

## Doğal Gaz Borularının Farklı Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Silisyum Karbür Takviyesinin Kaynak Mukavemetine Etkisi

Rıza KARA<sup>1,a</sup>, Gökhan YILDIRIM<sup>1,b</sup>, Fatih ÇOLAK<sup>1,c</sup>, Hakan Furkan AKSU<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, UŞAK  
[riza.kara@usak.edu.tr](mailto:riza.kara@usak.edu.tr), [gokhan.yildirim@usak.edu.tr](mailto:gokhan.yildirim@usak.edu.tr), [fatih.colak@usak.edu.tr](mailto:fatih.colak@usak.edu.tr), [hakanfurkan\\_123@hotmail.com](mailto:hakanfurkan_123@hotmail.com)

**Özet** - Bu çalışmada doğalgaz borularının kaynaklanabilirliğinin tespiti için API 5L X52 kalite 21,3 mm (1/2 inç) yarıçapında 2,8 mm et kalınlığına sahip borular 100 mm boyutlarında kesilmiş ve kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak ağzı açılmış olan numuneler oksigaz, elektrik ark ve MAG (Gaz altı ) kaynak yöntemleriyle kaynaklanmıştır. Kaynak işlemleri; kaynak bölgesine silisyum karbür (SiC) takviyesi yapılarak uygulanmıştır. Farklı kaynak yöntemleriyle SiC takviyeli olarak birleştirilen parçalardan mikroyapı, sertlik, çekme ve yorulma deney numuneleri standartlara göre çıkartılmıştır. Standartlara uygun hazırlanan deney numunelerine testler uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek akma dayanımı rutil elektrotla ve SiC takviyesi yapılan örtülü elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmede ölçülmüştür. Bütün kaynak yöntemleri ile elde edilen birleştirmeler incelendiğinde SiC katılarak kaynaklama işlemi yapılan numunelerde akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve % uzama değerlerinde yüksek miktarlarda artış olduğu gözlenmiştir. SiC katılarak yapılan birleştirmelerin yorulma ve sertlik sonuçlarına bakıldığında yorulma değerlerinin ve sertliklerinin de arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** –API5L X52, Kaynak, Mekanik Özellikler, SiC

**Abstract** –In this study, to determine the weldability of natural gas pipes, pipes with API 5L X52 quality 21.3 mm (1/2 inch) radius and 2.8 mm wall thickness were cut in 100 mm dimensions and welded open. The welded openings are welded with oxygen, electric arc and MAG (under gas) welding methods. Welding operations; was applied to the source region in two different ways with silicon carbide (SiC) reinforcement in the welding region. Microstructure, hardness, tensile and fatigue test specimens were extracted from the parts joined with SiC reinforced by different welding methods according to the standards. Tests were applied to the specimens prepared according to the standards and the results were examined. When the results are examined, the highest yield strength is measured by combining with a rutil electrode and a sheathed electric arc weld made of SiC reinforcement. When the welded joints obtained by all the welding methods were examined, it was observed that the samples subjected to welding by adding SiC had higher yield stress, tensile stress and higher % elongation values. When fatigue and hardness results of joints made by adding SiC are examined, fatigue values and hardnesses of SiC additive bonded joints are found to increase with respect to additionally bonded joints.

**Keywords** –API5L X52, Welding, Mechanical Properties, SiC

---

### I. GİRİŞ

Doğalgaz, kullanım alanı olarak çok geniş bir alana sahiptir. Doğalgaz, kömür ve petrolden sonra dünyada en çok tüketilen yakıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğalgazın dünyada kullanılan yakıtların üçüncüsü olmasının sebebi çok kolay taşınabilmesi, depolandığında kayıp ya da bozulmaya uğramaması ve çevreye çok az zarar vermesidir. Dolayısıyla, doğalgazın tüketimi Avrupa ülkelerinde gittikçe artmaktadır. Doğal gaz tüketimini sağlayan ülkeler ABD, Meksika, Kanada, Japonya, Güney Kore, Almanya, İtalya, Türkiye, Fransa, Birleşik Krallık (UK) ve İspanya'dır. Üretim bakımından büyüyen ve gelişen ülkeler sırasıyla; ABD, Rusya, İran, Norveç, Katar, Kanada, Çin, Suudi Arabistan'dır. Bu sıralanmış ülkeler küresel üretimi % 62,4 olarak tespit edilmiştir [1]. Doğalgazın taşınması mevcut boru şebekelerinin kullanımına uygundur. Doğalgaz enerji altyapısı etkili olduğundan, kaynaktan çıkarılıp taşınmasında doğalgaz boruları uygun seçilmelidir. Güvenli ve ekonomik olması dikkate alınmalıdır [2]. Boru hatları tüketimi büyük olan ve devamlı kullanılan sıvıların ve gazların (petrol, su, doğalgaz gibi) uzun mesafelere transfer edilmesinde dünya

