



# Karıştırma Süresinin Toz Metalürjisi İle Üretilen Alaşimsız Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

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

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, TOBB TB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, [makiferden@karabuk.edu.tr](mailto:makiferden@karabuk.edu.tr)

(Dergiye gönderilme tarihi: 24 Eylül 2016, Kabul Tarihi: 05 Aralık 2016)

## Öz

Bu çalışmada, toz metalürjisi (TM) ile üretilen alaşimsız çeliklerde karıştırma süresinin mekanik özellikler üzerine etkisi araştırılmıştır. Belirlenen kimyasal kompozisyonda 0,5-1-1,5-2 ve 2,5 saat karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 750 MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Presleme işlemi gerçekleştirilen numuneler azot atmosferinde 1300°C sinterleme sıcaklığında 1 saat sinterlenmiştir. Üretimi gerçekleştirilen TM çeliklerinin mikroyapısı optik mikroskop, SEM ve EDS ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar 1,5 saat karıştırılmış TM çeliklerin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz metalürjisi; Toz metalürjisi çelikleri; Karıştırma süresi; Mikroyapı; Mekanik özellikler.

## The Effect of Mixing Time On Microstructure and Mechanical Properties of Non Alloyed Steels Produced by Powder Metallurgy Method

### Abstract

In this work, the effect of mixing time on mechanical properties of non-alloyed PM steels were investigated. The mixed powders which mixed 0.5-1-1.5-2 and 2.5 hours were prepared in the proportion that had determined were pressurised under 750 MPa unidirectionally. Samples of the tensile experiment were turned into blocks by squeezing with the mould which had been prepared according to ASTM (E 8M) standards of powder metal material tension sample. The pressurised samples were sintered at nitrogen setting at 1300 °C during 1 hour. The microstructure of the PM steels was characterised by optic microscope, SEM and EDS. Results indicated that PM steel mixed at 1.5 h showed the highest values in yield strength (YS) and ultimate tensile strength (UTS).

**Keywords:** Powder metallurgy; Powder metallurgy steels; Mixing time; Microstructure; Mechanical properties.

### 1. Giriş

Toz metalürjisi (T/M) yeni bilinen bir işlem olmamasına rağmen ancak 20. yüzyılın başlarında endüstriyel bir işlem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçtan günümüze T/M yöntemi değişik alanlarda genişleyerek kullanılmaktadır. Takım çelikleri, paslanmaz çelikler, süper alaşımlar gibi malzemelerin üretimi T/M yöntemiyle yapılabilmektedir (Erden (2015); Taşkın ve Çalgül (2006); Karabulut ve ark. (2014)). Bu yöntem ile üretilen parçalar, diğer yöntemler ile üretilen parçalara oranla daha pürüzsüz yüzeye sahip ve çoğu zaman ikincil işlem gerektirmemektedir. T/M ile seri üretimde ilk kullanılan malzemenin yaklaşık %97'sinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda parçanın daha ucuz, diğer yöntemlerle üretilmesi ve

işlenmesi zor bazı parçalar kolaylıkla ve istenilen bileşimde üretimi gerçekleştirilmektedir (Saritaş ve ark. (2007)).

Toz metalürjisinde karıştırma işlemi değişik boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karışmasını ve böylece presleme ve sinterleme performanslarının yüksek olmasını sağlar. Herhangi bir yağlayıcı ilavesi yapılmaksızın preslenen tek bileşenli sistemler dışında, diğer tüm sistemlerde karıştırma işlemi her zaman uygulanır. Farklı toz tiplerinin homojen dağılımını sağlamak için karıştırma gereklidir. Karıştırma sırasında bazı problemler mevcuttur. Bunlar; rutubet, aşırı karıştırma, boyut farkı, yoğunluk farkı ve akış karakteristik farkıdır (Saritaş ve ark. (2007); Çalgül ve Açık (2015)).

Çelikler ise mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir.

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi, TOBB TB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, [makiferden@karabuk.edu.tr](mailto:makiferden@karabuk.edu.tr)

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 (Erden ve ark. (2014); Okumuş ve Karabulut (2015)).

