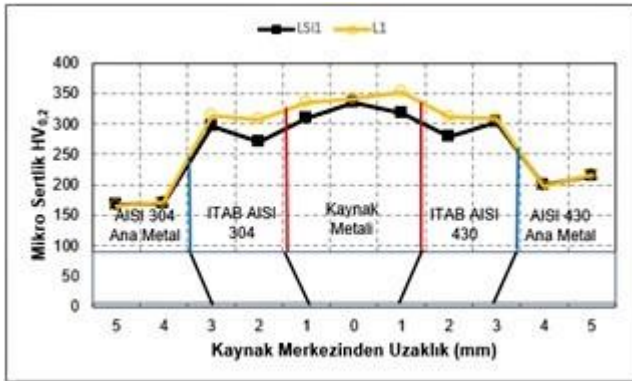
Kaynak hızının sertlik üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 309LSi kaynak teli ile birleştirilen numunelerin sertlik değerlerinden elde edilen sertlik dağılım grafiği Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 14'teki sertlik dağılım grafiği incelendiğinde kaynak hızının artması ile sertlik sonuçlarının da artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Kaynak hızının artması ile sertlik sonuçlarında meydana gelen artmaya, kaynak hızının artması ile kaynak bölgesine giren ısı girdisinin azalması sebebiyle artan soğuma hızı ile mikroyapıdaki tane boyutunun küçülmesi etkili olmuştur. Abioye, Gbadeyan ve Adebisi, 2019, AISI 304 paslanmaz çeliğini gaz metal ark kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada düşük ısı girdisinde sertliğin arttığını bunun da artan soğuma hızından mikroyapının etkilenmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir (Abioye, Gbadeyan ve Adebisi, 2019). Mahmoud ve diğ., AISI 304 paslanmaz çeliğini Fiber lazer kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada artan kaynak hızının düşük ısı girdisi oluşturması

sebebiyle daha küçük taneli bir mikroyapı meydana getirdiğini bunun da sertlik değerini artırdığını söylemişlerdir (Mahmoud ve diğ., 2021).



Şekil 14. Kaynak Hızının Sertliğe Etkisi

Kullanılan farklı kaynak tellerinin sertlik üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla kaynak hızı sabit tutulup, LS1 ve L1 nolu numunelerin sertlik verilerinden üretilen sertlik dağılım grafiği Şekil 15'te verilmiştir. Şekil 15 incelendiğinde L1 nolu numunenin daha yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür. 308L kaynak telinin, 309LSi kaynak teline göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasının bunda etkili olmuş olabileceği düşünülürken aynı zamanda mikroyapı görüntüleri incelendiğinde 308L kaynak teli ile yapılan kaynakların 309LSi kaynak teline oranla daha küçük taneli mikroyapı üretmesini etkili olduğu düşünülmüştür.



