

Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Farklı Oranlarda Nikel İçeren Mo Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Mehmet Akif Erden¹  Ramazan ÖZMEN² 

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Müh. ABD, Karabük/Türkiye

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Müh. ABD, Karabük/Türkiye

Başvuru: 12/12/2022

Kabul: 15/12/2022

Çevrimiçi Basım: 18/12/2022

Öz

Çelikler, içerisinde en fazla %2,06 C(karbon) içeren demir esaslı malzemelerdir. Çelik içerisinde genel olarak Mn, Si, P, S ve Si belirli miktarda bulunur. Cr, Mo, Ni, Al, V, Nb, Ti, W ve B gibi diğer elementler ise aşınma, darbe, sertlik ve korozyona dirençli olması gibi mekanik, termal, korozif gibi özelliklerini geliştirme beklentileri karşılamak için belli oranlarda çelik içerisinde ilave edilir. Kullanım yerine göre bu alaşım elementlerinin miktarı ve çeşidi farklılık gösterir. Bu eklentiler sonucunda çelikler çok geniş kullanım alanına sahip olur. Bunun en net göstergesi alaşımlı çeliklerin günümüzde en çok kullanılan mühendislik malzemesi olmasıdır. Bu çalışmada Fe matris içerisinde % ağırlık olarak 0,55 grafit ve % 3 Mo ilavesinin sabit oranda ilave edilmiştir. Bu kombinasyon üzerine farklı oranlarda (0-1 ve 3 Ni) Ni ilave edilmiştir. Toplamda 3 farklı kompozisyonda toz bileşimi karıştırılmıştır. Elde edilen toz malzeme ASTM E8M standartlarında tasarlanan çekme numunesi şeklinde kalıp içerisinde doldurulmuş ve 750 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılmıştır. Bu işlem sonucunda üretilen numuneler sinter fırınında 1400 °C sıcaklıkta argon atmosferinde sinterlenmiş ve farklı kombinasyonlarda alaşımlı çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı kimyasal bileşime sahip çelik numunelere çekme testi uygulanmıştır. % ağırlık olarak Ni alaşım elementlerinin oranlarının artması sonucunda çekme dayanımında artış tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Mo Alaşımlı Çelikler, Ni ilavesi, Mekanik Özellikler”

Investigation of Mechanical Properties of Mo Steels Containing Nickel in Different Ratios Produced by Powder Metallurgy Method

Abstract

Steels are iron-based materials containing up to 2.06% C (carbon). In general, Mn, Si, P, S and Si are found in certain amounts in steel. Other elements such as Cr, Mo, Ni, Al, V, Nb, Ti, W and B are added in certain proportions to meet the expectations of improving mechanical, thermal and corrosive properties such as abrasion, impact, hardness and corrosion resistance. The amount and type of these alloying elements differ according to the place of use. As a result of these additions, steels have a very wide usage area. The clearest indicator of this is that alloy steels are the most widely used engineering material today. In this study, 0.55 wt.% graphite and 3% Mo addition were added to the Fe matrix at a constant rate. Ni was added at different rates (0-1 and 3 Ni) on this combination. In total, 3 different compositions of powder composition were mixed. The obtained powder material was filled into the mold in the form of a tensile specimen designed in ASTM E8M standards and compressed in one direction at a pressing pressure of 750 MPa. The samples produced as a result of this process were sintered in the sinter furnace at 1400 °C in an argon atmosphere and alloyed steel materials were produced in different combinations. Tensile test was applied to steel samples with different chemical compositions. So, the increase in the ratio of Ni alloy elements in wt.%, an increase in tensile strength was determined.

Key Words: Powder Metallurgy, Mo Alloy Steels, Ni addition, Mechanical Properties”

*Sorumlu Yazar: Mehmet Akif ERDEN

makiferden@karabuk.edu.tr



Bu makaleden alıntı yapmak için: M. A. Erden ve R. Özmen, Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Farklı Oranlarda Nikel İçeren Mo Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 33-39.

