

# TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİĞİN ÇEKME DAYANIMINA ÇİNKO STEARAT MİKTARININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Akif ERDEN,<sup>1</sup> Muhammed ELİTAŞI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Müh. ABD, Karabük/Türkiye, makiferden@karabuk.edu.tr  
<sup>2</sup> Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bilecik/ Türkiye, muhammed.elitas@bilecik.edu.tr

(Alınış: 22 Haziran 2022, Kabul: 28 Haziran 2022, Online Yayınlanma: 30 Temmuz 2022)

## Abstract—

Powder metallurgy (TM) involves weighing powders of different sizes, shapes and densities, mixing them homogeneously, pressing them with different pressing techniques, sintering them at different sinter temperatures and environments and, if necessary, secondary processes such as drilling, surface hardening, screwing, etc. It is a detached production method in which parts are produced. Although it is not a new known process in general, it has only been used as an industrial process at the beginning of the 20th century and until today, the TM method has been widely used in different fields. Materials such as tool steels, stainless steels, super alloys and composite materials with different combinations can be produced by the TM method. Steels, on the other hand, are iron-carbon alloys that have an indispensable place in the material groups used in engineering applications.

In this study, the effect of zinc stearate addition on the tensile strength properties of unalloyed steel produced by powder metallurgy (TM) was investigated. The powders, in which 0.25-0.5-1 and 2 zinc stearates by weight percent are added to the determined chemical composition and mixed for 2 hours, were formed into blocks by being compressed in one direction at 700 MPa pressing pressure in the form of tensile specimens in accordance with ASTM (E 8M) powder metal material standards. . The pressed samples were subjected to sintering for 1 hour at 1200°C in an argon atmosphere. The results showed that the yield strength (YS), tensile strength (UTS) and % elongation was negatively affected by the increase of zinc stearate addition.

Keywords – Powder metallurgy; Powder metallurgy steels, addition of zinc stearate; Mechanical properties.

## Özet—

Toz metalürjisi (TM) değişik boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların tartımı, homojen karıştırılması, farklı presleme teknikleri ile preslenmesi, farklı sinter sıcaklıklarında ve ortamlarda sinterlenmesi ve gerekli görülmesi halinde delik delme, yüzey sertleştirme, vida açma gibi ikincil işlemleri içeren hassas, küçük ve son şekle yakın parçaların üretiminin yapıldığı müstakil üretim yöntemidir. Genel olarak yeni bilinen bir işlem olmamasına rağmen ancak 20. yüzyılın başlarında endüstriyel bir işlem olarak kullanılmaya başlanmıştır ve günümüze kadar TM yöntemi değişik alanlarda genişleyerek kullanılmaktadır. Takım çelikleri, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar ve farklı kombinasyonlara sahip kompozit malzemeler gibi malzemelerin üretimi TM yöntemiyle yapılabilmektedir. Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde vazgeçilmez bir yere sahip olan demir karbon alaşımlarıdır.

Bu çalışmada, toz metalürjisi (TM) ile üretilen alaşımsız çeliğe çinko stearat ilavesinin çekme dayanımı özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Belirlenen kimyasal kompozisyona yüzde ağırlık olarak 0,25-0,5-1 ve 2 çinko stearat ilave edilen ve 2 saat karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklinde hazırlanan kalıpta 700 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Presleme işlemi gerçekleştirilen numuneler argon atmosferinde 1200°C’de 1 saat sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçlar çinko stearat ilavesinin artması ile akma dayanımını (YS), çekme dayanımını (UTS) ve % uzamasını olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler - Toz metalürjisi; Toz metalürjisi çelikleri, çinko stearat ilavesi; Mekanik özellikler.

