

**TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ALAŞIMSIZ ÇELİĞE
BAKIR İLAVESİNİN MİKROYAPI MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

"UMAS 2017'de sunulmuş ve genişletilmiş bildiridir."

Özet

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle Fe matris içerisine farklı oranlarda (% ağırlık olarak 0-0,5-1-5-10 ve 15) bakır elementinin ayrı ayrı ve çoklu katılmasıyla istenilen bileşimde kompozit çelik malzeme toz karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen tozlar çekme numunesi şeklinde tasarlanan kalıplarda 750 MPa presleme basıncında sıkıştırılarak 1400°C'de argon atmosferinde sinterlenerek çelik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit çeliklerinin tane boyutu ve fazların dağılımı optik mikroskop ile belirlenmiştir. Mikroyapı analizinden sonra çekme numunesi boyutlarında hazırlanan farklı kimyasal bileşimdeki kompozit çelik numunelere çekme testi ve sertlik testi uygulanmıştır. Numunelerin % uzama, akma-çekme dayanımları, sertlik değerleri, mikroyapısal değişimlere bağlı olarak açıklanmıştır.

Sonuç olarak, ağırlık olarak % 10 Cu içeren çelik numuneler en yüksek sertlik, akma ve çekme dayanımı sergilerken, % uzama değeri en düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler-Toz metalurjisi, Alaşimsız çelikler, Cu, Mikroyapı, Çekme dayanımı

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğine sahip yöntemdir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisi ile üretimi daha yaygın hale getirmektedir. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarının önce preslenmesi ve daha sonra taneciklerin sinterleme yoluyla birleştirilerek sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürülmesidir [1-3].

Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde büyük bir öneme sahiptir. Özellikle ikinci dünya savaşından sonra her geçen gün birçok sektörde çelik gereksinimi artış göstermektedir. Dayanım/ağırlık oranının yükselmesiyle daha ince ve hafif çeliklerin geliştirilmesi neticesinde üretim ve işletme giderlerinin birim maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır [1-4].

Literatürde T/M çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur [5-7]. Örneğin Gündüz vd. çalışmalarında TM yöntemiyle Ti-V mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1150°C'de 60 dakika argon ve argon ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Ti-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 [8].

Ayrıca Özgün, Fe-Ni-Cu-Mo-C distalloy tozları kullanılarak T/M yöntemi ile ürettiği alaşımlı çelik numunelerin optik mikroskop görüntülerini incelediğinde; mikroyapının genel olarak ferritik ve perlitik yapılardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Numunelerin içerisindeki C miktarındaki artışın, perlitik ve beynitik yapı miktarını arttırdığını, malzeme içerisine bor ilave edildiğinde oluşan mikroyapının ve faz miktarlarının farklılaştığı görmüştür. Ana malzeme olarak Starmix 507 kullandığında ise farklı mikroyapılar elde etmiş ve başlangıç tozu içerisine ilave edilen grafit ve bakırın, oluşan fazın geometrisini değiştirdiği gözlemiştir [9].

2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, çelik numuneler TM yöntemiyle Çizelge 1’de verilen bileşimlerde üretilmiştir. Farklı oranlarda katılan bakırın mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tozlar çizelge 1’de verilen oranlarda 0,0001 g. hassasiyetle çalışan Radwag marka hassas terazide tartılmıştır. Tozların karıştırma işlemi 3 eksenli hareket eden Turbula marka karıştırma cihazıyla bilyesiz olarak 1 saat süreyle yapılmıştır. Homojen olarak karıştırılan tozların soğuk preslenmesi işlemi ise 96 ton kapasiteli Hidroliksan marka hidrolik presle 750 Mpa presleme basıncında tek yönlü olarak yapılmıştır. Çekme deneyi numuneleri ASTM 8M Toz Metal çekme numunesi standartlarına uygun kalıpta sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir.

Çizelge 1. TM yöntemiyle üretilen çeliklerin kimyasal kompozisyonları.