1. Giriş

Çelikler genel olarak demir karbon alaşımı olup günümüzde yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemesidir. Çelikler içerdiği karbon oranı ve içerisinde alaşım elementlerine göre sınıflandırılabilir. Alaşımli çelikler, alaşımli çeliklerde elde edilemeyen özellikleri kazandırmak için bir veya birden fazla alaşım elementi katılarak üretilen çeliklerdir [1-16]. Toz metalurjisi yöntemi gaz atomizasyonu, su atomizasyonu, mekanik alaşımlama, kimyasal elektroliz vb. toz üretim yöntemleri ile üretilmiş metal içerikli tozların istenen belirli oranlarla karıştırılması, istenen parçanın şekline sahip kalıba doldurularak preslenmesi sinterlenme işlemi ve gerekli görülmesi durumunda delik delme yüzey serleştirme ikincil presleme gibi ikincil işlemler içeren müstakil bir üretim tekniğidir [17-25].

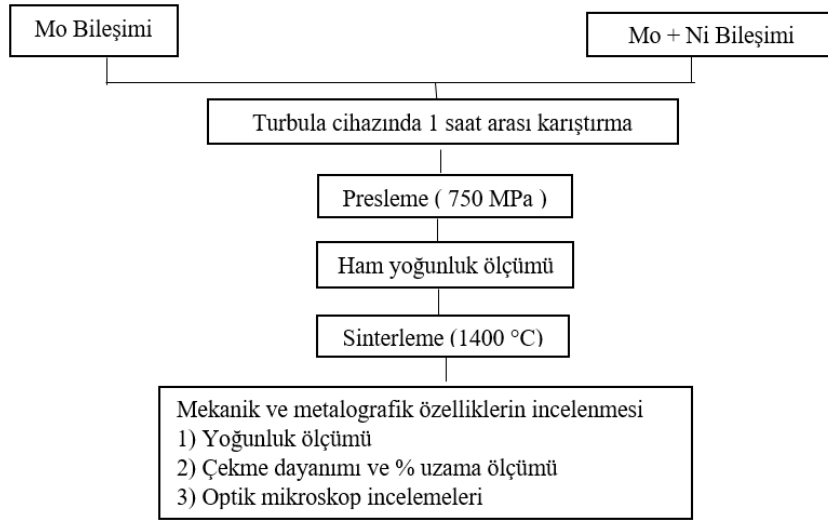
Nikel östenit dengeleyici bir element olan nikel, demir karbon krom alaşımlarında östenit bölgesini genişletir. Ayrıca ferrit alanını daraltır. Ayrıca sıcaklık ortamının yüksek olduğu durumlarda oksitlenme ve korozyon direncini artırır. Nikel elementi, mukavemet artırma mekanizmalarından olan tane boyutunu küçültme etkisine sahiptir. Bunun yanı sıra tufal oluşumunu engelleyici özelliği de vardır. Ni ilavesinin perlit miktarını arttırdığı yönünde çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Kalathur ve Frederick ürettiği demir matrisli malzemelerde Ni miktarının artması ile perlit miktarında artış tespit etmişlerdir [26-28]. Nikel elementi karbon, bakır ve molibden gibi birçok elemente göre demir içerisinde yavaş yayılım gösterir. Buda mikroyapıda nikelce zengin bölgelerin oluşmasını sağlar [7, 29].

Toz metalurjisi (TM) yöntemi kullanarak alaşımli çelik üretimi ile ilgili birçok çalışma literatürde mevcuttur. Örneğin Erden vd. (2014), çalışmalarında TM yöntemiyle Ti mikro alaşımli çelik üretmiştir. Sinterleme sıcaklığı 1150 °C ve sinterleme süresi 60 dakika olarak sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ti oranı yükseldikçe akma ve çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Dayanımdaki artış sinterlenme öncesi, sinterleme sırasında ve soğuma sırasında TiCN, TiC, TiN gibi çökeltilerin çökelti sertleşmesi, kümeleşme sertleşmesi ve tane boyutu inceltme gibi dayanım artırıcı mekanizmalar sonucunda oluştuğunu ifade etmişlerdir. Erden et.al., yaptığı bu çalışmada SEM analizi ile tespit edilen TiC gibi çökeltiler tespit edilmiştir [14].

Bu çalışmada TM yöntemi ile Fe matris içerisine % ağırlık olarak 0,55 grafit ve % 3 Mo elementi yanı sıra 2 farklı % ağırlık oranında (% 1 ve 3) Ni ilave edilmiştir. Elde edilen karışım Turbula 3 eksenli karıştırıcıda 1 saat karıştırma işlemi sonucu alaşımli çelik toz homojen hale getirilmiştir. Elde edilen toz karışımları presleme ve sinterleme sonrası alaşımli çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen alaşımli çeliklerin karakterizasyonu çekme testi ve optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir.

