

# **Toz Metalürjisi İle Üretilen Alaşimsız Çeliklerde Nikel İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin Araştırılması**

Mehmet Akif ERDEN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Karabük Üniversitesi TOBB TB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, KARABÜK*

*Başvuru: 13/07/2016 Düzeltme: 22/09/2016 Kabul: 07/10/2016*

## **ÖZ**

Bu çalışmada, toz metalürjisi (TM) ile üretilen alaşimsız çeliklerde nikel oranının mikroyapı mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı nikel oranlarına sahip TM çelik numuneler 750MPa presleme basıncında preslendikten sonra atmosfer kontrollü tüp fırında argon atmosferinde 1350°C sıcaklıkta 1 saat sinterlenerek üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen farklı nikel oranlarına sahip TM çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenirken, mekanik özellikler çekme testi uygulanarak belirlenmiştir. Sonuçlar ağırlık olarak % 0,8 Ni ilave edilmiş alaşimsız çeliğin en yüksek akma ve çekme dayanımı gösterdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Toz metalürjisi; Toz metalürjisi çelikleri; Ni; Mikroyapı; Mekanik özellikler*

## **Investigation Of The Effect Of Nickel Content On Microstructure And Mechanical Properties Of Non Alloyed Steels Produced By Powder Metallurgy**

### **ABSTRACT**

In this work, the effect of Ni content on the microstructures and tensile behaviours of powder metallurgy (PM) steels were investigated. The samples pressed at 750 MPa and sintered at 1350°C temperature in the sintering argon atmosphere for 1 h were produced. PM steels with different nickel ratio were analysed in terms of grain size microstructure and tensile test. Results indicated that and 0.8 wt. % Ni added PM steel showed the highest values in yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS).

**Keywords:** *Powder metallurgy; Powder metallurgy steels; Ni; Microstructure, Mechanical properties.*

## 1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelikler değişik sertleştirme mekanizmalarının ve uygun termomekanik işlemlerin uygulanması ile yüksek dayanım, düşük sünek gevrek geçiş sıcaklığı, yüksek tokluk gibi üstün özelliklere sahip olabilen malzeme gurubudur [1].

Nikel, malzemenin mukavemetini artırmasının yanı sıra sığağa ve tufalleşmeye karşı iyileştirici özelliğe sahiptir. Krom ile birlikte kullanılması ile sertleşmeyi ve yüksek yorulma direncini artırır. Nikel östenit dengeleyicidir ve demir krom karbon alaşımlarında östenit alanını genişleterek ferriti yok eder. Nikel, yüksek sıcaklıkta korozyon ve oksitlenmeye karşı mükemmel direnciyle önemli bir mühendislik malzemesidir. Sertleşme derinliğini artırır. Kritik soğum hızını düşürür. Perlit miktarını artırır [2].

Birçok kaynakta genel olarak toz metalurjisi (TM), küçük, fonksiyonel, birbiri ile uyumsuz, kompozit yapılar gibi imali zor parçaların yüksek mukavemet ve minimum toleransla, diğer üretim yöntemlerine kıyasla daha avantajlı ve ekonomik bir şekilde üretilmesi yöntemi olarak tanımlanmaktadır [4-5]. Günümüzde üretilen çeliklerin büyük bölümü yassı ve boru mamul olarak üretilmekle birlikte son yıllarda dövme amaçlı çeliklerin üretimi de hız kazanmıştır. Ayrıca günümüzde yeterli düzeyde olmamakla birlikte toz metalurjisi yöntemiyle de çelik üretimi yapılmaktadır [5-7].

Literatürde TM çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin Erden vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Ti ve V mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1150°C'de 60 dakika bekleterek gerçekleştirmiş olup Ti ve V oranı (% 0,1-% 0,2) yükseldikçe akma ve çekme dayanımında bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumu sinterleme sırasında ve sinterleme sonrası soğuma sırasında TiC(N) ve VC(N) gibi çökeltilerin oluşmasına bağlamışlardır [6-7].