Şekil 15. Kaynak Telinin Sertliğe Etkisi

4.4. Çekme Deneyi Sonuçları

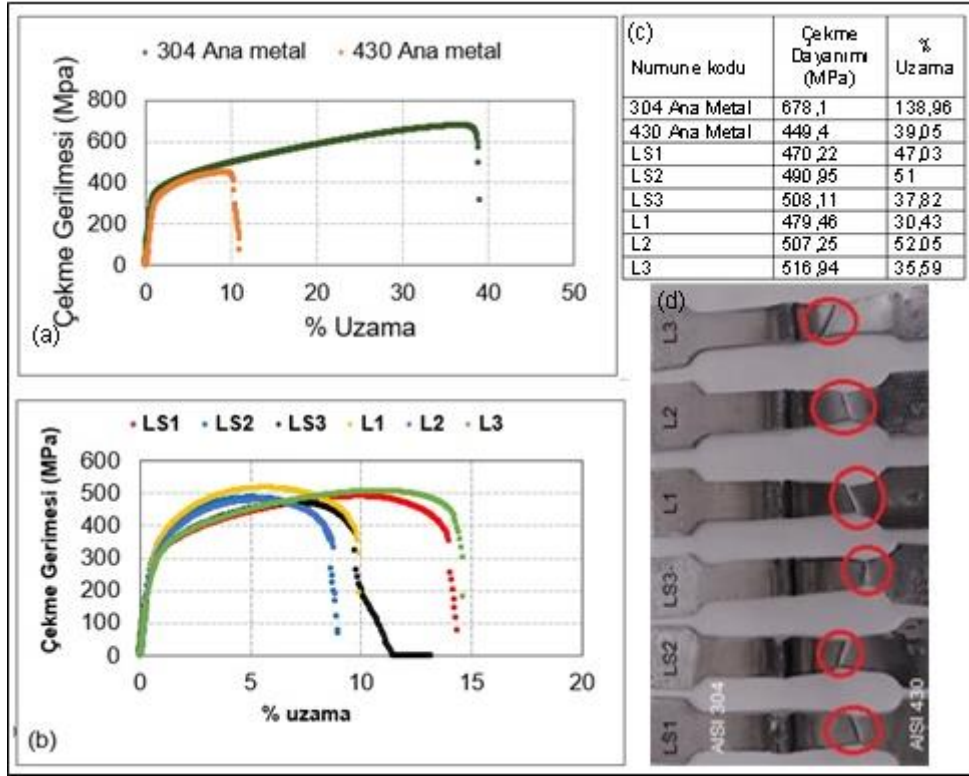
GMAW kaynak yöntemi ile birleştirilen AISI 430 ve AISI 304 paslanmaz çelik birleştirmelerin çekme dayanımı ve % uzama özelliklerine farklı kaynak tellerinin etkilerini belirlemek için çekme testleri uygulanmıştır. Çekme deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak çekme uzama grafikleri elde edilmiştir. Çekme testi uygulamasında ana malzeme ile de karşılaştırma

yapabilmek için ayrıca ana malzemeden de hazırlanan numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testli sonucu elde edilen veriler yardımı ile çizilen çekme grafiği ve numunelerin kopma görüntüleri Şekil 16'da verilmiştir.

Şekil 16'daki çekme deneyi sonuçları incelendiğinde kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarının AISI 304 paslanmaz çeliğin dayanımından düşük, AISI 430 paslanmaz çeliğin dayanımından yüksek olduğu görülmüştür. Çekme sonuçlarının AISI 430 ana malzemeden büyük çıkmasına kullanılan kaynak tellerin kimyasal bileşimleri içerisinde bulunan Cr ve Ni elementlerinin kaynak metaline girmesi ve burada çökeltiler oluşturarak kaynak metalinin dayanımını artırmalarının etkili olduğu düşünülmektedir. Mahmoud ve diğ., düşük karbonlu çelik ile AISI 430 paslanmaz çeliğini GTAW kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemetlerinin her iki ana metalin mukavemetinden yüksek çıktığını buna ise östenitik kaynak telinin içeriğinde yüksek miktarda Ni ve Mn gibi dayanım artırıcı elementlerin bulunmasının etkili olduğunu söylemişlerdir (Mahmoud ve diğ., 2014). Aynı şekilde Paulraj ve Garg UNS S31803 çeliği ile UNS S32750 çeliğini GTAW kaynağı ile birleştirmişler ve çekme deneyi sonucunda kullanılan ilave kaynak teli nedeniyle kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarının ana malzemelerden % 5-10 daha yüksek çıktığını rapor etmişlerdir (Paulraj ve Garg, 2015).

Kaynak hızlarının ve dolayısıyla ısı girdisinin çekme dayanımı üzerindeki etkileri incelendiğinde, üretilen tüm numunelerin çekme dayanımının AISI 430 paslanmaz çeliğin dayanımından yüksek olmasından, kullanılan her iki kaynak telinin mekanik özelliklerinin AISI 430 paslanmaz çelikten daha iyi olması ve ayrıca kaynak ilave tellerinin kaynak mikroyapısına ilave alaşım elementleri katarak dayanımını artırmasının yanı sıra kopmaların AISI 430 paslanmaz çelik ana malzemeden gerçekleşmesi sebebiyle kaynak hızının ve dolayısıyla değişen ısı girdisinin çekme dayanımı üzerindeki etkisinin göz ardı edilebileceği düşünülmektedir.