çapında kullanılan en yaygın yöntemdir ([3]-[6]). Çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren bu boruların kullanılması onların birleştirilmesini gerektirmektedir. Birleştirme yöntemi olarak kolaylığı, pratik olması, güvenli ve ekonomik olması sebebiyle kaynaklı birleştirme seçilmektedir ([7]-[9]). API 5L X52 çelik tipik petrol sektöründe gaz ve yakıt iletimi için boru hatlarında kullanılan yaygın bir malzeme olarak karşımıza gelmektedir [10]. API standardına göre X52 gibi psi olarak minimum akma dayanımını gösterir. Bu gösterimde akma dayanımı 52.000 psi olan malzeme anlaşılır ([11], [12]). X52 tipi çelikler günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren, yüksek akma mukavemetleri ve toklukları nedeni ile kullanımı giderek artan önemli bir çelik gurubunu oluşturmaktadır. Bu çeliklerin kaynağında karşılaşılabilecek sorunların en önemlisi ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) oluşabilecek sertleşme eğilimidir. Bu çeliklerin ısı tesiri altındaki bölgesinde yüksek karbonlu martenzit ve östenitten oluşan mikro boyutta adacıklar oluşabilmektedir [13]. Bu oluşuma doğrudan tesir eden soğuma hızı en etkin faktör olmaktadır. Ti, B gibi mikro alaşım elementlerinin ısı tesiri altındaki bölgenin tokluğu üzerine etkisi, çeliğin karbon

eşdeğeri ile ilişkili olup iyi bir tokluk için uygun bir karbon eşdeğerliği aralığı vardır ([14], [15]).

Kaynakta silisyum, ancak çok yüksek miktarda bulunması halinde zararlıdır (manganez oranı yükseltirse silisyumunki de artırılabilir); % 0,7'den itibaren, eritme kaynaklarında önlem alınmazsa silisyum oksiti, kolaylıkla gözenek ve çatlaklar ortaya çıkar. Alaşımız elektrod çekirdekleri kaide olarak çok az silisyum içerirler. Burada da silisyum manganez oranı önemlidir. Tekabül eden miktarda karbon ve manganez bulunmaması halinde % 0,15 -0,5 oranında silisyum, gözenek teşekkülü bakımından kritiktir. Gözenekler ya karbon oksidinden veya silisyumun örtü rutubeti veya örtüde (bulunan maddelerin yanmasından meydana çıkan gazlarla reaksiyon haline girmesinden ileri gelir. Bildiğimiz gibi bazik elektrotlar bunda istisna teşkil ederler [16].

Bu çalışmada; endüstride doğalgaz boru hatlarında kaynaklı imal edilip geniş yelpazede tercih edilen API 5L X52 kalite çeliklerin oksigaz, rutil elektrotla ark kaynağı, MAG yöntemleri ile kaynak edilirken SiC etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı kaynak yöntemleri ile SiC katkılı ve katkısız yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerinden çekme ve yorulma dayanımı tespit edilerek sertlik dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca birleştirmelerin metalografik incelemesi yapılarak, mikroyapı mekanik özellik ilişkisi belirlenmiştir.

## II. DENEYSEL MALZEME VE METOT

### A. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme

Çalışmada X52 doğalgaz çelik borusu kullanılmıştır. X52 doğalgaz çelik boruya ait spektro analiz sonucu Tablo 1' de; bu çelik borunun ferrit ve perlit oranları Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 1.** X52 Doğalgaz Çelik Boruya Ait Spektro Analiz Sonuçları.