2. Deneysel Metot

Bu çalışma birçok işlemi içermektedir. Bu işlemler tozların temini, belirli ölçülerde karışımların hazırlanması ve karıştırılması, hidrolik preste tozların tek yönlü ve oda sıcaklığında sıkıştırılması, sinter fırınlarında sinterleme işleminin yapılması, üretilen parçaların mekanik özelliklerinin incelenmesi ve mikroyapısal özelliklerinin belirlendiği basamaklardır. Bu basamaklar şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın akış şeması.

TM ile çelik üretiminde gerekli olan tozların toz boyutu ve saflık özellikleri ve üretici firma bilgileri aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Tozların temini ve özellikleri

Elementel tozlar	Toz boyutu (µm)	Saflık (%)	Üretici
Demir	<150	99,95	Höganäs
Karbon	10-20	96,5	Höganäs
Molibden	<100	99	Sigma Aldrich
Nikel	<150	99,95	Sigma Aldrich

Çizelge 2'de belirtilen kompozisyonlarda tartılmış ve hazırlanmış toz karışımlar turbula üç eksenli karıştırıcı ile 1 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Hazırlanan karışımlar Hidroliksan marka 96 ton presleme kapasiteli pres kullanılarak presleme basıncı 750 MPa uygulanarak ASTM (E 8M) standardında hazırlanan çekme numunesi şeklinde kalıpta tek yönlü olarak preslenerek üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Alaşımli toz metal çeliklerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

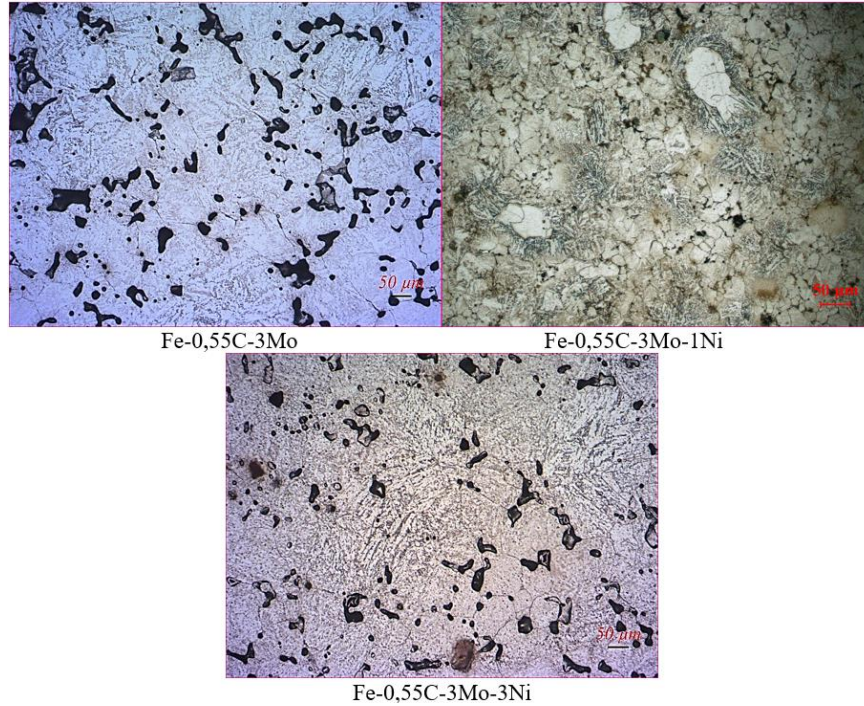
Bileşim	Grafit	Mo	Ni	Fe
Fe + 0.55C + 3Mo	0.55	3	-	Geri kalanı
Fe + 0.55C + 3Mo + 1Ni	0.55	3	1	Geri kalanı
Fe + 0.55C + 3Mo + 3Ni	0.55	3	3	Geri kalanı