Çekme deneyleri sonuçları incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı 308 L kaynak teli ile birleştirilen L3 kodlu numunede 516,94 MPa ölçülürken en düşük çekme dayanımı 309 LSi kaynak teli ile birleştirilen LS1 kodlu numunede 470,22 MPa ölçülmüştür. AISI 304 ana malzemenin çekme dayanımı baz alınarak en yüksek ve en düşük çekme dayanımlarına göre kaynak verimliliği hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek çekme dayanımının elde edildiği L3 kodlu numunenin verimliliği %76,2 olarak belirlenirken en düşük çekme dayanımının elde edildiği LS1 kodlu numunenin verimliliği %69,3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 16. Çekme Sonuçları a) Ana Malzemelerin Çekme Grafiği b) Kaynaklı Numunelerin Çekme Grafiği c) Çekme Deneyi Sonuçları Tablosu d) Kopma Bölgeleri

Şekil 16' da verilen kopma görüntüleri incelediğinde bütün kaynaklı birleştirmelerin AISI 430 ana malzemeden koptuğu görülmektedir. Kopmaların AISI 430 ana malzemede meydana gelmesi, her iki kaynak telinin ve AISI 304 paslanmaz çeliğinin akma ve çekme dayanımlarının AISI 430 paslanmaz çelikten daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. (Yürük ve diğ., 2017), S235JR ve AISI 430 paslanmaz çelik ile yaptıkları çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğin akma ve çekme dayanımının S235JR malzemeden daha yüksek olmasından dolayı kopmanın S235JR ana malzemede meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca bir kaynaklı birleştirmeden beklenen birincil özellik dayanımının ana malzemeye eş veya ona yakın olmasıdır. Farklı malzemelerin birleştirilmesinde ise birleştirmenin dayanımının, çekme ve akma dayanımı düşük olan malzemeden daha büyük olması istenmektedir. Aynı şekilde literatürde kaynaklı birleştirmenin dayanımının ana malzemeye ile aynı ve yakın olması gerektiği belirtilirken farklı malzemelerin birleştirildiği durumlarda kaynaklı birleştirmenin dayanımının, akma ve çekme dayanımı düşük olan malzemeden daha büyük olması gerektiği söylenmiştir (Kılınçer ve Kahraman, 2009). Kaynaklı birleştirmelerde çekme deneyi sırasında kopmanın ana metalde meydana gelmesi, kaynağın kalitesi ve dayanımı açısından tercih edilen kaynak parametrelerinin uygunluğunun da bir göstergesidir. Biswas ve diğ., AISI 304 paslanmaz çelik ile düşük karbonlu 45C8 çeliğini GMAW yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada çekme deneyi esnasında

kopmanın ana metalde gerçekleşmesinin kaynak parametrelerinin uygunluğunun ifadesi olduğunu söylemişlerdir (Biswas ve diğ., 2018).

Bir diğer önemli nokta ise kopmaların kaynaklı birleştirmelerin en zayıf noktası olan ITAB'da meydana gelmemesidir. Zira birçok çatlama ve kopma kaynaklı birleştirmenin en hassas bölgesi olan ITAB meydana gelmektedir. Her iki kaynak telinin ve AISI 304 ana malzemenin Cr, Ni ve Mn gibi dayanım özelliklerini artırıcı elementlere sahip olmaları sebebiyle kaynak esnasında kaynak metaline bu alaşım elementlerini katmaları sonucunda kaynak metalinin ve ITAB'ın dayanımının artmasına neden olmuşlardır. Bu yüzden de kopmaların kaynak metalinde ya da ITAB'da gerçekleşmediği düşünülmektedir. Kılınçer ve Kahraman AISI 409 paslanmaz çelik ile Ç1010 çeliğini GMAW kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada kullanılan ilave kaynak telinin kompozit bir etki yapması sonucunda kopmanın ITAB'da gerçekleşmediğini belirtmişlerdir (Kılınçer ve Kahraman, 2009).

Yapılan çekme deneyi sonuçlarında, kopmaların ITAB'da meydana gelmemesi ve çekme ve akma dayanımlarının AISI 430 paslanmaz çelikten daha yüksek olması sebebiyle tercih edilen her iki kaynak ilave telinin bu iki paslanmaz çeliğin kaynağında rahatlıkla kullanılabileceğini gösterirken tercih edilen kaynak parametrelerinin de bu iki paslanmaz çeliğin kaynağı için uygun olduğunu göstermektedir.