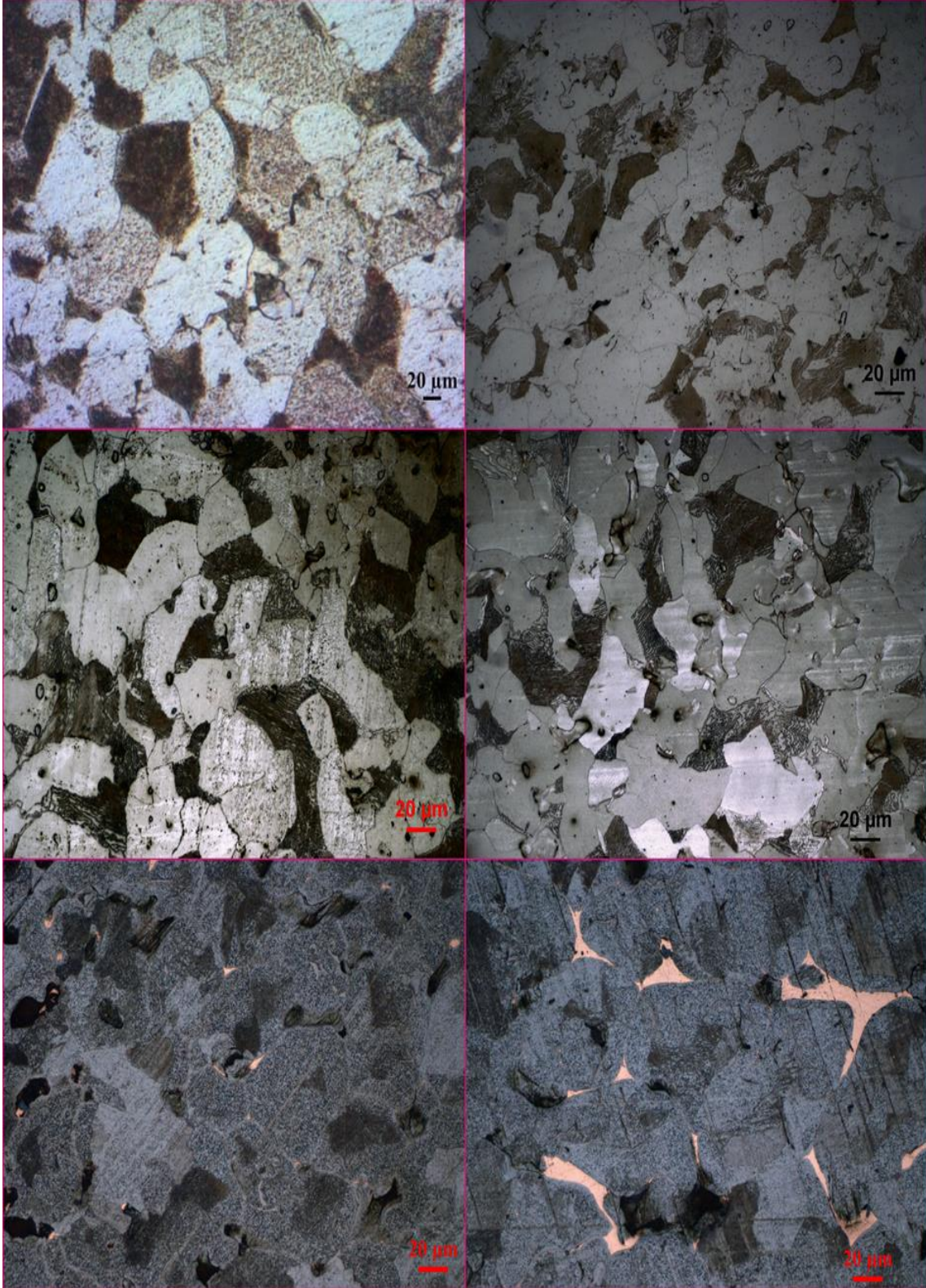
Bileşen	Grafit (%ağ.)	Bakır (%ağ.)	Demir (%ağ.)
Alaşım 1	0,45	-	Geri Kalanı
Alaşım 2	0,45	0,5	Geri Kalanı
Alaşım 3	0,45	1	Geri Kalanı
Alaşım 4	0,45	5	Geri Kalanı
Alaşım 5	0,45	10	Geri Kalanı
Alaşım 6	0,45	15	Geri Kalanı