Bu çalışmada Fe tozlarının içerisine farklı oranlarda nikel tozu ilave edilerek istenilen bileşimde çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen blok numuneler için sinterleme işlemi 1350°C'de 1 saat süre ile argon atmosferinde bekletilerek yapılmıştır. Numunelerin yoğunluk ve gözeneklilik gibi mikroyapısal özelliklerin incelenmesinin yanında mekanik özellikleri çekme testi uygulanarak belirlenmiştir.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, çelik numuneler toz metalurjisi yöntemiyle istenilen bileşimlerde üretilmişlerdir. Ni oranının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Çizelge 1'de verilen kimyasal bileşimlerde karıştırılarak çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler için çekme testi, yoğunluk, gözeneklilik, mikroyapı ve ferrit-perlit oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar Çizelge 1'de kimyasal kompozisyonu verilen oranlarda 0.0001 hassasiyetine sahip dijital hassas terazide tartımı gerçekleştirilmiştir. Tartımı yapılan tozlar Turbula

marka üç eksenli karıştırıcı ile bir saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır. Yağlayıcı olarak Zn-stearate kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Toz metal çeliklerin kimyasal kompozisyonları

(Table 1. Chemical compositions of powder metallurgy steels)

Bileşim	Grafit(% ağı.)	Ni(% ağı.)	Fe (% ağı.)
Alaşım 1	0,55	-	Geri kalan
Alaşım 2	0,55	0,1	Geri kalan
Alaşım 3	0,55	0,3	Geri kalan
Alaşım 4	0,55	0,8	Geri kalan

Karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 750 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Sinterleme işlemi numunelerin sinterleme sıcaklığına 5°C/dak. hızla ısıtılması ile başlamıştır. 350°C'de bütün numuneler çinko stearati buharlaştırmak için 30 dak. bekletilmiştir. Sıcaklık sinterleme sıcaklığı olan 1350°C'ye ulaştıktan sonra numuneler bu sıcaklıkta 1 saat tutulup ardından oda sıcaklığına 5°C/dak. hızla soğutulmuştur. Sinterlenen çekme numuneleri ise 1 mm/dak. çekme hızında çekme deneyi uygulanarak koparılmıştır. Her deney sonrasında gerilme-% gerinim diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlardan numunelerin akma dayanımı (%0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanarak kimyasal bileşimdeki nikel oranındaki değişmeden dolayı mekanik özelliklerdeki farklılaşma tespit edilmiştir. Şekil 1'de çekme numunesinin çekme testi sonrası görüntüsü verilmektedir.



**Şekil 1.** 1350°C'de 1 saat sinterlenmiş Alaşım 2 test numunesinin çekme testi sonrası genel görüntüsü

(Figure 1. General view of tensile test specimen for Alloy-2 sintered at 1350 °C for 1 h)

Mikroyapı incelemeleri X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Her numunenin değişik bölgelerinden farklı büyüklüklerde görüntüler alınarak bu görüntülerin bütün mikroyapıyı temsil edebilir nitelikte olmasına dikkat edilmiştir. Dağlama işlemi numunelerin %2 nital solüsyonu içerisine daldırılarak 4-8 sn bekletilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Dağlama işlemi tamamlandıktan sonra dağlanan yüzeyler metanol ile temizlenip kurutulmuş ve ardından optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin yoğunlukları yoğunluk ölçüm kiti ile Archimets prensibine göre yapılmıştır. Toz metal çeliklerin ferrit ve perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımladığı metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır [8].