	C	Mn	Si	Nb	Cu
AP5L	0,106	0,91	0,24	0,020	0,021
X52	V	P	S	Cr	Al
	0,001	0,01	0,00	0,017	0,039

**Tablo 2.** X52 Çeliklerin Ortalama, Ferrit ve Perlit Oranları.

Çelik Tipi	Ferrit Oranı (%)	Perlit Oranı (%)
X52	83,5	16,5 ± 6

### B. Deneysel Numunelerin Kaynak İçin Hazırlanması ve Birleştirilmesi

Çalışmada ½ inç dış çapa sahip 2.80 mm et kalınlığındaki borular 100 mm boyutlarında kesilmiş ve daha sonra karışmaması için aşağıda Tablo 3' deki koşullarda ve markalama işlemi yapılarak Oksigaz, Örtülü elektrot ark ve MAG yöntemleriyle kaynatılmıştır.

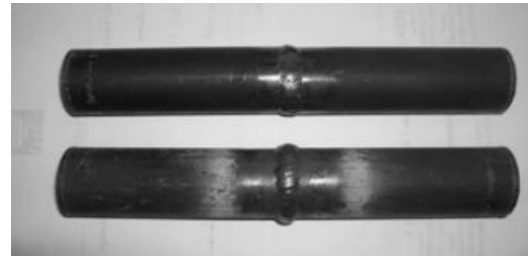
Tüm numunelerin boru uçlarına kaynak ağzı açılmış daha sonra boruların iç ve dış kısmında 5 cm' lik bir mesafede yüzey temizliği yapılmıştır. 1 numaralı numune oksijen ve asetilen gazı kullanılarak Oksigaz kaynağıyla tek pasoda kaynaklanmıştır. 2 ve 3 no' lu numuneler kaynatılmadan önce 115 A' de ve 90° lik açılarla 4 yerinden puntalama işlemi yapılmıştır. Daha sonra soğutulup cürufı kırılıp sonrasında tek pasoda kaynatılmışlardır. 4 no' lu numuneler ise CO<sub>2</sub> gazı kullanılarak 115 A de 1,5 m/s tel çekme hızında 90°lik açı ile 4 yerinden puntalanmıştır. Puntalar tamamen temizlendikten sonra tek pasoda kaynatılmıştır. SiC takviyesi

yapılırken; 2 gr Selülozik vernik ile 2 gr SiC karıştırılmış ve fırça ile kaynak ağzı açılan yere sürülerek uygulanmıştır.

**Tablo 3.** Numunelerin Markalanması ve Kaynak Koşulları.

Malzeme No	Kaynak Yöntemi	İlave Metal	Bileşik Elementi	Akım Şiddeti
1	Oksigaz	Ø 2 mm Çelik Tel	2gr.Selülozik vernik + 2 gr SiC	---
2	EAK	Ø 3,25 Rutil Elektrot		115 A
3	EAK	Ø 3,25 Selülozik Elektrot		115 A
4	MAG	Ø 1 mm Çelik Tel		126 A

Her numune kaynaktan sonra kaynak bölgeleri tel fırça yardımıyla tamamen temizlenmiştir. Çalışmada kaynaklanmış numunelerin görünümü aşağıda Şekil 1' de verilmiştir.



**Şekil 1.** Kaynaklanmış doğalgaz borularına ait resim.

### C. Birleştirmelere Uygulanan Mekanik Testler ve Metalografik İncelemeler

Birleştirmelerden standart çekme numuneleri hazırlanmıştır. Çekme deneyi INSTRON 8801 model çekme test cihazında tek eksen, 2 mm/dak çekme hızında ve sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Deneysel hataları minimize edebilmek amacıyla her bir şart için 3 deney numunesi test edilmiştir. Çalışmada, ayrıca kaynaklı boruların yorulma dayanım sınırını tespit edebilmek için standartlarına uygun olarak yorulma numunesi hazırlanarak yorulma deneyi uygulanmıştır. Yorulma deneyinde Instron 8801 Model Çekme deneyi cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada amaç farklı kaynak yöntemleri ile kaynatılan numunelerin kaynak bölgelerinde oluşan sertliği incelemektir. Bu nedenle mikroyapı için hazırlanmış numunenin kaynak bölgelerinden Mettest- HT- RSR marka ve model sertlik cihazı ile sertlik değerleri ölçülmüştür.