Preslenen numuneler atmosfer kontrollü sinter fırınında argon ortamında 1400 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterlenmiştir. Çekme testi 50 KN kapasiteli Shimadzu marka çekme cihazında 0,5 mm/dk. çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme sonucu kopan numunelerin akma dayanımı (% 0,2), çekme dayanımı ve % uzama değerleri hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası yoğunluk ölçümleri Radwag marka hassas terazinin yoğunluk kitinde yapılmıştır. Sinterlenen numunelere geleneksel yöntemler uygulanarak (zımparalama, parlatma ve dağlama) metalografik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapıları X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot marka optik mikroskop altında incelenmiştir. Ayrıca, toz metal çeliklerin perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımlamış olduğu metalografik nokta sayım metodu kullanılarak hesaplanmıştır [10].

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

3.1. Mikroyapı

Numunelerin mikroyapı resimleri Şekil 1’de verilmiştir. Mikroyapı resimleri incelendiğinde tüm numunelerde yapılar ferrit ve perlit fazlarından oluştuğu görülmektedir. Bakır tane içine, sınırlarına ve gözeneklere yayıldığından tane büyümesini engelleyerek mukavemet artışı sağlamıştır. Nitekim Odabaşı yaptığı çalışmada, Toz Metal Nb-V mikroalaşım çeliğine bakır ilave ederek Cu etkisini incelemiştir. SEM incelemelerinde Cu elementinin tane içi ve sınırına çökelttiğini nokta ve çizgi EDS’lerle tespit etmiştir. Dayanımın artışı çökelen Cu elementinin çökelti sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mekanizmaları gibi dayanım artırıcı mekanizmalar ile sağlandığını ifade etmiştir [11].



Şekil 1. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin mikroyapı görüntüleri (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3, d- Alaşım 4, e- Alaşım 5, f- Alaşım 6.).

Çizelge 2’de sinterleme sonrası yoğunluk, % gözenek miktarı, % perlit oranı ve ortalama tane boyutu verilmiştir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunluklarının genel olarak %90 civarında

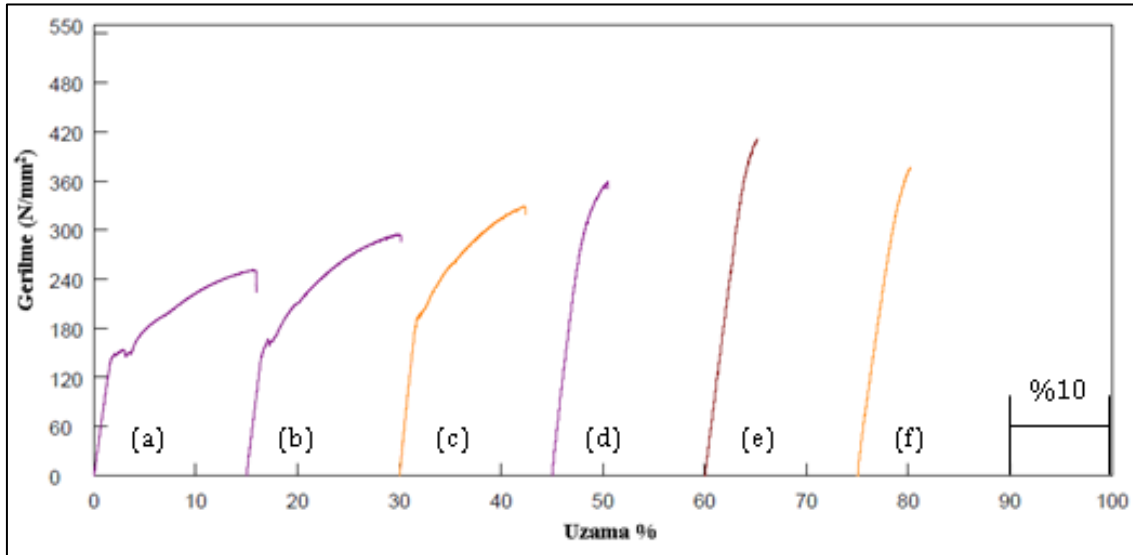
olduğu görülmektedir. Ayrıca bakır oranının ağırlık olarak %10'a kadar ilavesinin tane boyutunu küçülttüğü ve perlit miktarının artışına sebep olduğu görülmektedir. Fakat ağırlıkça %15 bakır ilave edildiğinde bakırın tane sınırlarına aşırı şekilde yayıldığı düşünülmektedir bu da dayanım yönünden zayıflamaya sebep olmuştur. Bunu destekleyen literatürde çalışmalar mevcuttur [12-14]. Nitekim Scade et al çalışmasında mikro alaşım çeliği üretmiş ve belirli orandan sonra Nb ilavesinin dayanımı düşürdüğünü gözlemlemiştir. Dayanım düşüşündeki neden olarak Nb elementinin tane sınırlarında aşırı şekilde yığılmasına bağlamıştır. [12-14].