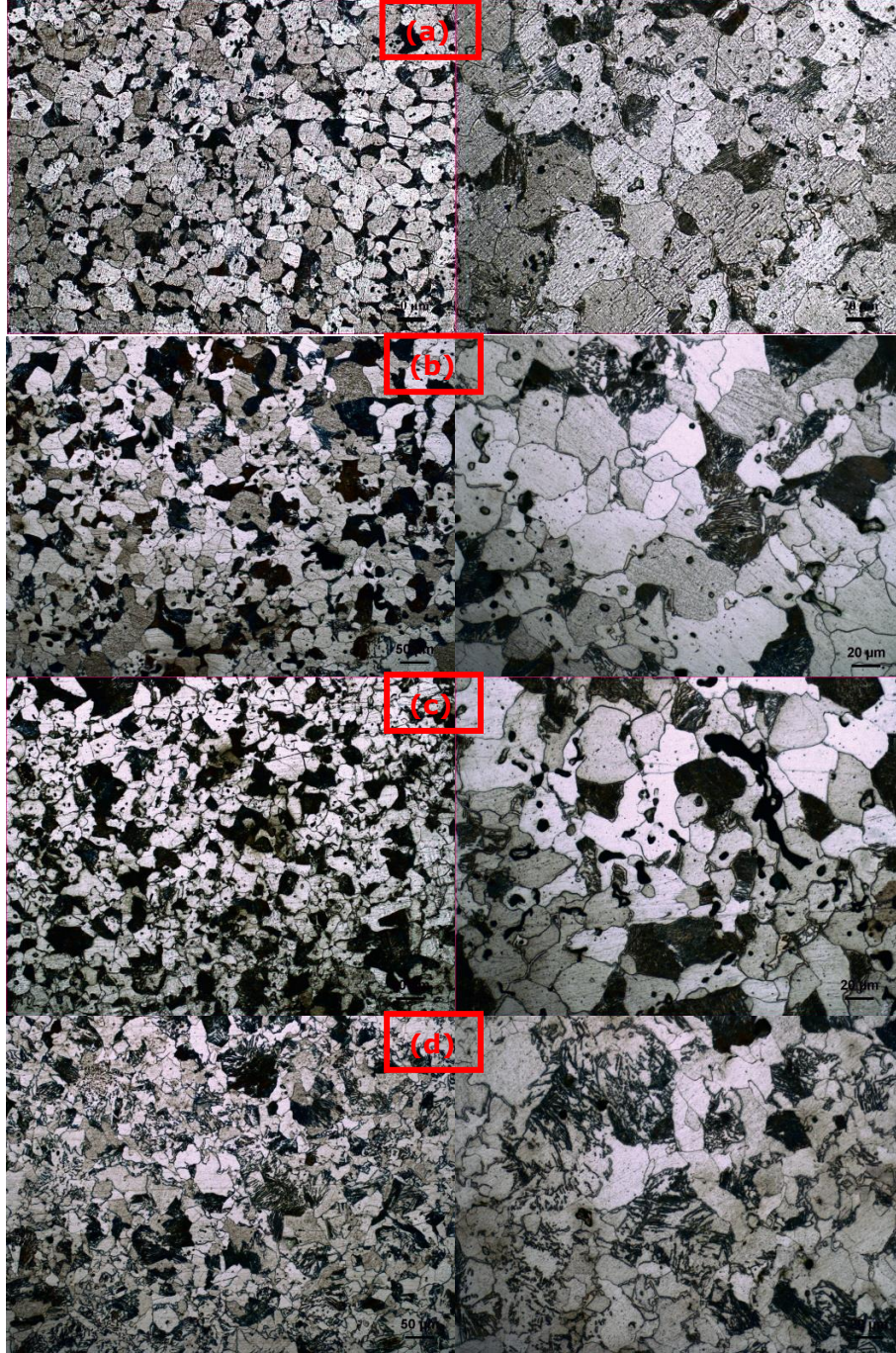


#### 4.DENEY SONUÇLAR VE TARTIŞILMASI (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

##### 4.1. Mikroyapı (Microstructure)

Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 2'de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi bütün nikel

oranlarında yapı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir. Şekil 1'de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Farklı nikel oranlarına sahip alaşımsız TM çelik numunelerin mikroyapı görüntüleri (500-1000X), (a) Alaşım 1, (b) Alaşım 2, (c) Alaşım 3 ve (d) Alaşım 4.

Figure 2. Micrographs of non-alloyed PM steel specimens with different nickel contents (500-1000 x), (a) Alloy 1, (b) Alloy 2, (c) Alloy 3 and (d) Alloy 4.