Sinterleme işlemi yüksek sıcaklıklarda preslenmiş parçanın moleküllerinin birbirine bağlanmasını sağlayan ve parçaya mukavemet kazandırmak için yapılan bir işlemdir. Sinterleme işlemi Protherm marka atmosfer kontrollü fırınında argon atmosferinde 1400°C de 1 saat kullanılarak sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası mekanik özellikleri belirlemek için 1 mm/dk. hızında çekme testi uygulanmıştır. Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile farklı büyütme oranlarında mikroyapı resimleri alınmıştır. Dağlayıcı olarak % 2 Nital çözelti kullanılmıştır. Numuneler çözeltiye 10-15 saniye arası daldırıldıktan sonra su ile iyice yıkanıp dağlanan

yüzeyle alkol püskürtülüp kurutulmuştur. Üretilmiş numunelerin yoğunluk ölçüm işlemleri, on binde bir hassas terazi ile RADWAG AS60 yoğunluk ölçüm kiti kullanılarak Archimedes prensibine göre hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Üretilen numunelerin mikroyapıları Şekil 2’de görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde gözeneklerin mikroyapıda tane ve tane sınırlarında bulunduğu görülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde Ni içermeyen molibden çeliğinin mikroyapısının perlit ve ferrit fazlarından oluştuğu görülmektedir. % 3 Ni ilavesi ile perlit ve beynit miktarında artış görülmüştür. % ağırlık olarak %2 Nikel ilavesine kadar perlit miktarının arttığı, beynit fazının oluştuğu literatürdeki çalışmalarda yer almaktadır. Ayrıca %2’den %5’e kadar nikel ilavesi ile beynit ve martenzit fazlarının oluştuğu beynit miktarının arttığı ifade edilmiştir. Literatür çalışmaları tarandığında bu sonucu destekleyen veriler bulunmuştur [26-31]. Örneğin; Kalathur ve Frederick (2007) yaptıkları çalışmada Nikel içeren demir karbon alaşımlarda Nikel miktarının artış, perlit içindeki karbonu azalttığı ve perlit miktarını ise arttırdığı dolayısı ile yumuşak faz olan ferrit fazı azaldığı tespit edilmiştir. Sonuçta Nikel miktarının arttığı demir matrisli malzemelerde mekanik özellikler gelişirken tokluk azaldığı görülmüştür [28].

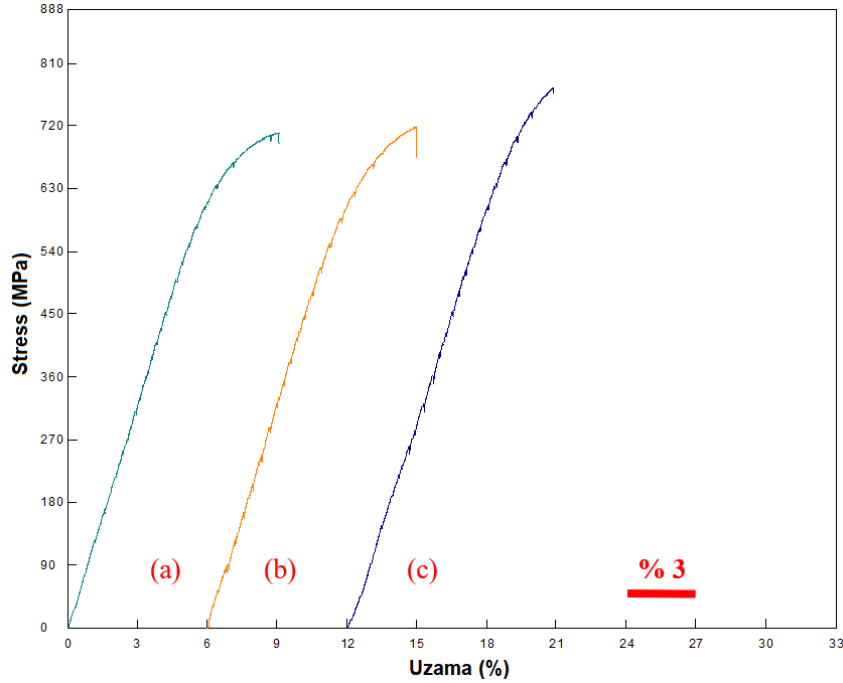


Şekil 2. Argon atmosferinde 1400°C’de sinterlenmiş farklı nikel oranlarına sahip alaşımlı Mo içeren TM çeliklerin mikroyapı görüntüleri. (200X)

Çizelge 3’te üretim sonrası yoğunluk ve gözeneklilik miktarı verilmiştir. TM çeliklerde Ni miktarının arttığında gözenek miktarının arttığı da görülmektedir. Literatür incelendiğinde çok küçük ve küresel şekilli gözeneklerin tane içinde bulunması mekanik özellikleri olumsuz etkilemediği ifade edilmiştir [30, 33-34].

Çizelge 3. Alaşımli TM çelikler numunelerin yoğunluk (gr./cm³) ve gözenek miktarı.