Metalografik inceleme numuneleri ise kaynak ilerleme yönüne dik olacak konumda klasik metalografi inceleme yöntemindeki sıralama takip edilerek hazırlanmıştır. Zımparalama işlemlerinde Met-Kon marka zımparalama makinesi ve 80-120-240-320-400-600-800-1000-1200 gridlik zımparalar kullanılmıştır. Daha sonra parlatma aşamasında çuha bezi kullanılmıştır. Parlatılan numuneler asit çözeltisinde dağlanmıştır. Metalografik incelemelerde Olympus marka Bx60 Model, alttan ve üstten aydınlatmalı mikroskop kullanılmıştır.

## III. SONUÇLAR

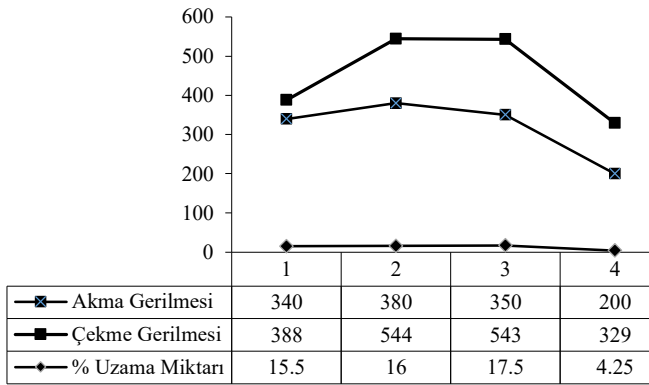
### A. Mekanik Özellik Test Sonuçları

Standardına göre test edilen numunelerin çekme test sonuçları Şekil 2 'de gösterilmiştir. Grafikte her bir değer test edilen 3 numunenin ortalamasıdır. Şekil 2 'de ki grafikten

görüldüğü gibi en yüksek akma dayanımı 380 MPa olarak rutil elektrotla ve SiC takviyesi yapılan örtülü elektrik ark kaynağı ile yapılan birleştirmede ölçülmüştür. Bütün kaynak yöntemleri ile elde edilen birleştirmelerin incelendiğinde SiC takviyesinin numunelerin akma dayanımı ve maksimum çekme dayanımı üzerinde etkisi olduğu görülmektedir.

SiC ilavesi olmadan yapılan birleştirmelerde oksigaz kaynaklı numunelerin akma dayanımı 90 MPa, rutil tip EAK birleştirme de 95 MPa, Selülozik elektrot ile yapılan EAK birleştirmeler de 70 MPa ve MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ise 160 MPa olarak belirtilmiştir [17].

SiC takviyesi yapılmış parçaların akma dayanımı oksigazla birleştirmede 340 MPa, rutil elektrot ile birleştirmede 380 MPa ve MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde ise 200 MPa bulunmuştur. Tozaltı kaynağı ile her iki taraftan kaynaklı numunelerin akma dayanımının 420-520 MPa arasında olduğu belirtilmiştir [18]. MAG kaynak yöntemi ile farklı kaynak pozisyonlarında kaynaklanmış X52 malzemesinden imal edilmiş çelik boruların çekme deneyi sonrasında en yüksek değerlerin yatay oluk pozisyonunda (457 MPa akma gerilmesi 552 MPa çekme gerilmesi) elde edilmiştir [19].



Şekil 2. Çekme deneyi sonuçları grafiği.

SiC takviyesi yapılarak kaynaklanan numunelerin ortalama % uzamaları oksigaz yöntemiyle birleştirilen numunede %15,5 iken rutil elektrot ile kaynatılan birleştirmenin %16, selülozik elektrot ile birleştirilenin % 17,5 ve MAG kaynağıyla birleştirilen numunenin ise % 4,25 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada yapılan yorulma test sonuçları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Yorulma deneyi sonuçları.