## I. GİRİŞ

Kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşene sahiptir ve genel olarak metal matrisli kompozit, seramik matrisli kompozit, polimer matrisli kompozit olarak sınıflandırılır [1]. Takviye malzemesinin bir metal matris içine dağıtılmasıyla bir metal matrisli kompozit oluşturulmakta ve oluşturulan kompozitler üstün özellikler sergilemektedir. Çelikler mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde vazgeçilmez bir yere sahip olan demir karbon alaşımlarıdır. Alaşimsız çelikler farklı üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir. Bu üretim yöntemlerinden biri olan toz metalürjisi (TM) yönteminin avantajı, işleme sıcaklığının erime noktasından daha düşük olması ve ürünü makul düşük maliyetle üretme kabiliyetidir [2].

TM, belirli bir şekil ve boyutta şekillendirilen ve daha sonra yüksek sıcaklıkta sinterlenen hammadde olarak tozları (metalik ve veya seramik) kullanan bir metal şekillendirme teknolojisidir [3,4]. TM yeni bilinen bir proses olmamasına rağmen, sadece 20. yüzyılın başlarında endüstriyel bir proses olarak kullanılmaya başlandı. Dünyanın gelişmiş ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve ürünleri endüstride geniş uygulama alanları bulmaktadır. TM metodu kullanılarak, üretimi ve işleme diğer metotlar ile zor olan bazı parçalar amaçlanan bileşimlerde kolaylıkla üretilebilmektedir [5].

TM, döküm, talaşlı imalat, dövme gibi diğer geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında karmaşık tasarımlar sunan, enerji tasarrufu sağlayan, temiz teknoloji sürecidir. Toz metalürjisi, otomotiv parçalarının seri üretiminde hayati bir rol oynamaktadır [2]. Toz metalürjisi prosesi, hammadde olarak saf metal, karışımlar veya alaşımlar olabilen tozu gerektirir. Bu tozlar atomizasyon, kimyasal indirgeme, elektroliz vb. ile üretilir. Toz metalürjisi işlemindeki üç ana adım, öğütme, sıkıştırma ve sinterlemedir. Çeşitli ebat ve şekillerde öğütme, takviye ve matris tozları ile homojen dağılım sağlanacak ve gözeneklilik azaltılacaktır. Sürtünmeyi azaltmak için karıştırma sırasında çinko, demir ve baryum stearatları gibi kuru yağlayıcılar eklenir. Sıkıştırma işlemi, tozları zımba ve kalıp düzenlemesi ile ham kompaktlar halinde birleştirmek için kullanılır. En yaygın olarak kullanılan sıkıştırma işlemleri soğuk izostatik ve sıcak izostatik preslemedir [6,7]. Sinterleme, ham kompaktların bir fırında ısıtıldığı bir katı faz bağlama işlemidir ve katı hal sinterleme, sıvı faz sinterleme, aktif sinterleme, mikrodalga sinterleme, kıvılcım plazma sinterleme sinterleme işlemlerinden bazılarıdır [8-10].

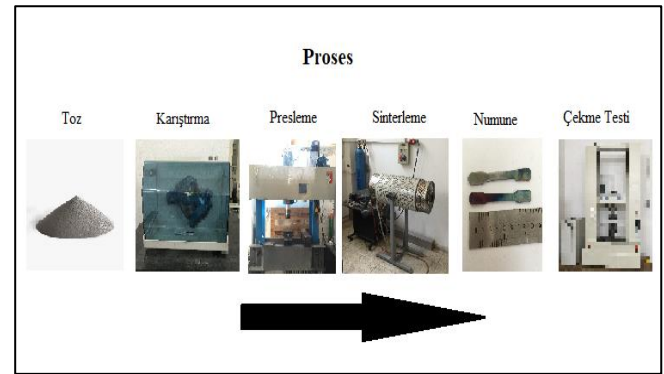
Gerek matris içerisine katılan gerekse kalıp yüzeyine sürülen çinko stearat ise metal sabunudur ve yaygın olarak kullanılan yağlayıcılardan biridir. Bir toza yağlayıcı eklenmesi, toz akışı, görünür yoğunluk ve sıkıştırılabilirlik dahil olmak üzere birçok mühendislik özelliğini etkiler. Yağlayıcılar, sinterleme sıcaklığına kadar ısıtma sırasında uçucu hale gelir ve ayrışır. Metalik malzemelerin kalıpta preslenmesi, presleme sonrası kalıptan çıkarılması ve TM parça üretiminde kalıp maliyetinin yüksek olması nedeniyle