Kimyasal Bileşim	Teorik	Sinter Sonrası	Gözenek Miktarı (%)
Fe + 0.55C + 3Mo	7,9114	7,3188	7,49
Fe + 0.55C + 3Mo + 1Ni	7,9218	7,3229	7,56
Fe + 0.55C + 3Mo + 3Ni	7,9426	7,3397	7,59

**Şekil 3.** TM Numunelerin Stress-Uzama eğrileri. a) Fe-0,55C-3Mo b) Fe-0,55C-3Mo-1Ni c) Fe-0,55C-3Mo-3Ni**Çizelge 4.** TM çeliklerin mekanik özellikleri

Bileşenler	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Maks. Çekme (N/mm ²)	Maks. Uzama (%)
0,55C + Fe + 3Mo	224	711	9
0,55C + Fe + 3Mo + 1Ni	235	721	9
0,55C + Fe + 3Mo + 3Ni	186	777	9

İlave edilen nikeldeki artış mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. Bu iyileşme nikel miktarındaki artışla beraber perlitteki artışın yanı sıra sert faz olan beynit ve martenzit fazının oluşmasına bağlanmıştır. Gerekli literatür araştırması yapıldığında bunu destekleyen sonuçlara ulaşılmıştır [27-31]. Örneğin, Kalathur ve Frederick, Nikel içeren demir karbon sisteminde nikel ilavesindeki artış, kısmen perlitin fazındaki karbon oranının azaldığı ve mikroyapıda perlit miktarının arttığı ifade etmişlerdir. Bu nedenle dayanımda artış olduğunu ifade edilmiştir. Bu çalışmada Mo içeren çeliklerde nikel miktarındaki artış, akma ve çekme dayanımını arttırmıştır. Sonuçlar, literatürle uyumludur [27-33]. Örneğin Getting vd. [31] yaptığı çalışmada Molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile çekme dayanımı ve sertlikte artış görülmüştür.

4. Genel Sonuçlar

Farklı oranda nikel içeren (%0-1-3) molibden çelikleri TM yöntemi ile üretilmiştir. Çekme testi ve optik mikroskop görüntüsü alınarak karakterize edilmiştir. Aşağıda bu çalışmanın genel sonuçları verilmiştir.

- 1- Nikel ilavesi ile devam edildiğinde yapıda perlit miktarının arttığı, beynit ve az miktarda martenzit fazı görülmüştür.
- 2- Nikel miktarının artışı ile yüzde uzama değerleri benzer çıkması yanında çekme ve akma dayanımının ve gözenek miktarının arttığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-22-DS-061, KBUBAP-21-YL-085, KBUBAP-21-YL-118, KBUBAP-22-YL-074 ve FYL-2020-2397

Referanslar

1. Elitaş M. (2021). Effects of welding parameters on tensile properties and fracture modes of resistance spot welded DP1200 steel. *Mater Test.*, 63, 124–130.
2. Elitaş, M. & Çiftçi, İ. (2017). Sertleştirilmiş AISI 52100 Malzemenin Aşındırıcı Diskle Kesilmesinin Araştırılması . *TÜBAV Bilim Dergisi* , 10 (2) , 1-10.
3. Erden M. A., Gündüz S., Karabulut H., & Türkmen, M. (2017). Wear behaviour of sintered steels obtained using powder metallurgy method”. *Mechanics*, vol. 23(4), 574-580.
4. Güney, B. (2021). Microstructure analysis of welding fume of low and medium carbon steels. *Rev. Metal.* 57(1), e187. doi.org/10.3989/revmetalm.187
5. Güney B., & Dilay Y. (2022). 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*, 236(17), 9687-9699.
6. Ahssi M.A.M., Erden M.A., Acarer M., & Çuğ H. (2020). The Effect of Nickel on the Microstructure, Mechanical Properties and Corrosion Properties of Niobium–Vanadium Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials*, 13, 4021. doi.org/10.3390/ma13184021
7. Tracey, V. A., (1992). Nickel Sintered Steels: Development, Status and Prospects. *Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials*, 5: 303-314, ed:J.M.Capus, R.M.German, , 21-26 June, San Francisco, California, USA
8. Erden MA (2017). 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*, 6(1), 257-264.
9. Kurt B., Özdoğan L., Güney B., Bölükbaşı Ö. S., & Günen A., (2020). Characterization and wear behavior of TiBC coatings formed by thermo-reactive diffusion technique on AISI D6 steel. *Surface and Coatings Technology*, 385:125332
10. Erden MA, & Ayvaci B (2020) The effect on mechanical properties of pressing technique in PM steels. *Acta Phys Pol A* 135:1078–1080. doi.org/10.12693/APhysPolA.135.1078
11. Demir H, Gündüz S., & Erden MA (2018). Influence of the heat treatment on the microstructure and machinability of AISI H13 hot work tool steel. *Int J Adv Manuf Technol* ., 95, 2951–2958. doi.org/10.1007/s00170-017-1426-3
12. Özdemirler D., Gündüz S., & Erden M. A. (2017). Influence of nbc addition on the sintering behaviour of medium carbon PM steels. *Metals (Basel)* 7:121. https://doi.org/10.3390/met7040121
13. Demirtaş H., & Erden M.A. (2019). Cr ve Ni İlavesinin Sade Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1217-1223.
14. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H. (2014). Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels. *Materials Science and Engineering A*, 616: 201-206.