Numune	Cycle (Tekrar Sayısı)	Kopma Bölgesi
1	60000	Ana Malzeme
2	52000	Kaynak
3	27648	Kaynak
4	27740	ITAB

SiC takviyesi yapılmadan birleştirilen numunelerin yorulma sonuçları incelendiğinde en uzun tekrar sayısı MAG kaynağıyla yapılan birleştirmede görülmüştür [17]. En zayıf tekrar sayısı oksigazla kaynatılan birleştirmede ölçülmüştür [17]. MAG kaynağıyla birleştirilen numune hariç diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numuneler de kaynak bölgesinden kopmaların gerçekleştiği gözlemlenmiştir. MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunede ise kopmanın ITAB bölgesinden olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan ilave tel (elektrot) içerisindeki Mn ve karbon içeriğinin de kaynaklı numunelerin çekme ve yorulma deney değerlerine etkisi görülmektedir. Bu etki MAG yönteminde özellikle belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. Ayrıca elektrot özelliklerinin değişmesi ile mikroyapı incelemelerinde kaynak mikroyapılarında değişimler ortaya çıkmıştır.

SiC takviyesi yapılarak birleştirilen numunelerin yorulma sonuçları incelendiğinde en uzun tekrar sayısı 1 nolu numune yani Oksigaz kaynağıyla yapılan birleştirmede görülmüştür. Diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numuneler incelendiğinde en az tekrar sayısı 3 no' lu numune olan elektrik ark kaynağı selülozik elektrotla yapılan birleştirmede ölçülmüştür.

Birleştirmelerin sertlik dağılımı da araştırılmıştır. Her bir birleştirmenin sertlik deneyinin kıyaslayabilmek için ilk olarak kaynaklı ana malzeme ölçülmüş ve sonra diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilen numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Ölçülen sertlik değerleri aşağıda Tablo 5' de verilmiştir. MAG kaynak yöntemi ile yatay oluk pozisyonunda kaynaklanmış X52 çelik boruların mikrosertlik deneyi değeri 155-160 HV<sub>5</sub> olarak elde edilmiştir [18]. MAG kaynak yöntemi ile yapılan numunelerde Mn ve karbon oranı açısından perlit oranının artması ile sertlik değeri ana malzeme ve oksigaz yöntemine göre daha yüksek çıkmıştır.

Tablo 5. Sertlik testi sonuçları.

Numune No	Rockwell
Ana Malzeme	23,2
1	43,3
2	44,7
3	56,4
4	66,2

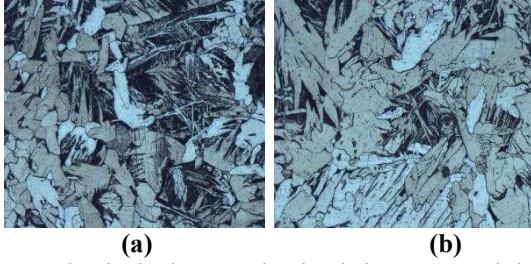
## B. Metalografik İnceleme Sonuçları

Mekanik özellik mikroyapı ilişkisini tayin edebilmek amacıyla numunelerin metalografik incelemesi yapılmış ana malzemenin mikroyapı resmi Şekil 3' de verilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikroyapı resimleri ITAB ve kaynak metalinden ayrı ayrı alınarak verilmiştir. Kaynaklı numunelerden

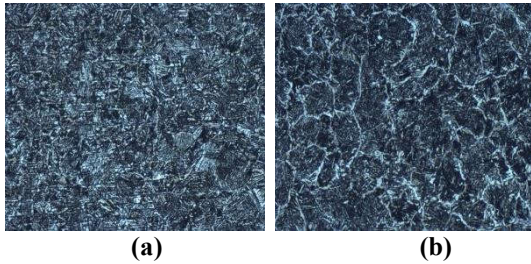
Mikroyapı incelemesinde numune içyapılarının ferrit ve perlitten oluştuğu görülmüştür. İçyapıların genelinde oluşan iğnesel yapıların asikülerferrit olduğu gözlemlenmiştir. Bu yapının oluşmasının nedeni numunelerin kaynak sonrasında hızlı katılaşmasıdır.

Kaynaklı numunelerden 1 no' lu SiC katkısı yapılarak Oksigaz ile kaynatılan numunenin Şekil 3 (a)'da ITAB ve Şekil 3 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. 2 no'lu SiC katkısı yapılarak rutil örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 4 (a)'da ITAB ve Şekil 4 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. SiC ilave sisteminde yapı daha da kabalaşmış ve taneler arası bölgedeki fazlar daha da koyulaşmıştır. SiC' nin

dekompozisyonu ile fazlardan ilave edilen C ve Si da kalıntı faz miktarını artırmış ve yavaş soğumanın etkisiyle hem taneler irileşmiş ve hem de taneler arası bölgedeki karbürler irileşmiştir.