Literatürde TM çeliği üretimi ve mikroyapı mekanik özellik ilişkisi hakkında bazı çalışmalar mevcuttur. (Erden ve ark. (2016); Erden ve Gökçe (2016)). Örneğin Erden ve Gökçe (2016) çalışmalarında TM yöntemiyle Nb-V mikroalaşımli çelik üretmişlerdir. Sinterleme işlemini 1350°C'de 60 dakika argon ve %90 Azot-%10 Hidrojen ortamında bekleterek gerçekleştirmiş olup Nb-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 NbC(N) ve VC(N) gibi çökeltilerin oluşmasına bağlamışlardır.

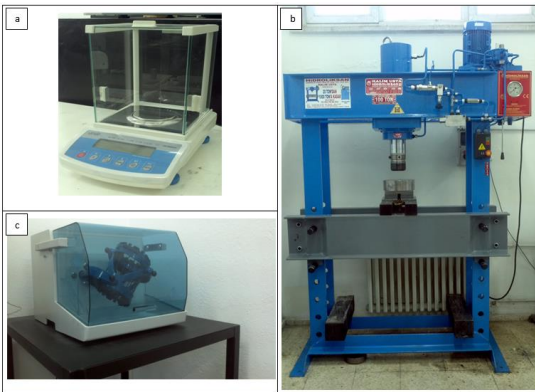
Bu çalışmada, farkı karıştırma süresi uygulanmış alaşimsız çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Karıştırma süresinin alaşimsız çeliğe mikroyapı mekanik özellikler açısından nasıl etkilediği araştırılmıştır.

## 2. Meteryal Metod

Bu çalışmada, alaşimsız çelik numuneler toz metalürjisi yöntemiyle ağırlık olarak % 0,55 grafit ve demirden oluşan bileşimde farklı karıştırma sürelerinde üretilmişlerdir. Karıştırma süresinin toz metalürjisi ile üretilen alaşimsız çeliklerin mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Karıştırma işlemi öncesinde tozlar RADWAG AS-60-220 C/2 marka hassas terazi ile 0,0001 hassasiyetinde tartılmıştır. Tartımı yapılan tozlar Turbula marka üç eksenli karıştırıcı ile 0,5-1-1,5-2 ve 2,5 saat süreyle bilyesiz olarak karıştırılmıştır.

Yağlayıcı olarak Zn-stearate kullanılmıştır. Karıştırılan tozlar, ASTM (E 8M) toz metal malzeme standartlarına uygun çekme numunesi şeklindeki kalıpta 750MPa presleme basıncında tek yönlü sıkıştırılarak blok haline getirilmiştir. Şekil 1, tozların tartımında kullanılan hassas teraziyi (a), karıştırma işleminde kullanılan turbula cihazını (c) ve sıkıştırma işleminde kullanılan presi (b) göstermektedir.

Sinterlenen çekme numuneleri 1 mm/dak. çekme hızında çekme deneyi uygulanarak koparılmıştır. Her deney sonrasında gerilme-% gerinim diyagramları elde edilerek karıştırma süresinin mekanik özelliklere etkisi belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmada kullanılan (a) Hassas Terazi, (b) Hidrolik pres ve (c) Turbula (toz karıştırıcı) cihazının görüntüsü.

Sinterleme işlemi numunelerin sinterleme sıcaklığına 5°C/dak. hızla ısıtılması ile başlamıştır. 350°C'de bütün numuneler çinko steareati buharlaştırmak için 30 dak.

bekletilmiştir. Sıcaklık 1300°C sinterleme sıcaklığına ulaştıktan sonra numuneler bu sıcaklıkta 1 saat tutulup ardından oda sıcaklığına 5°C/dak. hızla soğutulmuştur. Şekil 2, atmosfer kontrollü fırını göstermektedir.



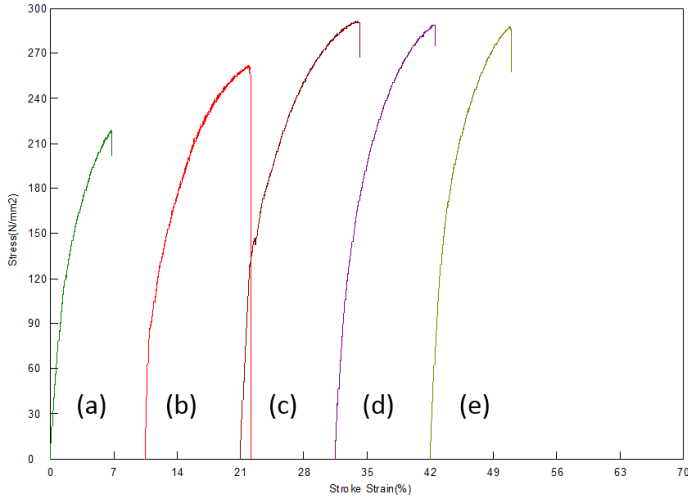
Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan Atmosfer kontrollü fırının görüntüsü.