Bir çok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği bildirilmiştir [4-7].

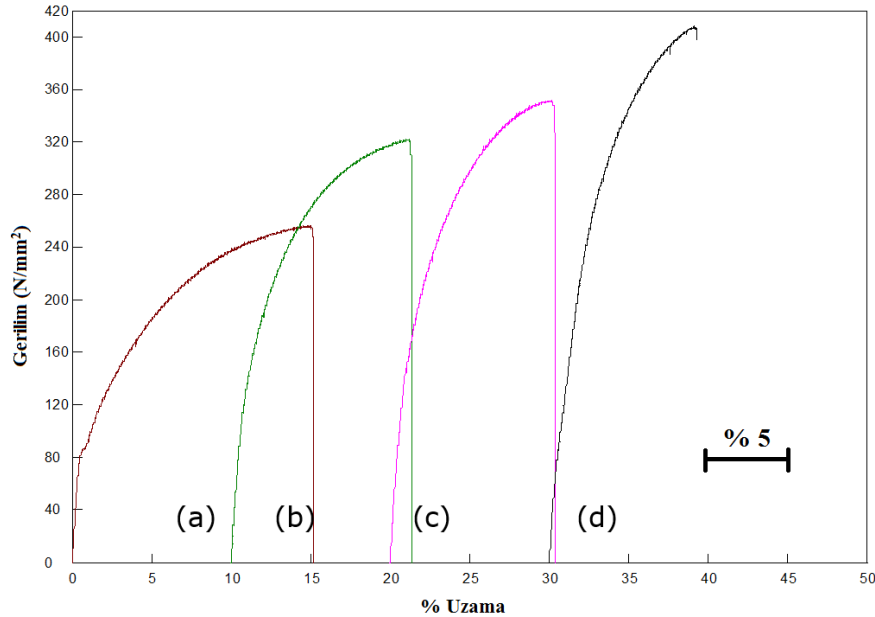
Çizelge 2'de farklı nikel oranlarına sahip numunelerin sinterleme sonrası yoğunluk ve % gözenek miktarı verilmiştir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunluklarının nikel oranının artması ile kayda değer bir değişime uğramadığı ve birbirine yakın olduğu görülmüştür. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların mekanik özellikleri gözenek oranı ile ilişkilidir. Gözenekler gerilimin yoğunlaştığı merkezler olarak davranırken, çatlak ilerlemesine de katkı sağlamaktadır [4].

**Çizelge 2.** TM çelik numunelerin Yoğunluk, % Gözeneklilik ve % perlit miktarı

Table 2. Relative density, porosity, volume fractions of pearlite phase and mean linear intercept grain sizes in PM specimens

	Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (%)	Perlit miktarı (%)
Alaşım 1	93	6.6	26,2
Alaşım 2	93,7	6,3	30,7
Alaşım 3	93,45	6,55	31,8
Alaşım 4	93,2	6,8	32.6

Çizelge 2'de de görüldüğü gibi Alaşım 1'de perlit miktarı 26,2 iken Alaşım 4'te 32,6 olduğu görülmüştür. Nikel oranının artması ile perlit miktarında artış gözlenmiştir. Bu beklenen bir durumdur. Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar mevcuttur [2;10-11].



**Şekil 3.** Farklı nikel oranlarına sahip alaşımsız TM çelik numunelerin gerilme-uzama diyagramları, (a) Alaşım 1, (b) Alaşım 2, (c) Alaşım 3 ve (d) Alaşım 4.

Figure 3. Stress–strain curves of non-alloyed PM steel specimens with different nickel contents, (a) Alloy 1, (b) Alloy 2, (c) Alloy 3 and (d) Alloy 4.