5. Sonuçlar

AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çelikleri farklı kaynak teli kullanılarak üç farklı kaynak hızında başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Gözle yapılan kontroller sonucunda kaynak dikişinde herhangi bir gözenek ya da kenar yenmesi gibi kusurlara rastlanmazken kaynak hızında meydana gelen değişikliklerin ısı girdisini etkilemesi sebebiyle kaynak dikiş genişliği üzerinde bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Makroyapı üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda herhangi bir birleşme eksikliği, gözenek ve çatlak gibi kaynak kusurlarına rastlanmazken artan kaynak hızı ile kaynak bölgesine giren ısı girdisinin azalması sebebiyle nüfuziyet derinliğinde azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca 309LSi kaynak teli ile üretilen numunelerin daha fazla nüfuziyet meydana getirdiği görülmüştür.

Mikroyapı çalışmaları sonucunda üretilen bütün kaynaklı birleştirmelerin kaynak metalinin martenzit+ östenitik + ferritik bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca artan kaynak hızı ile mikroyapıdaki tane yapısının inceldiği belirlenirken 308L kaynak teli ile birleştirilen numunelerin 309LSi kaynak teline oranla daha ince taneli bir mikroyapı ürettiği görülmüştür.

Sertlik sonuçlarına göre en yüksek sertlik, üretilen tüm birleştirmelerde kaynak metalinde elde edilirken kaynak metalini ITAB ve ana metaller izlemiştir. Kaynak hızının ısı girdisini ve beraberinde mikroyapıyı etkilemesi sebebiyle sertlik sonuçlarını da etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca 308L kaynak telinin 309LSi kaynak teline oranla daha küçük taneli bir mikroyapı üretmesi sebebiyle 308L kaynak teli ile birleştirilen numuneler daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Kullanılan ilave kaynak tellerinin, kaynak metaline alayım elementleri katması sebebiyle kaynak metalinin dayanımı artırmış bunun sonucunda da bütün birleştirmelerin çekme dayanımı, AISI 430 ana malzemenin çekme dayanımından daha yüksek çıkmıştır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ali YÜRÜK çalışmanın bütün aşamalarında kendisi çalışarak bu çalışmayı tamamlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abioye, T.E., Gbadeyan, O.O. & Adebisi D.I. (2019), Analysis of the mechanical properties and penetration depth of gas metal arc welding on AISI 304 stainless steel. *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, 14(1), 47-59.
- Açar İ., Çevik B. ve Gülenç B. (2022), Analysis of mechanical and microstructural characteristics of AISI 430 stainless steel welded by GMAW. *Kovove Mater.* 60, 21–30. DOI: 10.31577/km.2022.1.21.
- Açar, İ., Çevik, B. ve Gülenç, B. (2023), The effect of shielding gas on weldability of the AISI 420 martensitic stainless steel *Pract. Metallogr.*, 60(2), 108-128.
- Baskutis, S., Baskutiene, J., Bendikiene, R., Ciuplys, A., ve Dutkus K. (2021). Comparative Research of Microstructure and Mechanical Properties of Stainless and Structural Steel Dissimilar Welds. *Materials*, 14, 6180. <https://doi.org/10.3390/ma14206180>
- Biswas, A.R., Chakraborty, S., Ghosh, P.S. & Bos, D. (2018). Study Of Parametric Effects On Mechanical Properties Of Stainless Steel (AISI 304) And Medium Carbon Steel (45C8) Welded Joint Using GMAW, *Materials Today: Proceedings* 5, 12384–12393.
- Chuaiphan, W. ve Srijaroenpramong, L. (2019), Optimization of gas tungsten arc welding parameters for the dissimilar welding between AISI 304 and AISI 201 stainless steels. *Defence Technology* 15, 170-178.
- Curiel, F.F., García, R., López, V. H. & González-Sánchez J. (2011). Effect of magnetic field applied during gas metal arc welding on the resistance to localised corrosion of the heat affected zone in AISI 304 stainless steel. *Corrosion Science* 53, 2393–2399.
- Durgutlu, A., Fındık T., Arabacı U. ve Gülenç B. (2009), Östenitik paslanmaz çeliğin TIG kaynağında akım türünün kaynak metal mikroyapısı ve sertlik değerine etkisi. *Uluslararası Kaynak Teknolojisi Konferansı Ankara* 1, 591-597.
- Durgutlu, A., Fındık, T., Gülenç, Ç., Çevik, B., Kaya, Y., Kahraman, N. (2015), Effect of continuous and plus currents on microstructural evolution of stainless steel joined by TIG welding. *Pract. Metallogr.*, 52(11),627-637.