parça çıkarılması sırasında kalıp aşınması minimum olması istenmektedir. Yağlayıcılar gerek kalıp yüzeyine gerekse tozların karıştırılması sırasında kompozisyonların içerisine ilave edilerek toz akışı, sıkıştırılabilirlik ve kalıp aşınmasını minimum seviyede tutmak gibi amaçlarla kullanılır.

Bu çalışmada, TM ile üretilen alaşimsız çeliğe çinko stearat ilavesinin akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak alaşimsız çelik bileşimi içerisine Tablo 1'de belirli oranlarda ilave edilen çinko stearat, TM numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı oranlarda çinko stearat ilave edilen alaşimsız çelik numunelere çekme testi yapılarak mekanik özellikleri incelenmiştir. Numune üretiminin aşamaları şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Numunelerin üretim aşamaları.

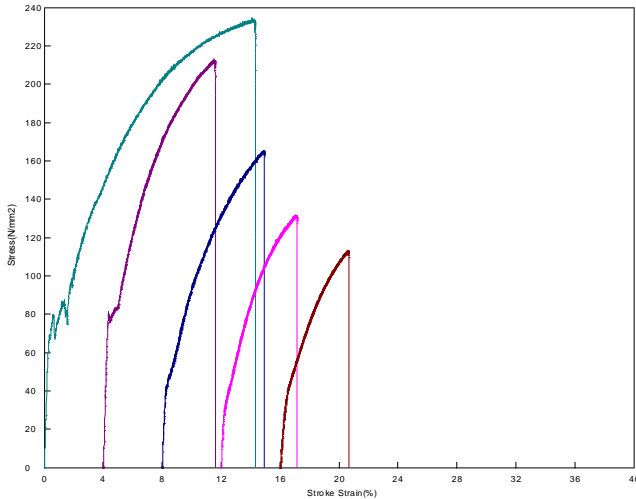
Tablo 1. Üretilen numunelerin kimyasal bileşimi

| Kompozisyon | Çinko Stearat (%ağırlık) | Grafit (%ağırlık) | Demir (%ağırlık) |
|-------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| Alaşım 1    | -                        | 0,55              | Geri kalan       |
| Alaşım 2    | 0,25                     | 0,55              | Geri kalan       |
| Alaşım 3    | 0,5                      | 0,55              | Geri kalan       |
| Alaşım 4    | 1                        | 0,55              | Geri kalan       |
| Alaşım 5    | 2                        | 0,55              | Geri kalan       |

Tozlar Tablo 1'de verilen miktarlara göre RADWAG as 220/c/2 marka hassas teraziyle tartımları gerçekleştirilmiştir. Tartımı yapılan karışımları üç eksenli TURBULA marka toz karıştırıcı cihaz ile bir saat boyunca karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar ASTM 8M standartlarında üretilmiş olan kalıpta 700 MPa basınç altında tek yönlü olarak preslenmiştir. Preslenen numuneler 1200°C'de 1 saat argon atmosferinde sinterlenerek numunelerin üretimi tamamlanmıştır. Sinterlenmiş olan numunelerin çekme testi uygulanarak çekme grafikleri, çekme dayanımları, akma dayanımları ve %uzama değerleri tespit edilmiştir. Yoğunluk ölçümü RADWAG marka hassas terazinin yoğunluk kitinde Arşiment prensibine göre hesaplanmıştır.