Çizelge 2. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin yoğunluk, gözeneklilik, perlit miktarı ve tane boyutu miktarları.

Bileşen	Yoğunluk (%)	Gözeneklilik (%)	Perlit (%)	Tane Boyutu (μm)
Alaşım 1	93,7	6,3	22,9	34,5
Alaşım 2	92,3	7,7	24,65	25,98
Alaşım 3	91,5	8,5	29,91	24,68
Alaşım 4	90,3	9,7	34,62	24,25
Alaşım 5	89,1	10,9	39,05	22,07
Alaşım 6	86,8	13,2	36,56	24,10

3.2. Mekanik Özellikler

Şekil 2, TM yöntemiyle üretilen alaşımsız ve bakır ilave edilen çelik numunelerin gerilme-% uzama diyagramlarını gösterirken, Çizelge 3 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir.



Şekil 2. TM yöntemiyle üretilen numunelerin gerilme-uzama diyagramları, (a- Alaşım 1, b- Alaşım 2, c- Alaşım 3, d- Alaşım 4, e- Alaşım 5, f- Alaşım 6.)

Çizelge 3. TM yöntemiyle üretilen çelik numunelerin akma-çekme dayanımları, % uzama ve sertlik değerleri.

Bileşen	Akma Dayanımı (MPa)	Max. Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Hv ₁)
Alaşım 1	153	251	16	87
Alaşım 2	157	265	11	109
Alaşım 3	197	328	12	130
Alaşım 4	250	347	6	189
Alaşım 5	306	411	5	208
Alaşım 6	282	375	5	199

Alaşımsız çelik ile bakırlı çelikler karşılaştırıldığında; bakır ilavesi arttıkça malzemelerin akma-çekme dayanımlarında ve sertliklerinde artış gözlenmiştir. Bunun sebebi bakırın tane içinde ve sınırlarında çökmesi sonucu oluşan çökelti sertleşmesi ve tane boyutu küçültme mekanizmasına mekanizması sonucudur. Ayrıca sıvı faz sinterleme mekanizmasıyla da taneler arasında yayılarak tanelerin birbiri arasındaki metalurjik bağı kuvvetlendirmiş bu sayede de dayanıma katkı sağlamıştır. Ağırlıkça %10 Cu ilavesi içeren Alaşım 5'te en yüksek akma ve çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Benzer çalışmalar bu sonucu desteklemektedir [4-6]. Özgün çalışmada, malzeme içerisine bakır ilave edilmesiyle beraber perlitik tanelerin incelendiğini ve ağırlık olarak % Cu miktarının artması ile perlit miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar bu çalışmayı destekler niteliktedir. Fakat bakır miktarının ağırlıkça %10'dan daha fazla alaşım içerisine ilave edilmesiyle bakır etkinliğini yitirmiş, tane sınırlarında aşırı fazla birikerek kaba taneli yapı davranışı sergilemiş ve dayanım azalmasına sebep olmuştur [9].