Mikroyapı incelemeleri X50-X1000 büyütme kapasiteli Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. En yüksek dayanım elde edilen 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 kurutulduktan sonra optik mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri, Arşimet prensibiyle saf su kullanılarak belirlenmiştir. Toz metal çeliklerin perlit oranları Gladman ve Woodhead'ın tanımlamış olduğu metalografik nokta sayım metodu kullanılarak yapılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Mekanik Özellikler

Şekil 3, sinterlenen numunelerin gerilme-uzama diyagramlarını gösterirken Tablo 1 ise akma, çekme ve % uzama değerlerini göstermektedir. Şekil 3 ve Tablo 1'de görüldüğü gibi karıştırma süresinin 0,5 saatten 1,5 saate kadar artması ile alaşimsız çelik numunelerin akma ve çekme dayanımı ve % uzama değerlerinde bir artış gözlenmiştir. Ayrıca karıştırma süresinin 2 ve 2,5 saat uygulanması ile mekanik özelliklerde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Benzer çalışmalarda karıştırma süresinin artması ile paralel şekilde dayanımında artış görüldüğü ve karıştırma süresinin belli bir süre geçmesinden sonra mekanik özellikleri olumlu yönde değiştirmediği tespit edilmiştir. Örneğin Supati ve ark. (2000) ve Liu ve ark. (2005) yaptıkları çalışmalarda karıştırma süresinin artması ile üretilen malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ancak belli noktadan sonra dayanıma katkı sağlamadığını tespit etmişlerdir.



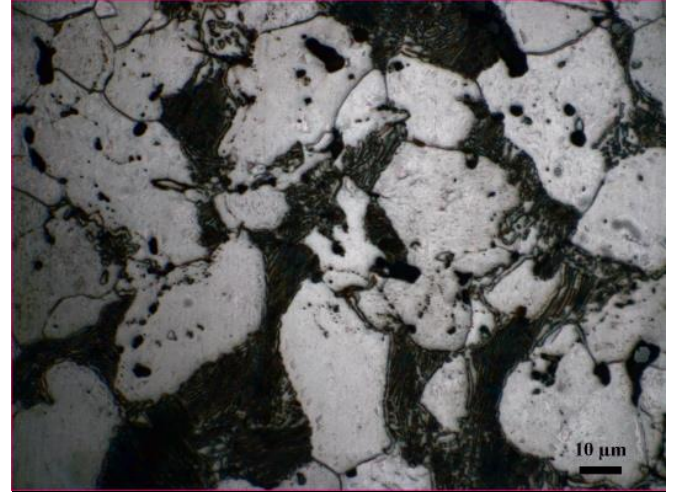
**Şekil 3.** Farklı karıştırma sürelerinde üretilen alaşımsız TM çeliklerin gerilme-uzama diyagramları. (a-0,5 saat; b-1 saat; c-1,5 saat; d-2 saat; e-2,5 saat).

**Tablo 1.** Karıştırma süresine göre TM çelik numunelerin akma, çekme ve % uzama değerleri.

Bileşim	Akma D. (MPa)	Çekme D. (MPa)	% Uzama
Numune 1 (0,5 saat)	95	219	7
Numune 2 (1 saat)	92	263	12
Numune 3 (1,5 saat)	145	292	12
Numune 4 (2 saat)	134	289	11
Numune 5 (2,5 saat)	141	288	10

### 3.2. Mikroyapı

Numune 3'ün mikroyapı resimleri Şekil 4'de görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi yapı ferrit ve perlit fazlarından meydana gelmektedir. Şekil 4'de görülen mikroyapı resimleri incelendiğinde tane sınırlarında kısmen kapanmamış gözeneklerin olduğu tespit edilmiştir. Birçok kaynakta gözenekliliğin dayanımı olumsuz etkilediği belirtilmekle birlikte gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasının dayanımı düşürmediği bildirilmiştir (Saritaş ve ark., (2007)).