Örneğin, Kalathur and Frederick yaptıkları çalışmada Fe-C-Ni alaşımlarında Ni miktarının artması ile kısmen perlitin içindeki karbon miktarının azaldığı ve ayrıca mikroyapıda perlit miktarının arttığı ferrit miktarının ise azaldığını belirtmişlerdir. Bunun sonucu olarak malzemenin dayanımı artarken sünekliğin düştüğünü tespit etmişlerdir [10]. Başka bir çalışmada Getting et al. molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile üretilen toz metal çeliklerin sertlik ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir. Ayrıca mikroyapı incelemelerinde Ni içermeyen molibden çeliğinin mikroyapısının ferrit ve perlitte oluştuğu ancak bu tür toz alaşımların içerisinde nikel miktarının ağırlık olarak %0- 2 bulunması durumunda mikroyapıda daha sert fazların oluştuğunu ve nikel miktarı ağırlık olarak %2-5 arasında olması durumunda ise beyrit ve martenzit fazlarının bulunduğunu ifade etmişlerdir [11].

#### 4.2. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Şekil 2, sinterlenen numunelerin gerilme-uzama diyagramlarını gösterirken Çizelge 3 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir. Şekil 2 ve Çizelge 3'ten görüldüğü gibi numunelerde nikel oranının artması ile akma ve çekme dayanımı artış gösterirken, % uzama değerlerinde bir düşüş tespit edilmiştir. Çıkan sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir [10–11]. Örneğin Getting et al. yaptığı çalışmada Molibden toz metal çeliklerinin mekanik özellikleri üzerine Ni ilavesinin etkisini araştırmıştır. Elde ettiği sonuçlar, ilave edilen Ni miktarının artması ile üretilen toz metal çeliğin sertlik ve çekme dayanımının arttığı ve % uzama miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Dayanımdaki artışın nedenini olarak nikelin mikroyapıdaki perlit miktarını artırmasına bağlamışlardır [11].

**Çizelge 3.** TM çelik numunelerin mekanik özellikleri

(Table 3. Mechanical properties of PM steels)

Bileşim	Çekme D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
Alaşım 1	87	257	17,69
Alaşım 2	145	323	11,13
Alaşım 3	179	353	9,99
Alaşım 4	201	409	9,12

**5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)**

Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen alaşımsız çeliğine, Ni ilavesinin (%0-0,1-0,3-0,8) mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiş ve sonuç olarak, bütün Ni oranları için ağırlık olarak % 0,8 nikel ilave edilen numunelerin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olmasının yanı sıra % uzama olarakta en düşük olduğu görülmüştür.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1]. Erden M. A. "Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması", Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [2]. Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., "Ni ve Cu ile Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kaliteleri Açısından Değerlendirilmesi", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 9, No 1, 191-199, 2003.
- [3]. Robert, M., "Powder Metallurgy Science", *Metal Powder Industry Federation*, New Jersey, 1984.
- [4]. Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N. (2007). Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri", *Türk Toz Metalürjisi Yayınları*: 05, Anlara, 2007.
- [5]. Schade C, Murphy T, Lawley A, Doherty R., "Microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels", *Int J of Powder Metall.* Cilt 48, 51-59, 2012.
- [6]. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., Karabulut H., "Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels", *Materials Science and Engineering A*, Cilt 616, 201-206, 2014.
- [7]. Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M., Karabulut H., "The Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels", *Materials Testing*, Cilt 58, No 5, 433-437, 2016.
- [8]. Gladman, T. and Woodhead, J. H., "The accuracy of point counting in metallographic investigations", *Journal of the Iron Steel*, Cilt 194, 189-194, 1960.
- [9]. Jing W., W. Yisan W. and Yichao D., "Production of (Ti, V)C reinforced Fe matrix composites", *Materials Science and Engineering A*, Cilt 454-455, 75-79, 2007.
- [10]. Kalathur S. N. and Frederick J.S. "Sintering of powder premixes – a brief overview" Hoeganaes Corporation, 1001 Taylors lane, Cinnaminson, NJ 08077, Paper No. 2007-01-0145 (2007).
- [11]. Gething, B. A., Heaney, D. F., Koss, D. A., Mueller T. J., "The Effect of Nickel on the Mechanical Behavior of Molybdenum P/M Steels", *Materials Science and Engineering A*, 390:19–26, (2005).