### III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Numunelerin çekme eğrileri ve sonuçları şekil 2 ve Tablo 2’de verilmiştir. Şekil 2 ve tablo 2’de görüldüğü üzere çinko streat ilavesinin artması ile akma dayanımını (YS), çekme dayanımını (UTS) ve % uzamasını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Çinko stearat ilavesi ile % yoğunluk ve gözeneklilik artmıştır ve bu da mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemiştir. Örneğin %0,25 çinko stearat ilaveli numune ile %1 çinko stearat ilaveli numune karşılaştırıldığında %0,25 çinko stearat ilaveli numunenin çekme dayanımı ve % uzama sırasıyla 214Mpa ve %7,5 iken %1 çinko stearat ilaveli numunenin çekme dayanımı, % uzama değeri 133Mpa ve 4,61 olduğu görülmektedir. Literatürde benzer sonuçlar elde edilen çalışmalar mevcuttur. Nitekim Şahin ve Özçatalbaş yaptıkları çalışmada Alüminyum matris içerisine %1,5 çinko stearat ilave etmiş ve çinko stearat ilave edilen malzemelerin sertlik dayanımlarının daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [11].

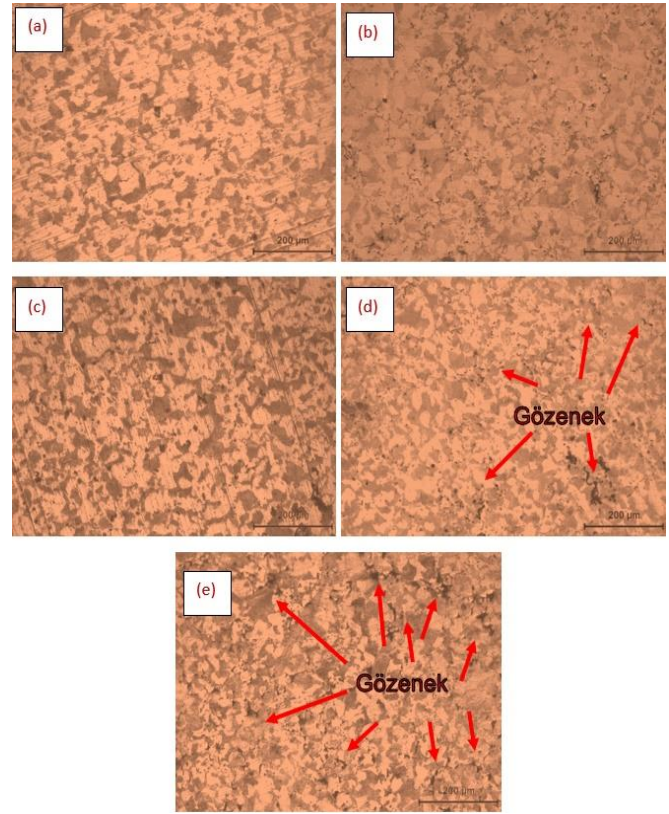


Şekil 2. % ağırlık olarak farklı miktarda çinko stearat ilave edilen alaşımsız Çelik numunelerin çekme eğrileri (Sırasıyla %0, %0,25, %0,5, %1 ve %2 çinko streat ilaveli çelik numuneler)

Tablo 2. Çekme sonuçları

| Kompozisyon | Akma Dayanımı (MPa) | Çekme Dayanımı (MPa) | Uzama (%) |
|-------------|---------------------|----------------------|-----------|
| Alaşım 1    | 88                  | 235                  | 14,05     |
| Alaşım 2    | 78                  | 214                  | 7,50      |
| Alaşım 3    | 54                  | 166                  | 6,87      |
| Alaşım 4    | 41                  | 133                  | 5,05      |

|          |    |     |      |
|----------|----|-----|------|
| Alaşım 5 | 33 | 113 | 4,61 |
|----------|----|-----|------|



Şekil 3. % ağırlık olarak farklı miktarda çinko stearat ilave edilen alaşımsız Çelik numunelerin mikroyapı görüntüleri (a-%0çs, b-%0,25çs, c-%0,5çs, d-%1çs, e-%2çs).