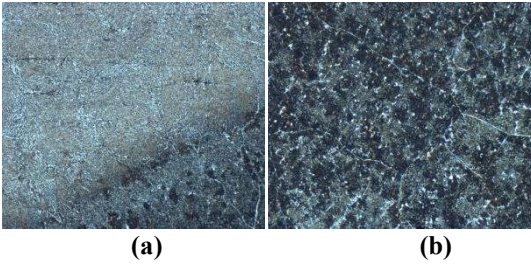


Şekil 3. SiC katkısı yapılarak Oksigaz yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin mikroyapısı.  
a) ITAB (100X) b)Kaynak metali mikroyapısı (100X).



Şekil 4.SiC katkılı rutil elektrot ile ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunenin mikroyapısı.  
a) ITAB (100X) b)Kaynak metali mikroyapısı (200X).

Kaynaklı numunelerden 3 no' lu SiC katkısı yapılarak selülozik örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 5 (a)'da ITAB ve Şekil 5 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. 4 no'lu SiC katkısı yapılarak MAG kaynak yöntemiyle kaynatılan numunenin Şekil 6 (a)'da ITAB ve Şekil 6 (b)'de kaynak metalinin mikroyapısı görülmektedir. MAG Kaynaklarında ortaya çıkan ilavesiz kaynak %95 üzerinde asiküler ferrit içeren oldukça arzu edilen bir yapıyı göstermektedir. Taneler oldukça iri ancak tane içi yapı çok ince asiküler ferritten oluşmaktadır.



Şekil 5.SiC katkılı selülozik elektrot ile ark kaynak yöntemiyle birleştirilen numunenin mikroyapısı.  
a) ITAB (100X) b) Kaynak metali mikroyapısı (100X).



Şekil 6.SiC katkılı MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen numunenin mikroyapısı.  
a) ITAB (100X) b)Kaynak metali mikroyapısı (200X).

Mikro yapı inceleme çalışmalarında, dağlama yapılmadan önce incelenen numunelerde (SiC) tanelerinin varlığı rahatlıkla görülmektedir. Dağlama yapıldıktan sonra malzeme içyapıları ferrit ve perlitlen oluştuğu görülmüştür. İçyapıların genelinde oluşan iğnesel yapılar asiküler ferrit olduğu görülmüştür. Bu yapının oluşmasının nedeni numunelerin hızlı soğumasıdır.