4. GENEL SONUÇLAR

Bakır ilave edilmiş olan çelikler alaşımsız çeliklere göre bütün alaşım oranlarında daha küçük taneli yapı sergilemişlerdir. Bu durum bakırın taneler arası metalurjik bağı kuvvetlendirmesinden, sinterleme sırasında ve sonrasında tane sınırlarında ve tane içerisinde çökelen bakırın tane büyümesini sınırlandırmasından kaynaklanmaktadır.

Ağırlıkça %10 bakır ilavesine kadar tane boyutunu küçültmenin yanı sıra perlit miktarını artırdığı gözlenmiştir. Bu sayede malzemelerin akma-çekme dayanımları ve sertliklerinde artış gözlenmiştir. %15 bakır ilavesi ile belirgin bir şekilde bakırın gözenek ve tane sınırlarına yığıldığı gözlenmiştir. Böylece perlit miktarında azalma ve tane boyutunda büyüme gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak malzemenin akma çekme ve % uzama değerlerinde düşme gözlenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: KBÜBAP-17-YD-276, KBÜ-BAP-15/2-KP-058 ve KBÜBAP-17-YL-178. UMAS 2017'de sunulmuş ve genişletilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Erden, M. A. (2017). The Effect of the Sintering Temperature and Addition of Niobium and Vanadium on the Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed PM Steels. *Metals*, 7(9), 329.
- [2] Erden M. A., (2016). Effect of C Content on Microstructure and Mechanical Properties of Nb-V Added Microalloyed Steel Produced by Powder Metallurgy Method, *European Journal of Science and Technology*, 5(9), 44-47.
- [3] Türkmen M., (2016). Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of powder metallurgy steels, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55, 3-4.
- [4] Okumuş Ş., Karabulut H., (2015). Effect of quench and strain aging on the mechanical properties of low carbon microalloyed steels, *Materials Testing*, 57(4), 289-295.
- [5] Uygur İ., Gerengi H., Erden M.A. ve Yıldız M., (2016). Toz metalürjisi ile elde edilen düşük karbon çeliğinin % 3.5 NaCl ortamındaki korozyonuna niyobyum ve vanadyumun etkisi. 14. Uluslararası Korozyon Sempozyumu (KORSEM 16), 77-87.
- [6] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and 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.
- [7] Uygur İ., (2007). Fe-Cu-C çeliklerine mangan ilavesinin mekanik özelliklere etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 325-330.
- [8] Erden M. A., Gündüz S., Türkmen M. and Karabulut H., (2016). The influence of vanadium and titanium on the mechanical properties of microalloyed PM steel. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 55(5), 277-287.
- [9] Özgün Ö., (2007). Toz metalürjisi ile üretilen alaşımlı çeliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri”, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [10] Gladman T. and Woodhead J. H. (1960). The accuracy of point counting in metallographic investigations, *Journal of Iron and Steel Research*, 194, 184-193.
- [11] Odabaşı Ç., (2017). Toz Metalürjisi İle Üretilen NB-V Mikroalaşım Çeliğine Cu İlavesinin Mikroyapı Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [12] Schade C., Murphy T., Lawley A. and Doherty R., (2012). Microstructure and mechanical properties of microalloyed PM steels, *International Journal of Powder Metallurgy*, 48(6), 51-59.
- [13] Özdemirler, D., Gündüz S., and Erden, M. A., (2017). Influence of NbC Addition on the Sintering Behaviour of Medium Carbon PM Steels, *Metals* 7(4), 121-132.
- [14] Özdemirler, D., Gündüz S., Erden, M. A., and Karabulut H. and Türkmen M. (2016). Microstructure and mechanical properties of Nb added PM steels sintered at different temperatures, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, 163-167.