Tablo 3. Yoğunluk ölçüm sonuçları.

| Kompozisyon | DeneySEL Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Teorik Yoğunluk (g / cm <sup>3</sup> ) | Yoğunluk (%) | Gözenek (%) |
|-------------|--|--|--------------|-------------|
| Alaşım 1    | 7,50                                   | 7,8292                                 | 95,80        | 4,20        |
| Alaşım 2    | 7,27                                   | 7,8292                                 | 92,86        | 7,14        |
| Alaşım 3    | 7,03                                   | 7,8292                                 | 89,79        | 10,21       |
| Alaşım 4    | 6,88                                   | 7,8292                                 | 87,88        | 12,12       |
| Alaşım 5    | 6,54                                   | 7,8292                                 | 83,53        | 16,47       |

Mikroyapılar incelendiğinde çinko stearat içermeyen alaşımsız çelik malzemenin içerisinde yer yer küresel gözenekler oluşurken, çinko stearat içeren malzemelerde ise daha çok kalıntı çinko stearat sebebiyle presleme doğrultusunda paralel gözenek kanalları meydana gelmiştir. Özellikle %1 ve %2 çinko stearat içeren alaşımsız çeliklerde belirgin bir şekilde görülmektedir. Nitekim Şahin ve Özçatalbaş yaptıkları çalışmada ön karışımli Alumix123 tozuna %1,5 çinko stearat yağlayıcıyı ilave etmiş ve 3 eksenli karıştırma cihazında 40 dakika karıştırmıştır.

Sonrasında 100, 300 ve 500 MPa basınçlarda ön sıkıştırma gerçekleştirmişlerdir. Daha sonrasında 300-400°C aralığında kalıp sıcaklığı 50 °C artırılıp 15 dakika ile 60 dakika arasında bekletilerek çinko stearat yağlayıcısını giderme işlemi yapılmıştır. Sonrasında 540°C'de derecesinde sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde çinko stearat içermeyen malzemelerde oluşan gözeneklerin daha küresel olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Çinko stearat ilavesi ile presleme doğrultusunda paralel gözenek kanalları meydana geldiğini gözlemlenmiştir. Çinko stearat içeren ve içermeyen Alüminyum matrisli parçalarda çinko stearat ilavesinin artmasıyla sertlik değerlerinde düşüş gözlenirken gözenekliliğin arttığı gözlemlenmiştir [11]. Benzer sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Nitekim gözeneklilik miktarı arttıkça malzemenin mekanik özelliklerinin azaldığı gözlenen çalışmalar mevcuttur [12-33].

## V. SONUÇ

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle alaşımız çelik içerisine farklı oranlarda % ağırlık olarak eklenmiş olan (%0-0,25-0,5-1 ve %2) çinko stearat ilavesinin akma dayanımı, çekme dayanımı, % uzama, yoğunluk ve gözeneklilik üzerine etkisi incelenmiştir. Toz metal 316L ve çinko stearatı sırasıyla karıştırma, presleme ve argon atmosferinde 1200 °C'de 1 saat sinterlenerek üretimi tamamlanmıştır. Bu çalışmadan çıkarılacak sonuçlar şöyledir.

- TM yöntemi kullanılarak farklı oranlarda çinko stearat ilave edilen alaşımız çelik numuneler başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- Çekme testleri sonucunda genel olarak artan çinko stearat ilavesinin numunelerdeki çekme ve akma dayanımlarını düşürdüğü gözlemlenmiştir.
- Yoğunluk ölçümlerinde çinko stearat miktarının artmasıyla % gözenek oranının arttığı yapılan işlemler sonucunda ortaya konulmuştur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri KBÜBAP-22-DS-061, KBUBAP-21-YL-085, KBUBAP-21-YL-118, KBUBAP-22-YL-074 ve FYL-2020-2397 numarası altında gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bu çalışmayı destekleyen Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinatörlüğü teşekkürlerimizi sunarız.