#### IV. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yürütülen bu çalışmada genel olarak elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Kaynak bölgesinin soğuma süresi oluşan içyapı değişiminde önemli bir faktör olduğu ve kaynak bölgesinin ani soğuması ile iğnesel ve yönlendirilmiş epitaksiyel içyapının oluştuğu görülmüştür.
- Yöntemlerde kullanılan ilave tel (elektrot) içeriğindeki karbon ve alaşım elementlerinin etkisi ile kaynak bölgesinde oluşan faz miktarları ve tane yapısı değişim sergilemiştir. Bu değişiklikler mekanik deney değerlerine de etki etmiştir.
- SiC bileşiği ilave edilerek kaynak işlemi yapılan numunelerde, SiC katılmayanlara göre [19] akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve % uzama değerlerinde yüksek miktarlarda artış olduğu gözlemlenmiştir.
- Kaynak bölgesine SiC katkısının numunelerde sertlik değerlerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.
- Piyasada yaygın olarak kullanılan oksigaz yönteminin yapılan deneyler sonucu çekme deneyi değerlerinin diğer kaynak yöntemlerine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Oksigaz ile yapılan kaynaklar daha düşük ısı girdisi ile yapılan ark kaynakları ile karşılaştırıldığında kullanılan elektrotların içerisinde bulunan oksitlerin ve alaşım elementlerinin de etkisiyle hem tane içi yapılar incelmış hem de daha ince taneler oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Oksigaz, Elektrik Ark ve MAG kaynakları kullanılarak elde edilen birleştirmelerin ortalama çekme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek akma dayanımı rutil tip EAK yöntemiyle birleştirilen parçada 380 MPa bulunurken, en düşük akma dayanımı ise 200 MPa ile MAG kaynağı ile birleştirilen parçada görülmüştür.
- Birleştirmelerin ortalama % uzamaları 4 no' lu parça da parçada %17,5 iken en düşük çekme dayanımı elde edilen MAG ile birleştirilmiş parçada ise % 4,25 olarak belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1]-M. E. Birselioğlu, T. Yelkenci, İ. O. Öz; Investigating the natural gass upply security: A new perspective, Energy Science, 8, (2015), 168-176.
- [2]-J. Capelle, I. Dmytrakh, Z. Azari, G. Pluinage, "Evaluation of electrochemical hydrogen absorption in welded pipe with steel API X52," International Journal of Hydrogen Energy, 38-33, ( 2013) 14356-14363.
- [3]- S. S. Abedi, A. Abdolmakale, N. Adibi, "Failure analysis of SCC and SRB induced cracking of a transmission oil product pipeline," Eng. Fail. Anal. 14 (2007) 250-261.
- [4]-J. H. Beak, Y.P Kim, C,M Kim, C,S. Seok, "Effects of pre-strain on the mechanical properties of API 5L X65 pipe," Mater.sei. Eng.A 527, (2010) 1473-1479.
- [5]-M. Javidi, S. Bahalaov Horeh, "Investigating the mechanism of stress corrosion cracking in near-nevtral and hinp Henvironments for API 5L X52 Steel," Corrosion Sciece, 80, (2014) 213-220.
- [6]-T.B. Kurttepli, "Boruların Kaynağı," Metal ve Kaynak, Makine ve Otomasyon Teknolojileri Uluslararası Aylık Dergisi, İstanbul, Mart – Nisan 1997,35-40.
- [7]-Yurum, editor. Hydrogen and future aspects. The Netherlands: Kluver Academic Publisler;1995.P.352.
- [8]-G. H. Mulder; G. Leaners, "Towards a Sustainable Hydrogen Pazhways and İnfrastructure" İnt; Hydrogen Energy 2007;32.1324-31.
- [9]- Natural Hy Prosect. [http:// www.naturalhy.net](http://www.naturalhy.net)
- [10]-T. Gladman, "Mikrolaşımli Çelik" Fiziksel Metalürji Malzemelerin Enstitüsü, Londra (1997) .
- [11]-J. Lancarter,"Handbook of Structural Welding," Mc Giaw-Hill,İnci,İngiltere,1993.
- [12]-J. – B. Jua, J.-S. Lee, J.-İ. Jong, W.-S. Kim, D. Kwon, "Determination:Of Welding Residual Stress Distribution in API X65 Pipesine Using a Madified Magnetic. Barkhavsén No ise Method" International Journal of Pressure Vesselsand Piping 80 (2003) 641-646.
- [13]- D.P. Fairchild, et al, "Welding Journal,"(1991), p. 321-329.
- [14]- W.S. Chang, R.W. Chang, "Microsture and Toughness in the HAZ of Ti-B Bearing Q venched and Tempered Steels." Proceedings of the Second International Conference on HSLA steels, Beijing, China (1990) p. 507-512.
- 15]- M. Cöl, M. Yılmaz, "X52 Tipi Mikrolaşımli Çeliklerde, Yüksek Frekans Kaynağı Sonrasında Uygulanan Isıl İşlemin Similasyon Yoluyla Karakterizasyonu," MMO Dergisi 43. Dergi.
- [16]- B. Oğuz, "Karbonlu ce alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, Bölüm 7, (1985).
- [17] R. Kara, F. Çolak, G. Yıldırım ve V. Hiçyılmaz, "Farklı Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilen Doğalgaz Borularının İncelenmesi", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, vol. 4, pp. 108-115, 2017.
- [18] B. Vargas-Arista, A. Balvantin, A. Baltazar, F. García-Vázquez: "On theuse of ultrasonic spectral analysis for the characterization of artificially degraded API 5L X52 steel pipeline welded joints," Materials Science and Engineering A, 550 (2012) 227–234.
- [19] B. Gülenç, İ. Candan ve N. Kahraman, "MIG-MAG Kaynağı ile Birleştirilen Boruların Tahribatlı Ve Tahribatsız Muayenesi," Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., (2006) Cilt 21, No 4, 631-637.