**Şekil 4.** Numune 3'ün mikroyapı görüntüleri (1000X).

Toz metalürjisi ile üretilen parçaların mekanik özellikleri gözenek oranı ile ilişkilidir. Gözenekler gerilimin yoğunlaştığı merkezler olarak davranırken, çatlak ilerlemesine de katkı sağlamaktadır (Askeland (1996)). Sinterleme sonrası doğal olarak yoğunlaşma bir miktar artmıştır. Tablo 2'de sinter sonrası yoğunluk değerleri verilmiştir. Yoğunluk değerleri genel olarak % 92 civarındadır. Sinter sonrası bir yoğunluk artışı olmuştur. Yoğunluk artışı ile parça içerisindeki gözenek miktarını düşüş gözlenmiş olup yoğunluğun artması mekanik özellikleri iyileştirmektedir (Gökmeşe ve Bostan (2014)).

**Tablo 2.** TM çelik numunelerin Yoğunluk ve % gözeneklilik miktarı.

Bileşim	S. sonrası Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	S. sonrası Yoğunluk (%)	Gözenek Miktarı (%)
Numune 1 (0,5 saat)	6,969	88,88	11,12
Numune 2 (1 saat)	7,251	92,62	7,38
Numune 3 (1,5 saat)	7,239	92,47	7,53
Numune 4 (2 saat)	7,242	92,50	7,50
Numune 5 (2,5 saat)	7,233	92,39	7,61

Tablo 3. Numune 3'ün % ferrit, % perlit ve ortalama tane boyutunu vermektedir.

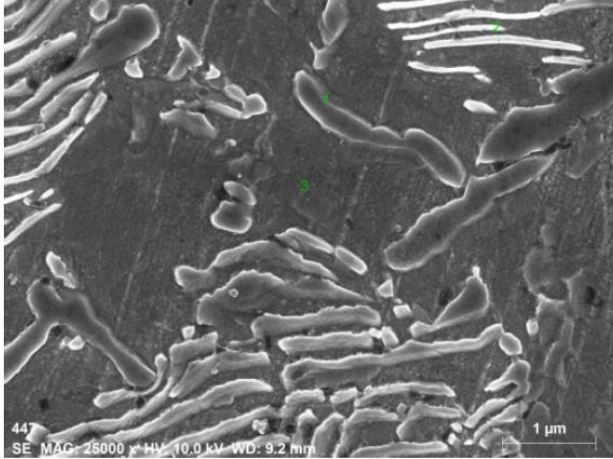
**Tablo 3.** Numune 3'ün % ferrit, % perlit ve ortalama tane boyutu.

Bileşim	Ferrit Miktarı (%)	Perlit Miktarı (%)	Ort. Tane Boyutu (µm)
Numune 3	79,5	21,5	31,3

### 3.3. SEM ve EDS Analizi

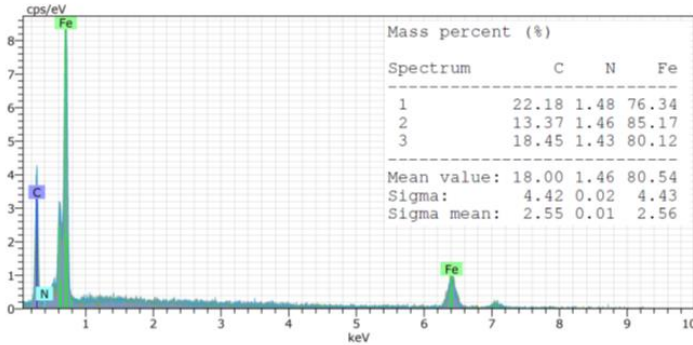
Şekil 5'de verilen Numune 3'ün SEM görüntüsü incelendiğinde optik mikroskopta alınan mikroyapı görüntüsünde olduğu gibi yapının ferrit ve perlit yapıda olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca nokta EDS analiz sonuçları bu çökteltelerin 1 nolu