## REFERANSLAR

- [1] H Cug, H Demirtas, MA Erden, Y Akgul, ME Turan, O Zengin, "Influence of nano-WC addition on wear performances of Cu-Ni matrix nanocomposites", *Acta Physica Polonica A*, vol. 135, no. 5, pp. 892-894, 2019.
- [2] G. T. Sudha, B. Stalin, M. Ravichandran, M. Balasubramanian, "Mechanical properties, characterization and wear behavior of powder metallurgy", *composites-a review. Materials Today: Proceedings*, vol. 22, pp. 2582-1596, 2020.
- [3] D. Taştēmür, S.Gündüz, M. A. Erden, "Investigation of Thermomechanical Processing of Nb Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy", *Gazi University Journal of Science*, vol. 35, no. 2, pp. 606-616, 2022.
- [4] J. M. Torralba Improvement of mechanical and physical properties in powder metallurgy. 2014.
- [5] M. A. Erden, S. Barlak, B. Adalı, Ö. Çelikkıran, "Toz Metalürjisi İle Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavesinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi". *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 629-636, 2018.
- [6] A. J. Knowles, X. Jiang, M.Galano, F. "Audebert Microstructure and mechanical properties of 6061 Al alloy based composites with SiC nanoparticles". *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 615, pp. 401-405, 2014.
- [7] A. S. Pathak, Impact Of Hot Isostatic Pressing On Aluminum Casting Alloy, 357. 2015.
- [8] M. Omori, "Sintering, consolidation, reaction and crystal growth by the spark plasma system (SPS)". *Materials Science and Engineering: A*, vol. 287, no. 2, pp. 183-188, 2000.
- [9] E. A. Olevsky, S. Kandukuri, L.Froyen, "Consolidation enhancement in spark-plasma sintering: Impact of high heating rates". *Journal of Applied Physics*, vol. 102, no. 11, pp. 114913, 2007.
- [10] H. Kwon, M.Estili, K.Takagi, T. Miyazaki, A. Kawasaki, "Combination of hot extrusion and spark plasma sintering for producing carbon nanotube reinforced aluminum matrix composites". *Carbon*, 2009;47(3):570-7.
- [11] T. Şahin, Y. Özçatalbaş, "Çinko stearat ve ön sıkıştırma basıncının Alumix123 tozun sinterlenmesine etkisi", *Politeknik Dergisi*, vol. 24, no. 2, pp. 703-710, 2021.
- [12] M. A. Erden, "Effect of pressing pressure on microstructure and mechanical properties of non-alloyed steels produced by powder metallurgy method". *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, vol. 6, no. 1, pp. 257-264, 2017.
- [13] M. A. Erden, M. T. Taşçı. "The Effect of Ni on the Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Microalloyed Steels Produced by Powder Metallurgy". *Politeknik Dergisi*, pp.611-616, 2016.
- [14] B. Güney, Y. Dilay, "Determination of abrasion resistance of Fe28Cr5C1Mn coating applied to 30MnB5 boron alloy cultivator blades via electric arc spray", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2022.
- [15] B. Güney, "Microstructure analysis of welding fume of low and medium carbon steels", *Revista de Metalurgia*, 2021.
- [16] B. Kurt, L. Özdoğan, B. Güney, Ö. S. Bölükbaşı, A. Günen, "Characterization and wear behavior of TiBC coatings formed by thermo-reactive diffusion technique on AISI D6 steel", *Surface and Coatings Technology*, 2020.
- [17] D. Özdemirler, S.Gündüz, Erden, M. A. (2017). Influence of NbC addition on the sintering behaviour of medium carbon PM steels. *Metals*, 7(4), 121.
- [18] A. M. Guma, S. Gündüz, M. A. Erden, D. Taştēmür, "Dynamic Strain Aging Behaviour in AISI 316L Austenitic Stainless Steel under As-Received and As-Welded Conditions". *Metals*, vol. 7, no. 9, pp. 362, 2017.
- [19] A. N. Tanrıverdi, Y. Akgül, M. A. Erden (2022). "A novel approach on production of carbon steels using graphene via powder metallurgy", *Canadian Metallurgical Quarterly*, vol. 61, no. 1, pp 85-93, 2022.
- [20] M. A. Erden, M. E. Korkmaz, N. Yaşar, B. Ayvaci, R. K N. Sworna, M. Mia, (2021). Investigation of Microstructure, Mechanical and Machinability Properties of Mo Added Steel Produced by Powder Metallurgy Method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114, 2811-2827.
- [21] H. Karabulut, M.A. Erden, K. Karacif, S. Gündüz, "Investigation of the effects of SiC reinforcement ratio in iron-based composite materials on corrosion properties". *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 122, no. 6, pp. 317-322, 2022.
- [22] Mehmet Akif Erden, Fatih Aydın, "Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy". *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 28, no. 3, pp. 430-439, 2021.
- [23] M.A.M. Ahssi, M.A. Erden, M. Acarer, H. Çuğ, "The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of

- Niobium–Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels”. *Materials*, vol. 13, pp. 4021, 2020.
- [24] S. Gündüz, M. A. Erden, H. Karabulut, and M. Türkmen, “Effect of the addition of niobium and aluminium on the microstructures and mechanical properties of micro-alloyed PM steels,” *Materiali in tehnologije*, vol. 50, no. 5, pp. 641–648, Oct. 2016, doi: 10.17222/mit.2015.248.
- [25] M. Türkmen, H. Karabulut, M. A. Erden, S. Gündüz “Effect of TiN addition on the microstructure and mechanical properties of pm steels”. *e-Journal of New World Sciences Academy*, vol. 12, no. 4, pp. 178-184, 2017.
- [26] S. Gündüz, H. Karabulut, M. A. Erden, M. Türkmen. “Microstructural Effects on Fatigue Behaviour of a Forged Medium Carbon Microalloyed Steel”. *Materials Testing*, vol. 55, no. 11-12, pp. 865-870, 2013.
- [27], M. Türkmen, M. A. Erden, H. Karabulut, S. Gündüz. “The Effects of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Nb V Microalloyed Powder Metallurgy Steels”, *Acta Physica Polonica A*, vol. 135, no. 4, pp. 834–36, 2019.
- [28] M. A. Erden, B. Ayvaci. “The Effect on Mechanical Properties of Pressing Technique in PM Steels”. *Acta Physica Polonica A*, vol. 135, no. 5, pp. 1078–1080, 2019.
- [29] H. Şimşir, Y. Akgül, M. A. Erden. “Hydrothermal Carbon Effect on Iron Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy.” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 242, pp. 122557, February 2020.
- [30] M. A. Erden, S. Gündüz, H. Karabulut, M. Türkmen. “Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method”. *Mechanics*, vol. 23, no. 4, pp. 574-580, 2017.
- [31] M. A. Erden, A. M. Erer, Ç. Odabaşı, S. Gündüz. “The Investigation Of The Effect Of Cu Addition On The Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy”. *Science of Sintering*, vol. 54, no. 2, pp. 153-167, 2022.
- [32] M. A. Erden, M. Furkan Taslıyan, Yasin Akgul. “Effect of TiC, TiN, and TiCN on Microstructural, Mechanical and Tribological Properties of PM Steels”, *Science of Sintering*, vol. 53, no. 4, pp. 497-508, 2021.
- [33] H. Demirtaş, M.A. Erden “Cr ve Ni İlavesinin Sade Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no.3, pp. 1217-1223, 2019.