- Fattah-alhosseini, A. & Vafaeian S. (2015), Effect of solution pH on the electrochemical behaviour of AISI 304 austenitic and AISI 430 ferritic stainless steels in concentrated acidic media. *Egyptian Journal of Petroleum* 24, 333-341.
- Gözütok, E., Kahraman, N., Durgutlu, A. ve Gülenç B. (2009), AISI 304 malzemelerin TIG kaynağında argon koruyucu gazına hidrojen ilavesinin etkilerinin araştırılması. *Uluslararası Kaynak Teknolojisi Konferansı Ankara 1*, 778-786.
- Jibrin, S., Supriyo, G., Harry, C. & Thilo P. (2015), Application of local mechanical tensioning and laser processing to refine microstructure and modify residual stress state of a multi-pass 304L austenitic steels welds. *Journal of Manufacturing Processes* 18, 141-150.
- Kılınçer S. ve Kahraman N. (2009), AISI 409 VE Ç1010 çeliğin östenitik elektrod kullanarak mıg kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve mekanik özelliklerinin araştırılması. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 24(1), 23-31.
- Kumar, S. & Shahi A. S. (2011), Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints. *Materials and Design* 32, 3617-3623. doi:10.1016/j.matdes.2011.02.017
- Kumar, S.R., Singh, A.K., Sandeep, S. & Aravind, P. (2018), Investigation on Microstructural behavior and Mechanical Properties of plasma arc welded dissimilar butt joint of austenitic- ferritic stainless steels. *Materials Today: Proceedings* 5, 8008-8015.
- Lakshminarayanan, A. K., Shanmugam, K. & Balasubramanian, V. (2009), Effect of Autogenous Arc Welding Processes on Tensile and Impact Properties of Ferritic Stainless Steel Joints. *journal of iron and steel research, international*, 16(1), 62-68.
- Mallaiyah, G., Kumar, A., Ravinder, R.P. & Madhusudhan R. G. (2013), Effect of copper and aluminium addition on mechanical properties and corrosion behaviour of AISI 430 ferritic stainless steel gas tungsten arc welds. *J. Mater. Res. technol.* 2(3), 238-249.
- Mallaiyah, G., Ravinder Reddy, P. & Kumar A. (2014), Influence of titanium addition on mechanical properties, residual stresses and corrosion behaviour of AISI 430 grade ferritic stainless steel GTA welds. *Procedia Materials Science*, 6, 1740 - 1751.
- Mahmoud, E.R.I., Almohamadi, H., Aljabri, A. & Elkotb, M.A. (2021), A Study on the Fiber YAG Laser Welding of 304L Stainless Steel. *Metals*, 11, 2022https:// doi.org/10.3390/met11122022
- Mahmoud, S.K., Mohammad, A.M., Hesam, P. & Amir H.K. (2014), Study on microstructure and mechanical characteristics of low-carbon steel and ferritic stainless steel joints. *Materials Science & Engineering A* 608, 35-45.
- Martínez, R.T., Bestard, G.A., Silva, A.M.A. & Alfaro, S.C. A. (2021), Analysis of GMAW process with deep learning and machine learning techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 695-703.
- Meena, S.L., Butola, R., Murtaza, Q., JayantilalH, & Niranjana, M.S. (2017), Metallurgical Investigations of Microstructure and Micro hardness across the various zones in Synergic MIG Welding of Stainless steel, *Materials Today: Proceedings*, 4, 8240-8249.
- Nabendu, G., Pradip, K.P. & Goutam N. (2017), GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 1334-1341.
- Oliveira, M.J.C., Melo, R.H.F., Maciel, T. M. & de Araújo, C.J. (2019), Microstructural evaluation and mechanical behaviour of dissimilar nitistainless steel joints welded by micro gas tungsten arc welding. *Materials Chemistry and Physics*, 224, 137-147.
- Pańcikiewicz, K., Swierczyńska, A., Hućko, P. & Tumidajewicz, M. (2020), Laser Dissimilar Welding of AISI 430F and AISI 304 Stainless Steels. *Materials*, 13, 4540; doi:10.3390/ma13204540.
- Paulraj, P. & Garg, R. (2015), Effect of welding parameters on mechanical properties of GTAW of UNS S31803 and UNS S32750 weldments. *Manufacturing Rev.*, 2(29), 1-9. DOI: 10.1051/mfreview/2015032
- Pekkarinena, J. & Kujanpää, V. (2010), The effects of laser welding parameters on the microstructure of ferritic and duplex stainless steels welds. *Physics Procedia*, 5, 517-523.
- Rahul, K., Rutash, M., Chandan, K., Bharat, S.R., Manish, K. & Rajnish K. (2018), Fabrication and Characterization of Weldments AISI 304 and AISI 316 Used in Industrial Applications. *Materials Today: Proceedings*, 5, 18475-18481.

- Ramkumar, K. D., Chandrasekhar, A., Singh, A.K., Ahuja, S., Agarwal, A., Arivazhagan, N. & Rabel, A.M. (2015), Comparative studies on the weldability, microstructure and tensile properties of autogeneous TIG welded AISI 430 ferritic stainless steel with and without flux. *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 54–69.
- Rizvi, S.A. (2020), Effect of Heat Input on Microstructural and Mechanical Properties of AISI 304 Welded Joint Via MIG Welding. *IJE TRANSACTIONS C: Aspects*, 33(9), 1811-1816. doi: 10.5829/ije.2020.33.09c.16
- Sajjad, G., S., Mohsen, N., Mahmood, S. & Mehdi S. A. (2012), Gas tungsten arc welding of CP-copper to 304 stainless steel using different filler Materials. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 22, 2937-2942.
- Serindağ, H.T. ve ÇAM, G. (2021), Microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 430/AISI 304 dissimilar stainless steels butt joints, *Journal of Physics: Conference Series*, 1777, 012047. doi:10.1088/1742-6596/1777/1/012047
- Şenol M. & ÇAM G. (2020). Microstructural and Mechanical Characterization of Gas Metal Arc Welded AISI 430 Ferritic Stainless Steel Joints. *EJENS*, 5 (1), 52–60.
- Villaret, V., Deschaux-Beaume, F., Bordreuil, C., Fras, G., Chovet, C., Petit, B. & Faivre L. (2013), Characterization of Gas Metal Arc Welding welds obtained with new high Cr–Mo ferritic stainless steel filler wires. *Materials and Design*, 51, 474–483.
- Wang, H., Nakanishi, M. V. & Kawahito, Y. (2017), Effects of welding speed on absorption rate in partial and full penetration welding of stainless steel with high brightness and high power laser. *Journal of Materials Processing Tech.* 249, 193–201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.06.014>
- Wang, C., Yu, Y., Yu, J., Zhang, Y., Zhao, Y. & Yuan, O. (2020), Microstructure evolution and corrosion behavior of dissimilar 304/430 stainless steel welded joints. *Journal of Manufacturing Processes* 50, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.12.015>.
- Xie, Y., Cai, Y., Zhang, X. & Luo Z. (2018), Characterization of keyhole gas tungsten arc welded AISI 430 steel and joint performance optimization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99, 347–361. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2257-6>
- Yürük A., Bozkurt B. ve Kahraman N. (2017), S235JR karbon çeliği ile AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin mig kaynak yöntemi ile kaynak edilebilirliğinin incelenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 21(2), 90-97.
- Yürük, A., Çevik, B. & Kahraman, N. (2021), Analysis of mechanical and microstructural properties of gas metal arc welded dissimilar aluminum alloys (AA5754/AA6013). *Materials Chemistry and Physics* 273, 125117. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125117>
- Yürük A. & Kahraman N. (2017), Weld zone characterization of stainless steel joined through electric resistance spot welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 2975–2986.
- Yürük, A., Kaya, Y. ve Kahraman, N. (2021), Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 41-52.
- Zhi, C., Jihua, H., Zheng, Y., Yu, C., Jian, Y. & Shuhai C. (2019), Microstructures and mechanical properties of copper-stainless steel buttwelded joints by MIG-TIG double-sided arc welding. *Journal of Materials Processing Tech.*, 265, 87–98.