15. Türkmen M., Karabulut H., Erden M.A., & Gündüz S. (2017). Effect of tin addition on the microstructure and mechanical properties of Pm steels. *e-Jour New World Sci Acad.*, 12, 178–184. doi.org/10.12739/nwsa.2017.12.4.2a0125
16. Erden MA (2016). Investigation of the effect of nickel content on microstructure and mechanical properties of non alloyed steels produced by powder metallurgy. *GU J Sci PartC*, 4, 241–245.
17. Karabulut H., Erden M.A. , Karacif K., & Gündüz S. (2022). 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*, 122(6), 317-322.
18. Simsir H., Akgul Y., & Erden M.A. (2020). Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy. *Mater Chem Phys* 242:122557. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122557
19. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., & Karabulut H., (2016). The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels. *Materials Testing*, 58(5), 433-437.
20. Gündüz S, Karabulut H, Erden MA, & Türkmen M (2013). Microstructural effects on fatigue behaviour of a forged medium carbon microalloyed steel. *Mater Test* 55:865–870. doi.org/10.3139/120.110511
21. Erden MA (2017). The effect of the sintering temperature and addition of niobium and vanadium on the microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels. *Metals (Basel):7*. doi.org/10.3390/met7090329
22. Erden MA, Gündüz S, Çalgılı U, & Boz M. (2018). Investigation of hardness and microstructure properties of non alloyed and hardox steel combined with submerged arc welding method. *J Fac Eng Archit Gazi Univ* 33:221–226. doi.org/10.17341/ gazimmfd.406794
23. Erden M. A., Barlak S., Adalı B., & Çelikkıran Ö. (2018). Toz Metalurjisi ile Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Vanadyum İlavesinin Mikroyapı Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(3),629-636.
24. Erden M.A., & Aydın F. (2021). Wear and mechanical properties of carburized AISI 8620 steel produced by powder metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28 (3), 430-439.
25. Erden M. A., Erer A. M., Odabaşı Ç., & Gündüz S. (2022). The Investigation Of The Effect Of Cu Addition On The Nb-V Microalloyed Steel Produced By Powder Metallurgy. *Science of Sintering*, 54(2), 153-167.
26. Aşkun Y., Hasırcı H., & Şeker U. (2003). Ni ve Cu ile Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 191-199.
27. Erden MA, & Taşçı MT (2016). The effect of Ni on the microstructure and mechanical properties of Nb-V microalloyed steels produced by powder metallurgy. *J Polytech*, 19, 611–616.
28. Kalathur S. N. & Frederick J.S. “Sintering of powder premixes – a brief overview” Hoeganaes Corporation, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145 (2007).
29. Upadhyaya, G. S., (2000). *Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials*. John Wiley & Sons LTD, West Sussex, England.
30. Sarıtaş, S., Türker, M, & Durlu, N., (2007). Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, *Türk Toz Metalurjisi Yayınları*, 05, Anlara.
31. Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., & Mueller T. J., (2005). The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels. *Materials Science and Engineering A*, 390,19–26.
32. Erden M. A., Tashyan M F., & Akgul Y. (2021). Effect of TiC, TiN, and TiCN on Microstructural, Mechanical and Tribological Properties of PM Steels”, *Science of Sintering*, 53(4), 497-508.
33. Tanrıverdi A. N., Akgül Y., & Erden M. A. (2022). A novel approach on production of carbon steels using graphene via powder metallurgy. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 61(1), 85-93.