



# Plazma Kaynak İşleminin Farklı Tipteki Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Sıcaklık Altındaki Mekanik Davranışlarına Olan Etkisinin İncelenmesi

Furkan Emin Buğan<sup>1\*</sup>, Tufan Altıparmak<sup>2</sup>, Yasin Akgül<sup>3</sup>, Muhammet Mevlüt Karaca<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9951-8018), [furkan.bugan@tirsan.com](mailto:furkan.bugan@tirsan.com)

<sup>2</sup>Tırsan Trailer Inc, Sakarya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3292-004X), [tufan.altiparmak@tirsan.com](mailto:tufan.altiparmak@tirsan.com)

<sup>3</sup>Karabük Üniversite, Demir Çelik Enstütüsü, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-5643-5968), [yasinakgul@karabuk.edu.tr](mailto:yasinakgul@karabuk.edu.tr)

<sup>4</sup>Karabük Üniversite, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karabük, Turkey, (ORCID: 0000-0001-9644-3663), [mmevlutkaraca@karabuk.edu.tr](mailto:mmevlutkaraca@karabuk.edu.tr)

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1111538)

**ATIF/REFERENCE:** Buğan, F. E., Altıparmak, T., Akgül, Y. & Karaca, M. (2022). Plazma Kaynak İşleminin Farklı Tipteki Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Sıcaklık Altındaki Mekanik Davranışlarına Olan Etkisinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 111-115.

## Öz

Tankerler, Tehlikeli Maddelerin Karayolunda Taşınmasına ilişkin Avrupa Anlaşması'na (ADR) tabiidir. Tankerlerin üretiminde AISI 304, AISI 321 ve AISI 316Ti kalite östenitik paslanmaz çelikleri plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmektedir. Tankerler taşıdıkları ürünlere bağlı olarak farklı sıcaklıklar altında yüklere maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, kaynak bölgelerinin 80°C 150°C ve 250°C sıcaklıklar altında mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiştir. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerden çekme testi yapılarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Kaynaklı numunelerin kaynak ve ısı tesiri altında kalan bölgelerinin (ITAB) mikro yapısı elektron mikroskobu ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, kaynaklı numunelerin kaynak bölgeleri radyografik (röntgen) muayene yöntemi ile incelenmiştir. Radyografik muayene ve optik mikroskop görüntülemelerinde yapı içerisinde boşluk, çatlak veya süreksizliklere rastlanılmamıştır. Çekme testi sonuçlarında ise plazma kaynak işlemi üretilen paslanmaz çeliklerin kaynaklı sac hallerine göre daha düşük çekme, akma ve yüzde uzama değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Östenitik Paslanmaz Çelikler, Plazma kaynağı, Çekme testi, Mikroyapı

## Investigation of the Effect of Plasma Welding on the Mechanical Behavior of Different Types of Austenitic Stainless Steels under Temperature Abstract

### Abstract

Tankers are subject to the European Agreement on the Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR). In the production of tankers, AISI 304, AISI 321 and AISI 316Ti quality austenitic stainless steels are joined by plasma welding method. Tankers are exposed to loads under different temperatures depending on the products they carry. In this study, the mechanical properties of the weld zones under 80°C, 150°C and 250°C temperatures were determined by tensile test. Tensile test was performed on welded and unwelded samples and their mechanical properties were compared. The microstructure of the regions under the influence of welding and heat (ITAB) of the welded samples was evaluated by electron microscopy. In addition, the weld areas of the welded samples were examined by radiographic (x-ray) examination method. No gaps, cracks or discontinuities were found in the structure in radiographic examination and optical microscope imaging. In the tensile test results, it was determined that the plasma welding process produced stainless steels had lower tensile, yield and percent elongation values compared to the non-welded sheet forms.

**Keywords:** Austenitic Stainless Steels, Plasma welding, Tensile Testing, Microstructure

## 1. Giriş

Tankerler katı, sıvı ve gaz halde bulunan yüklerin taşımacılığı yapan kara aracıdır. Taşınan katı sıvı ve gazlar gibi akışkan yüklerin insan sağlığına ve çevreye zarar veren, yanıcı parlayıcı ve patlayıcı olması durumunda tehlikeli maddeler sınıfına girmektedir. Kara yollarında tehlikeli madde taşınması için ADR mevzuatında belirtilen koşullar göz önüne alınarak tanker tasarımları yapılmaktadır. Taşınacak ürün sınıfına göre tankerin imal edilmesi için ADR yönetmeliğinin önerdiği malzeme gurupları mevcuttur. Bunlardan bir tanesi ise östenik paslanmaz çeliklerdir [1].

Endüstride geniş kullanım alanına sahip olan paslanmaz çelikler, içerisinde en az %10,5 oranında (kütlece) krom (Cr) ve en çok %1,2 oranında karbon (C) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Bu çelikler, korozif ortamlara ve üstün mekanik özellikleri sayesinde, uçak, kimya, petro-kimya, gıda, ilaç endüstrisinde, nükleer enerji santrallerinde, takım ve paslanmaz eşya endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Paslanmaz çeliklerin kararlı yapıda olmasından kaynaklı olarak temas ettiği ürün ile kimyasal etkileşime girmemektedir. Paslanmaz çeliklerin ürün gamınının 200 fazla çeşidi olmasından dolayı çeşitli sıvıların taşınmasında kolaylık sağlar. Bu nedenle tanker taşımacılığını için önemlidir. Östenitik paslanmaz çelikler yüksek sıcaklık performansları ve korozyon dirençlerinin yüksek olması sayesinde mühendislik uygulamaları için önemli malzemelerdir. Atmosferik korozyon dirençleri ve oksitleyici asitlere karşı dayanımı çok yüksektir [2]-[4].

AISI 304, AISI 321 ve AISI 316Ti kalite paslanmaz çeliklerinin kimyasal bileşimleri Tablo 1'de gösterilmiş olup, molibden ve titanyum içerikleri farklılık göstermektedir. Buna

istinaden, Krom (Cr) ve molibdenin (Mo) olması güçlü çözümlere karşı korozyon direncini artırır [5]. Titanyum ise yorulma dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda yüksek korozyon direncini artırır [6]. Dolayısıyla, tehlikeli madde taşıyan tankerlerde krom, molibden, titanyum alaşımlı paslanmaz çelikler tercih edilmektedir.

Plazma ark kaynağı, metalleri gaz koruması altında Tungsten elektrodu ile iş parçası arasında ark oluşturarak birleştiren kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi ilave metal kullanarak ya da kullanmaksızın yapılabilir [7]. Plazma ark kaynağı ile östenitik paslanmaz çeliklerin ergime bölgesinde oluşan tane irileşmesi önlenir. Ayrıca yüksek kaynak hızı, kaynak bölgesinde derin nüfuziyet, düşük ısı girdisi ve hızlı soğuma oranına sahiptir [8]. Paslanmaz çelikler yaygın olarak kaynak işlemi uygulanarak kullanılmaktadırlar. Ancak, kaynak işlemi esnasında oluşan boşluklar, çatlaklar, ikincil çökeltiler, tane büyümesi gibi etkenlerden dolayı paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri düşüş göstermektedir [9]. Bu çalışmada, ADR'li tankerlerde kullanılan kaynaklı ve kaynaklı olmayan östenitik paslanmaz çeliklerin 80°C 150°C ve 250°C sıcaklıklarda altındaki mekanik davranışları incelenmiştir. Ayrıca, mekanik özelliklerdeki değişimlerin yorumlanabilmesi için mikroyapı incelemesi ve röntgen muayene testi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel Çalışmalar

Kaynak işleminde kullanılan AISI 304 (1.4301), AISI 321 (1.4541) ve AISI 316Ti (1.4571) kalite paslanmaz çelik sacların ve kaynak telinin kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Paslanmaz çeliklerin ve kaynak telinin kimyasal bileşimi

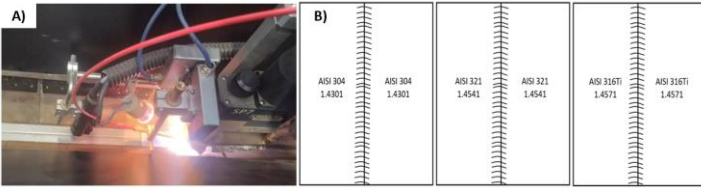
<i>Elementlerin Miktarı (%)</i>										
<i>Malzeme</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Ti</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
<i>AISI 316LSi</i>	<i>0,017</i>	<i>0,86</i>	<i>1,80</i>	<i>18,4</i>	<i>11,7</i>	<i>2,53</i>	-	-	<i>0,008</i>	<i>0,027</i>
<i>AISI 304</i>	<i>0,021</i>	<i>0,38</i>	<i>1,57</i>	<i>18,02</i>	<i>8,06</i>	-	-	<i>0,07</i>	<i>0,002</i>	<i>0,029</i>
<i>AISI 321</i>	<i>0,040</i>	<i>0,42</i>	<i>1,09</i>	<i>17,24</i>	<i>9,06</i>	-	<i>0,39</i>	<i>0,009</i>	<i>0,001</i>	<i>0,029</i>
<i>AISI 316Ti</i>	<i>0,026</i>	<i>0,44</i>	<i>1,19</i>	<i>16,73</i>	<i>10,6</i>	<i>2,04</i>	<i>0,334</i>	<i>0,010</i>	<i>0,003</i>	<i>0,034</i>

Çelikler, görsel Şekil 1(A)'da sunulan plazma yöntemiyle kaynakla birleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Kaynaklı birleştirme için kullanılan ana malzeme ebatları 450x100x3 mm olarak hazırlanmış olup, hazırlan bu numuneler 450x200x3 mm ebatlarında olacak şekilde 316LSi kaynak teli kullanılarak Şekil 1(B)'de gösterildiği üzere birleştirilmiştir. Kaynaklı numuneler için hadde yönüne 0°, kaynaklı numuneler için ise hadde yönüne 0° (yatay) ve 90° (dik) yönlerinden numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2).

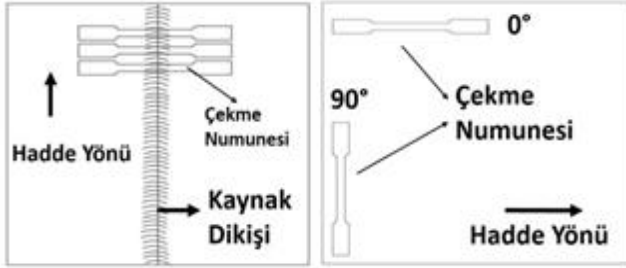
Tablo 2. Kaynak işlemindeki parametreler

<i>Parametre</i>	<i>Değer veya Malzeme</i>
<i>Kaynak tel malzemesi</i>	<i>316 L Si</i>
<i>Tel çapı (mm)</i>	<i>1</i>
<i>Akım (A)</i>	<i>150-175</i>
<i>Kaynak hızı(mm/dk)</i>	<i>385-400</i>

Şekil 1. A) Plazma kaynağı yapım aşamasında çekilen fotoğraf,  
B) Paslanmaz çeliklerin kaynağının şematik gösterimi.



Şekil 2. Çekme numunelerinin hazırlanmasının şematik gösterimi [10].



Çelik plakalarının plazma kaynak yöntemiyle kaynak yapılmasından sonra, kaynak bölgelerindeki boşluk, çatlak, cüruf kalıntıları vb. kaynak kusurlarının bulunma durumları Baker Hughes Eresco MF4 marka X ray muayene yöntemiyle kontrol edilmiştir. Mikroyapısal özellikleri ise Nikon MA200 marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Mikroyapı incelemelerinden önce zımparalama (120, 400, 600, 800, 1200, 2000 grit), parlatma (3 µm elmas süspansiyon) ve dağlama (%10 oksalik asit çözeltisi) metalografik işlemleri uygulanmıştır. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere TS EN ISO 6892-2 standartlarında belirtilen koşullara göre 80°C 150°C ve 250°C sıcaklıklar altında Zwick Roell Z-600 marka cihaz ile çekme testi uygulanmıştır. Her bir deney çekme testleri üç kez tekrarlanmış ve ortalaması hesaplanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 3' de AISI 304 (1.4301), AISI 321(1.4541) ve AISI 316Ti (1.4571) numunelerinin kaynak bölgesinin radyografik muayene sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kaynak bölgesinde herhangi bir boşluk, çatlak, cüruf kalıntıları vb. kaynak kusurları görülmemiş olup süreksizliklere rastlanmamıştır.

Şekil 3. AISI 304 (1.4301), AISI 321(1.4541) ve AISI 316Ti (1.4571) numuneleri için radyografik muayene görüntüleri



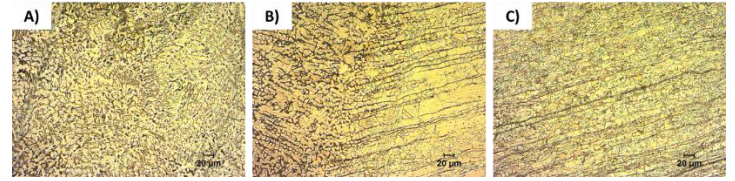
Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla, AISI 304, AISI 316Ti ve AISI 321 kaynaklı numuneler için mikroyapı görüntüleri (kaynak bölgesi, geçiş bölgesi, ana malzeme) sunulmuştur. Sac halinde temin edilen her üç numune için de ana malzeme bölgesinde hadde işleminde oluşan yönelimler görülmektedir. Bir diğer bulgu ise kaynak ve ana malzeme geçişleri oldukça belirgindir. Ana malzemelerin mikroyapı görüntülerinde taneli yapıların olduğu görülmektedir. Kaynak bölgesinde ise

literatürdeki önceki çalışmalara benzer bir şekilde dendritik yapılar oluşmuştur [9]. Radyografik muayene görüntüleri gibi mikroyapı görüntülerinde de yapı içerisinde boşluk, çatlak veya süreksizliklere rastlanılmamıştır.

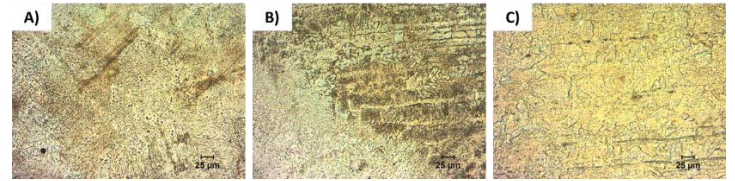
Şekil 4. AISI 304 kaynaklı numune için a) kaynak bölgesi, b) geçiş bölgesi, c) ana malzeme mikroyapı görüntüleri



Şekil 5. AISI 316Ti kaynaklı numune için a) kaynak bölgesi, b) geçiş bölgesi, c) ana malzeme mikroyapı görüntüleri



Şekil 6. AISI 321 için a) kaynak bölgesi, b) geçiş bölgesi, c) ana malzeme mikroyapı görüntüleri



Numunelerin çekme dayanımları, akma dayanımları ve yüzde uzama değerlerinin ortalama değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Tabloda görüldüğü üzere kaynaklı numunelerin (hadde yönüne yatay ve dik) aynı sıcaklık ve kompozisyondaki çekme testi sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Hadde yönünde tanelerin yönelmesiyle birlikte yatay yönde bir miktar dayanımların daha yüksek olduğu görülmektedir. Uzama değerleri ise bir miktar daha düşüktür. Hadde işlemindeki pekleşmeden dolayı bu sonuçların elde edildiği söylenebilmektedir. Kaynaklı numunelerde de kaynaklı numunelerde olduğu gibi çekme testi sıcaklığı arttıkça hem dayanım hem de yüzde uzama değerleri düşüş göstermiştir.

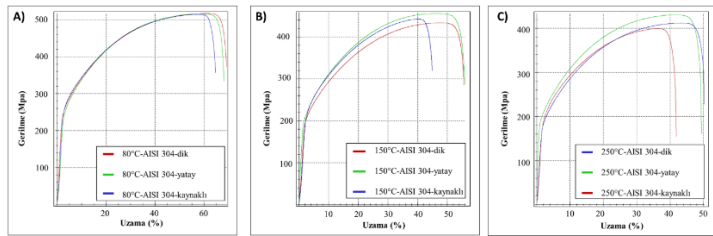
Tablo 3. Çekme Testi Sonuçları

Numune Bilgisi	AISI 321(1.4541)			AISI 316 Ti(1.4571)			AISI 304(1.4301)		
	Akma	Çekme	(%)	Akma	Çekme	(%)	Akma	Çekme	(%)
80°C dik	270,5	525	54,9	296	552	54,1	229	516,5	66,2
80°C yatay	268	526	54,1	302,5	565	50,3	251,5	516	63

80°C kaynaklı	261,5	521	49,5	282	551,5	50,8	236	513,5	62,8
150°C dik	257	472,5	48,05	292,5	517,5	46,9	181	448	53,15
150°C yatay	257,5	487	47,15	284	527,5	45,25	213	459	52,75
150°C kaynaklı	244,5	454	34,45	270	467	26,25	210	462,5	44,2
250°C dik	228,5	437	44,1	224,3	478,3	44,0	172,5	418	48,4
250°C yatay	227	442,5	44,1	200	433	37,2	171	428,5	48,8
250°C kaynaklı	219	421,5	33,05	229	430,5	24,15	179,5	400	37,7

Çekme testi sonuçlarında kimyasal kompozisyon karşılaştırıldığında ise AISI 316 Ti çeliğinin en yüksek dayanım değerlerini verdiği görülürken, en düşük dayanım değerleri ise AISI 304 çeliğinde görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise titanyum ve molibden içeriğindeki farklılık düşünülmektedir. Sıcaklık altındaki çekme testleri, kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelere (hadde yönünde yatay ve hadde yönüne dik) uygulanmıştır. Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9'da sırasıyla AISI 304, AISI 316Ti ve AISI 321 kaynaklı numuneler için çekme testi sonuçları gösterilmiştir.

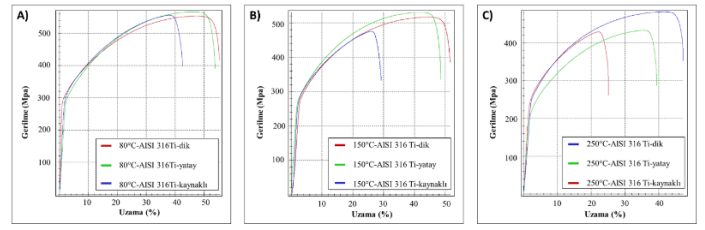
Şekil 7. AISI 304 kaynaklı numune için A) 80 °C, B) 150°C, C) 250°C sıcaklık altında yapılan çekme testi sonuçları



Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numune sonuçları karşılaştırıldığında, kaynaklı numunelerin kaynaklı olmayan numunelere göre daha düşük çekme dayanımı ve yüzde uzama değerleri gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebi olarak ise mikroyapı ve röntgen muayene sonuçlarında belirgin çatlak veya boşluklar görülmemesine rağmen, kaynak bölgesindeki tane yapısındaki değişikliği düşünülmektedir.

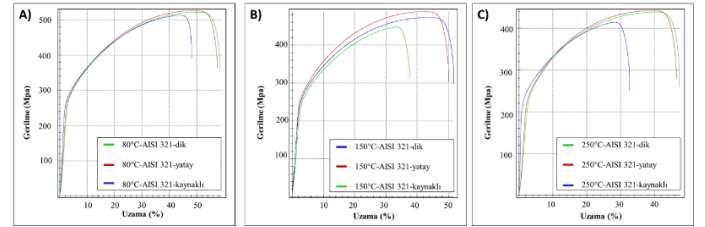
Şekil 8. AISI 316Ti kaynaklı numune için A) 80 °C, B) 150°C, C) 250°C sıcaklık altında yapılan çekme testi sonuçları

250°C sıcaklık altında yapılan çekme testi sonuçları  
e-ISSN: 2148-2683



AISI 304 çeliğinde 80 °C'de yapılan test sonuçlarında çekme dayanımı ve yüzde uzama değerleri birbirine yakın iken, sıcaklık artışı ile çekme dayanımına kıyasla yüzde uzama değerinde belirgin düşüşler tespit edilmiştir. AISI 316Ti ve AISI 321 çeliğinde ise yüzde uzamalarda belirgin düşüş tüm sıcaklık değerlerinde görülmektedir. Kaynaklı numunelerde yüzde uzama değerleri belirgin bir şekilde düşük iken çekme dayanımındaki düşüş ise dikkat çekici değildir.

Şekil 9. AISI 321 kaynaklı numune için A) 80 °C, B) 150°C, C) 250°C sıcaklık altında yapılan çekme testi sonuçları



AISI 321 östenitik paslanmaz çeliğinde, 150 °C'deki kaynaklı numunenin yüzde değeri 80 °C'deki yüzde uzama değerine göre yaklaşık %30 daha düşüktür. 150 °C'den 250°C'ye çıkıldığında ise yüzde uzamanın yaklaşık %4 düştüğü görülmüştür. Benzer yaklaşım AISI 316Ti ve AISI304 çeliklerine uygulandığında düşüş değerleri sırasıyla yaklaşık olarak %48, %8 ve %30, %15 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, sıcaklık değerindeki ilk artışın (80 °C'den 150 °C'ya çıkılması) ikinci artışa göre (150 °C'den 250 °C'ye) yüzde uzama değerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, AISI 304, AISI 321 ve AISI 316Ti kalite östenitik paslanmaz çelikleri plazma kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak bölgelerinin sıcaklık altındaki mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre hem radyografik muayene hem de optik mikroskop görüntülemelerinde kaynak işleminden kaynaklı mikroyapı içerisinde boşluk, çatlak veya süreksizliklere rastlanılmamıştır. Ancak, kaynaklı numunelerin kaynaklı olmayan numunelere göre tüm sıcaklık değerleri için daha düşük çekme ve akma dayanımı gösterdiği tüm çelik bileşenleri için görülmüştür. Yine kaynaklı numunelerin kaynaklı olmayan numunelere göre yüzde uzamalarındaki düşüş oldukça belirgindir. Dolayısıyla, plazma kaynağı ile paslanmaz çelik tanker üretiminde bu sonuçlar dikkate alınmalıdır.

#### 5. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada yapılan işlemler sırasında verdiği destekten dolayı Tırsan Treyler A.Ş. şirketine, Karabük Üniversitesi'ne ve Karabük Demir Çelik Enstitüsüne teşekkür eder.

## **Kaynakça**

- [1] M. ÖZSÖNMEZ, “TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞI VE ADR”, *Gümrük Ve Ticaret Derg.*, sy 5, ss. 142-146.
- [2] N. A. ÖZBEK, A. ÇİÇEK, M. GÜLESİN, ve O. ÖZBEK, “AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, *Politek. Derg.*, c. 20, sy 1, ss. 43-49, 2017.
- [3] C. Maranhão ve J. P. Davim, “Finite element modelling of machining of AISI 316 steel: numerical simulation and experimental validation”, *Simul. Model. Pract. Theory*, c. 18, sy 2, ss. 139-156, 2010.
- [4] B. Aronsson, *On the origins and early growth of stainless steel: A survey with emphasis on the development in Sweden*. Outokumpu, 2010.
- [5] N. Y. ÇOLAK ve H. TURHAN, “TIG Yöntemi ile Östenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+ FeMo Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, c. 7, sy 1, ss. 22-31, 2018.
- [6] M. SUBAŞI ve Ç. KARATAŞ, “Titanyum ve titanyum alaşımlarından yapılan implantlar üzerine inceleme”, *Politek. Derg.*, c. 15, sy 2, ss. 87-103, 2012.
- [7] R. Dixon, “Introduction to solid-state welding”, *ASM Int. ASM Handb.*, c. 6, ss. 141-142, 1993.
- [8] K. Ceyhan ve C. Topal, “Plazma Ark Kaynağıyla Birleştirilen AISI 410S Ferritik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi”, *Avrupa Bilim Ve Teknol. Derg.*, sy 19, ss. 201-212, 2020.
- [9] J. Yan, M. Gao, ve X. Zeng, “Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding”, *Opt. Lasers Eng.*, c. 48, sy 4, ss. 512-517, 2010.
- [10] F. E. Buğan, E. E. Göktepe, T. ALTIPARMAK, ve D. Erhan, “Comparison of Mechanical Properties of Welded and Non-Welded Steels Used in Tankers with ADR”, *Avrupa Bilim Ve Teknol. Derg.*, sy 34, ss. 531-536, 2022.