spectrumda matristen alınan 3 nolu spectruma göre daha fazla karbon içermesi ve daha az oranda demir içermesinden dolayı 1 nolu spectrumun bulunduğu yerlerde Fe<sub>3</sub>C çöktellerinin meydana geldiğini göstermektedir. Benzer çalışmalar bu çöktellerin Fe<sub>3</sub>C çökteltisi olduğunu desteklemektedir. Örneğin Erden ve Gökçe (2016) yaptıkları çalışmada 1350°C'de argon ve %90 Azot-%10 Hidrojen ortamında Nb-V mikroalaşım çeliği üretmişlerdir. Alaşım miktarı artması ile dayanımda bir artış gözlemlemişlerdir. Aldıkları SEM EDS analizlerinde NbC(N), VC(N) ve Fe<sub>3</sub>C çöktellerini tespit etmişlerdir. Nb-V miktarının artması ile elde edilen dayanımdaki artışın matris içerisinde oluşan bu çökteller sayesinde olduğunu ileri sürmüşlerdir.



## Kaynaklar

- Askeland, D. R., 1996. The science and engineering of materials”, Chapman and Hall, Third S. I. Edition, UK.
- Çalgılı, U., Açıık, M., 2015. Interface characterization of friction welded low carbon steel and copper alloys. Materials Testing, 57(1), 29-36.
- Erden, M.A. 2015. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 155s, Karabük.
- Erden, M.A., Gökçe, H. 2016. The Effect of Sintering Atmosphere on Mechanical Properties of Nb-V Bsaed Microalloy Steels Produced by Powder Metallurgy Method. SYLWAN, 160(8), 362-375.
- Erden, M.A., Gündüz, S., Karabulut, H., Türkmen, M., 2016. Effect of V Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Microalloyed Powder Metallurgy Steels. Materials Testing, 58, 5, 433-437.
- Gökmeşe, H., Bostan, B. 2013. AA 2014 Alaşımında Presleme ve Sinterlemenin Gözenek Morfolojisi ve Mikroyapısal Özelliklere Etkileri. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji, 1(1),1-8.
- Karabulut, H., Çıtak, R., Çinici, H. 2014. Al Matrisli ve B4C Prçacık Takviyeli Kompozitlerin Farklı Mekanik Alaşım Sürelerinde Üretilmesi ve Karakterize Edilmesi. Proceedings 7th International Powder Metallurgy Conference and Exhibition, (PM7), 2014, 24-28 June 2014, Ankara, Turkey.
- Liu, L., Loh, N.H., Tay, B.Y., To, S.B., Murakoshi, Y., Maeda, R. 2005. Mixing and characterisation of 316L stainless steel feedstock for micro powder injection molding. Materials Characterization, 54, 230– 238.
- Okumuş, S., Karabulut H. 2015. Effect of quench and strain aging on the mechanical properties of low carbon microalloyed steels. Materials Testing, 57, 289-295.
- Okumuş, Ş., Karabulut, H. 2015. Effect of quench and strain aging on the mechanical properties of low carbon microalloyed steels. Materials Testing, 57, 289-295.
- Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N. (2007). Toz metalürjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, Türk Toz Metalürjisi Yayınları: 05, Anlara, 2007.
- Supati, R., Loh, N.H., Khor, K.A., Tor, S.B. 2000. Mixing and characterization of feedstock for powder injection molding. Materials Letters, 46, 109–114.
- Taskın, M., Çalgılı, U. 2006. Modelling of microhardness values by means of artificial neural networks of Al/SiCp metal matrix composite material couples processed with diffusion method. Mathematical and Computational Applications, 11(3), 163-172, 2006.



Şekil 5. Numune 3'ün SEM 'de alınan nokta EDS sonuçları.

## 4. Sonuçlar

Toz metalürjisi yöntemiyle farklı karıştırma süresi uygulanarak alaşımsız çelik üretimi gerçekleştirilmiş olup karıştırma süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Bütün karıştırma süreleri için 1,5 saat karıştırma işlemine tabi tutulmuş numunenin en yüksek akma dayanımına (YS) ve çekme dayanımına (UTS) sahip olduğu görülmüştür. Alaşımsız TM çelik numuneler için ideal karıştırma süresi 1,5 saat olarak tespit edilmiştir.

Karıştırma süresinin 1,5 saatten 2 ve 2,5 saate çıkması ile akma dayanımı (YS) ve çekme dayanımında (UTS) belirgin bir düşüş gözlenmemiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. KBÜ-BAP-15/2-KP-058 nolu projeye vermiş olduğu destekten dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz