

## **Karbon Nanotüp Takviyeli Alüminyum Matrisli AlMg/KNT Kompozitlerinin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi**

İsmail Topcu\*

Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji&Malzeme Mühendisliği Bölümü

30.11.2017 Geliş/Received, 07.05.2018 Kabul/Accepted

### **Özet**

Bu çalışmada, toz metalürjisi tekniği kullanılarak AlMg matrisine ağırlıkça farklı oranlar da (%2,5-%10) KNT takviyesi ile AlMg/KNT nano kompozit malzemeleri üretilmiştir. Helezonik Trubula karıştırma cihazında altı saat ve 400 Rpm de karıştırma işlemi yapılmıştır. Mekanik karıştırmanın ardından sırası ile toz karakterizasyonu, optik incelemeler, sertlik ve yoğunluk testleri yapılmıştır. XRD analizlerine dayanarak hassasiyetle 200 Mpa basınç altında metal kalıpta numuneler üretilmiştir. Üretilen AlMg/KNT kompozit numuneleri yüksek vakum altında farklı (350 °C, 400 °C, 450 °C) sıcaklıklar da 120 dakika boyunca sinterlenerek üretilen numunelerin sertlik, yoğunluk ve metalografik incelemeleri yapılmıştır. Aynı atmosferde, farklı sıcaklık ve farklı KNT oranlar ile üretilmiş olan AlMg/KNT kompozit numunelerinin XRD analizlerine ait pik şiddetlerinde artan KNT oranları ile birlikte 42,6° de gözle görülür artış olup aynı şekilde artan KNT oranı ile sinterleme sıcaklıklarına bağlı olarak sertlik değerlerinde iyileşme ve yoğunluk düşüşü gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** sinterleme, karbon nanotüpler, toz metalürjisi, mekanik özellikler

## **Investigation of Mechanical Behavior of Carbon Nanotubes Reinforced Aluminum Matrix AlMg / CNT Composites**

### **Abstract**

In this study, AlMg / KNT nanocomposite materials were produced by using powder metallurgy technique with different ratios (2.5% -10%) of KNT reinforced to AlMg matrix. Mixing was carried out for 6 hours and 400 rpm in the spiral stirrer. After mechanical mixing, powder characterization, optical examinations, hardness and density tests were carried out. Based on XRD analyzes, samples of metal mold were produced with a precision of 200 MPa. Composite samples of AlMg / KNT produced were sintered at different temperatures (350 °C, 400 °C, 450 °C) for 120 minutes under high vacuum, and hardness, density and metallographic investigations of the samples were made. In the same atmosphere, the peak intensity of XRD analyzes of AlMg / KNT composite specimens produced at different

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): İsmail Topcu

(e-posta: itopcu@alanya.edu.tr)

Bu çalışma Marmara Üniversitesi, BAP Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje numarası: FEN-K-070317-0107

temperatures and different CNT ratios showed a noticeable increase at 42.6° C with increasing CNT ratios, and with the same increase in CNT ratios, the hardness values improved and density.

**Keywords:** sintering, carbon nanotubes, powder metallurgy, mechanical behavior

## 1. Giriş

Toz metalürjisi (T/M), ince tozlu malzemelerin harmanlanması, preslenmesi daha sonra sıkıştırılmış malzemenin kontrollü bir ortamda ısıtılması (sinterleme) işlemidir. Toz metalürjisi dört temel aşamadan oluşur: toz üretimi, toz karışımı, sıkıştırma ve sinterlemedir (Koczak ve Premkumar,1989). Tozların en önemli özelliği, yüzey alanının hacimce oranının yüksek olması sonucunda kalıplama için gereken basınç da yüksek olmasıdır. Bunu elemine etmek için genellikle bir bağlayıcı eklenir ve bu şekilde çoğu toz kolayca şekillendirilir (German, 2005).

Toz numune imalatında karıştırma işleminden sonra sırası ile kalıplama (sıkıştırma) ve sinterleme aşamaları vardır. Daha yumuşak tozlar neredeyse tam yoğunluğa ulaşacak şekilde preslenebilir ancak sert tozlarda durum farklıdır ve uygulanan baskıya direnirler (Turan, 2003).

Toz teknolojileri mühendisler için proaktiftir, sadece kalıplama özellikleri nedeniyle değil, farklı tasarım seçeneklerinden dolayı farklı ürünlere uyarlanması için de elverişlidir. Genelde T/M, döküm yöntemi gibi net şekillendirme oluşturmak için birçok avantaja sahiptir ve hemen hemen tüm malzemelere uygulanabilir (Kwon ve ark., 2010; Sattler,1994). Alüminyum, metal matris kompozitleri (AMMK) için en önemli matris malzemesidir. Al alaşımları, düşük yoğunlukları, takviye ile güçlendirilebilme özellikleri, iyi korozyon direnci, yüksek termal ve elektrik iletkenliği ve yüksek sönümlenme kapasitesi nedeniyle oldukça caziptir. Alüminyum matris kompozitler 1920'lerden beri detaylı bir şekilde incelenmiştir (Ren ve ark., 1999; Nikolaev ve ark., 1996).

Magnezyum ve alaşımları, düşük yoğunlukları, iyi mekanik özellikleri, düşük maliyeti ve metalik karakteri nedeniyle mükemmel bir alternatif olabilir. Yapılan araştırmalar sonucunda, havacılık uygulamaları için plastik ve fiber takviyeli plastiklerle rekabeti kazanacak yeni bir metalik malzemeler sınıfını teşvik edecektir (Yoshida ve ark., 2003).

Karbon Nanotüp, karbondan yapılmış, nanometre ölçeğinde bir çapa sahip olan boru şekilli bir malzemedir. Karbon Nanotüpler, uzunluk, kalınlık ve katman sayıları bakımından Tek duvarlı Nanotüpleri (SWNT), Çok duvarlı Nanotüpler (MWNT), Çift duvarlı Nanotüpler (DWNT) olarak sınıflandırılırlar (Ferkel ve Mordike, 2001).

Karbon Nanotüpleri (KNT'ler), benzersiz atom yapısı ve büyüleyici özellikleri nedeniyle araştırılması için büyük merak ve ilgi gösterildi. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlar bugüne kadar KNT'lerin dünyada şimdiye kadar keşfedilen en eşsiz ve çok yönlü materyal olduğunu gösteriyor (Estrada ve ark., 2010). İstisnai mekanik özelliklerinin yanı sıra, KNT'ler son derece yüksek en/boy oranı, mükemmel kimyasal kararlılık, üstün termal ve elektriksel özelliklere sahiptir (Agnew ve ark., 2004).

Çoğu araştırmacı, metallerin, polimerlerinin ve seramik matris fazları kullanarak ileri KNT esaslı kompozitler geliştirmeye çalışıyor; bunların arasında Al ve Mg bir metal matris olarak yoğun ilgi görüyor (Kim ve ark.,2002); Hong ve ark.,2003). Magnezyumun en hafif yapısal

metal olması ile birlikte Karbon Nanotüp (KNT) malzemenin de olağan dışı mekanik özelliklere sahip hafif takviye malzemesi olması çalışmalar için avantaj göstermektedir. Birlikte, mükemmel metal matrisli kompozitler yapma potansiyeline sahiptirler (Yoshida ve ark., 2005; Fauchais ve ark., 1996).

MMK'ler geleneksel imalat teknikleri kullanılarak üretilir ve kompozit yapısının ve özelliklerinin optimizasyonu için birçok imalat tekniği geliştirilmiştir (Fauchais ve ark., 1996). MMK'lerin en önemli parametresi, matris ve takviye malzemesi arasındaki uyumluluktur. Islatılabilirliği arttırmak için, matris ile takviye arasındaki ara yüzey bağı, matris alaşımlı olmalıdır. Araştırmalar, ıslanabilirlik, maliyet ve yoğunluk dikkate alındığında alüminyum ve alüminyum alaşımlarının en iyi matris malzemeleri olduğunu göstermektedir (Yakobson ve ark., 1996).

Bu çalışmanın amacı, daha önce yapılmış olan çalışmalara ilave olarak AlMg alaşımına çok duvarlı KNT takviye ederek sertlik (çok daha hafif malzeme üretilen malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek) yoğunluk ve metalografik özelliklerini incelemektir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzeme

Bu çalışmada alüminyum magnezyum (AlMg) ve çok duvarlı karbon nanotüp tozları kullanılmıştır. Takviye olarak ağırlıkça %2,5-%10 arasında KNT tozları kullanılmıştır. Ana matris malzemesi olarak Alfa Aesar, Johnson Matthey GmbH & Co. KG firması tarafından 10 µm nominal boyuta sahip atomize edilmiş (yoğunluk 2,683 g / cm<sup>3</sup>) AlMg alaşımlı tozlar kullanıldı. Takviye malzemesi olarak yine, Karbon Nanotüp (KNT) Alfa Aesar, Johnson Matthey GmbH & Co. KG firmasının üretmiş olduğu 10 nm çap ve 10-30 nm uzunluklarında (yoğunluk 2,41 g / cm<sup>3</sup>) parçacıklar kullanıldı.

### 2.2.KNT Takviyeli Almg Matris Kompozitlerin İmalatı

Kompozitlerin üretimi AlMg tozlarına sırasıyla % 2.5, %5 ve % 10 ağırlıkça KNT ilavesiyle Turubula karıştırma cihazında altı saat boyunca karıştırıldı. Mekanik karıştırmanın iyi olabilmesi için taranan literatür ışığında süre optimize edilerek altı saat karıştırıldı. Mekanik karıştırma prosesin de 10 mm çapındaki paslanmaz bilye kullanıldı. Toz ve karıştırıcı bilye ağırlık oranı 3:/1 ve mil devri 400 rpm olarak belirlendi. Söz konusu süreç bütün farklı toz alaşımları için tekrarlandı. Farklı kompozisyonlarda üretilen tozlar daha sonra 200 MPa altında tek eksenli press ile numune imalatı gerçekleştirildi. Üretilmiş olan farklı kompozisyonlardaki 9 adet (1.Grup, 2.Grup ve 3.Grup) numune yatay tüp fırında yüksek vakum (1.2 10<sup>-2</sup> bar) ortamında üç farklı sıcaklıkta (350 °C, 400 °C, 450 °C) 2 saat süreyle sinterlendi. Elde edilen numuneler farklı sinterleme sıcaklıklarında sırası ile 1.Grup (1.1, 1.2, 1.3) % 2.5 KNT, 2.Grup (2.1, 2.2, 2.3) % 5 KNT ve 3. Grup (3.1, 3.2, 3.3) % 10 KNT içerikli numunelerdir ( Topcu ve ark., 2009).

#### 2.2.1.Yoğunluk ve Mikrosertlik Deneyleri

Üretilen kompozit numuneler sırası ile numaralandırılarak Arşimet yöntemi ile (önce havadaki ağırlıkları ardından sudaki ağırlıkları ölçülmek suretiyle) yoğunlukları hesaplanmıştır. Yoğunlukları hesaplanan kompozit numuneler uzunlamasına kesitlerinden sıcak kalıplama ile bakalite alınarak metalografik numuneler hazırlanmıştır. Bakalite alınarak

hazırlanan bütün numuneler sırasıyla 400, 600, 800 ve 1000 tane boyutlu SiC zımpara kağıtları ile özenle zımparalandıktan sonra Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pasta kullanılarak çuha ile parlatılmıştır. Bakalite alınarak parlatılmış olan bu numuneler sertlik ölçüm testleri için Future Tech. FM-7000 mikro sertlik ölçüm cihazında test edilmiştir. Üretilen kompozitlerin sertliği Vickers 136°'lik elmas uç ile 100 gr ağırlık kullanılarak HV (0.1) Vickers yöntemi ile yapıldı. Her örnek için test yükü 100 g ve bekleme süresi 15 saniye idi. Sertlik ölçme testinde her numune üzerinde yaklaşık olarak beş adet ardışık ölçüm yapılmış olup nihai olarak elde edilmiş olan beş değerın ortalaması sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Kullanılan yöntem hem takviye malzemeleri hem de ana matriks malzemelerini etkilediği için (sinterleme sonucunda matris içerisinde KNT takviyesi ile yeni karbür fazları oluştuğu için) elde edilen sertlik değeri kompozitin genel sertlik değerini vermektedir.

### 2.2.1.XRD Analizi

X-ışını kırınım analizi, bir maddenin yapısının, incelenen cisim tarafından dağınık X-ışınımının uzamsal dağılımını ve yoğunluklarını kullanan yöntemlerle araştırılmasıdır. Nötron kırınımı ve elektron kırınımı analizinde olduğu gibi, X-ışını kırınım analizi de kırınım yöntemiyle yapıyı inceler. X-ışını bir maddenin elektronlarıyla etkileşime girdiğinde, X ışınları kırınır. Kırınma şekli, kullanılan X ışınlarının dalga boyuna ve nesnenin yapısına bağlıdır. Kullanmış olduğumuz Rigaku XRD Spektrometre cihazında 10-90° arasında 20 hassasiyetle taranarak XRD sonuçları elde edilmiştir.

### 3. Bulgular

Deneysel çalışmalarda toz metalürjisi yöntemi ile AlMg tozuna farklı oranlarda takviye edilerek farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilmiş olan AlMg/KNT kompozit numunelerinin deneysel çalışma sonuçları aşama aşama bu bölümde incelenmiştir.

T/M yöntemi ile farklı % KNT oranları ile üretilmiş olan AlMg/KNT kompozit numunelerinin teorik yoğunlukları ve farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen her numunenin gerçek yoğunluk değerleri eşitlik 1 ile hesaplanarak Çizelge 3.1 de verilmiştir (Topcu ve ark., 2009).

$$1/(\rho.c)=\omega.f/\rho.f+\omega.m/\rho.m \quad (1)$$

Burada,

m: matrisin yoğunluğu.

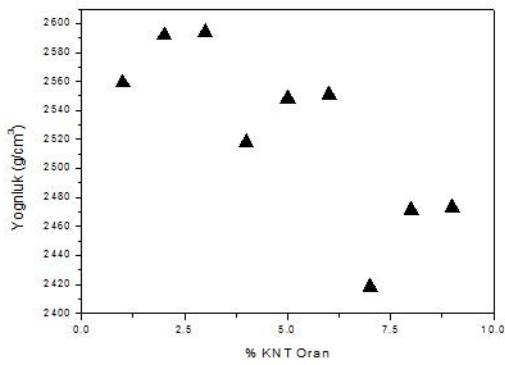
f: elyaf yoğunluğu

c: kompozitin yoğunluğuna atıfta bulunur.

Çizelge 3.1. AlMg/KNT kompozit numunelerine ait yoğunluk değerleri

| Numune Grupları | Sıcaklık °C | Teorik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Gerçek yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| %2.5 KNT        | 1Grp1       | 350 °C                               | 28                                   |
|                 | 1Grp2       | 400 °C                               | 2,673                                |
|                 | 1Grp3       | 450 °C                               | 29                                   |
| %5 KNT          | 2Grp1       | 350 °C                               | 38                                   |
|                 | 2Grp2       | 400 °C                               | 2,665                                |
|                 | 2Grp3       | 450 °C                               | 40                                   |
| %10 KNT         | 3Grp1       | 350 °C                               | 25                                   |
|                 | 3Grp2       | 400 °C                               | 2,653                                |
|                 | 3Grp3       | 450 °C                               | 29                                   |

Mekanik karıştırma sonucu üretilmiş olan AlMg/KNT kompozitlerinin teorik yoğunlukları eşitlik (1)'ile hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama ile artan ağırlıkça % KNT oranı ile kompozitin yoğunluğu düşmüştür. KNT'nin yoğunluğu matris malzemesinin yoğunluğundan düşük olduğu için yoğunluk değerlerinin bu şekilde çıkması bir beklentidir. Buna karşılık artan sinterleme sıcaklıkları ile ham şekilde üretilmiş kompozit numunelerin takviye oranlarına bağlı olarak malzeme içerisinde bulunan poroziteler sıcaklığın etkisi ile oluşan yeni fazlar ve difüzyona bağlı olarak yapı içerisindeki yer alan boşlukların azalması sonucu yoğunluk değerleri artmıştır (Topcu ve ark., 2009). T/M ile üretilmiş olan kompozitlerin gerçek yoğunluk değerleri de Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen AlMg/KNT kompozit numunelerin yoğunluk değişimleri

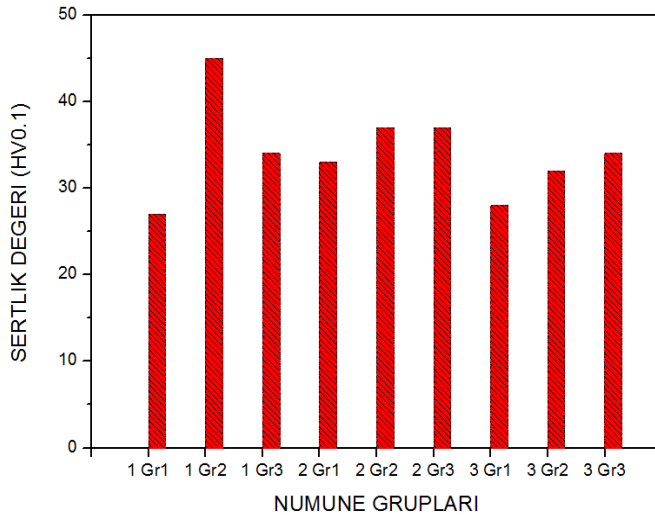
T/M yöntemi ile üretilmiş olan AlMg/KNT kompozit numunelerinin Mikroseretlik sonuçları Çizelge 3.2 'de verilmiştir

Çizelge 3.2. AlMg/KNT kompozit numunelerine ait HV Sertlik ölçüm değerleri

| Numune Grupları | Sıcaklık °C  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | Ortalama  |
|-----------------|--------------|----|----|----|----|----|-----------|
| %2.5 KNT        | 1Grp1 350 °C | 25 | 28 | 27 | 32 | 33 | <b>27</b> |
|                 | 1Grp2 400 °C | 42 | 47 | 39 | 46 | 51 | <b>45</b> |
|                 | 1Grp3 450 °C | 32 | 29 | 40 | 37 | 32 | <b>34</b> |
| %5 KNT          | 2Grp1 350 °C | 32 | 38 | 37 | 28 | 30 | <b>33</b> |
|                 | 2Grp2 400 °C | 27 | 38 | 40 | 46 | 36 | <b>33</b> |
|                 | 2Grp3 450 °C | 38 | 40 | 34 | 34 | 37 | <b>37</b> |
| %10 KNT         | 3Grp1 350 °C | 26 | 25 | 33 | 28 | 28 | <b>28</b> |
|                 | 3Grp2 400 °C | 31 | 32 | 35 | 32 | 30 | <b>32</b> |
|                 | 3Grp3 450 °C | 32 | 29 | 40 | 37 | 32 | <b>34</b> |

Burada takviye oranlarının ve sinterleme sıcaklıklarının sertlik değeri üzerine etkisi görülmektedir. Üretilen numunelere ait sertlik değerleri incelendiğinde özellikle 1.2 numaralı ve 2. Grup numunelerde sertlik değerlerinin arttığı fakat 3.grup numunelerde bu artışın devam etmediği görülmektedir. Bu değişimler sinterleme sonucunda oluşan TiC fazları kaynaklı olmaktadır. Fakat %5 ve özellikle %10 KNT oranlarında yapıda KNT odaklı aglomerasyon meydana gelmektedir. Aglomeratlardan dolayı kompozitin sertlik değerlerinde artışı devam etmemektedir (Bolzoni ve ark., 2011).

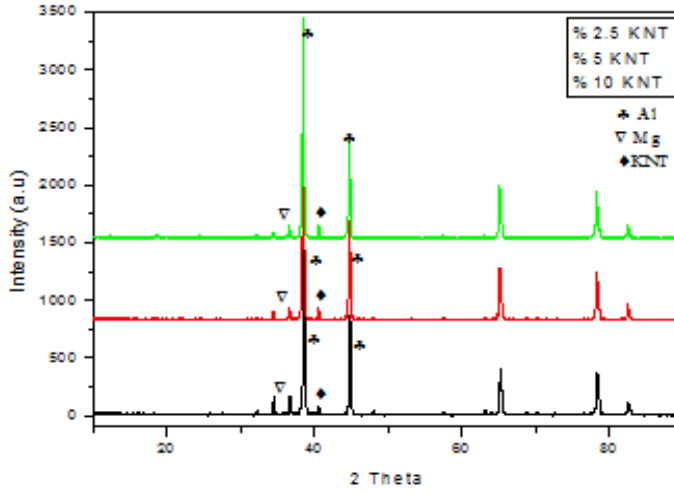
Vickers sertlik testleri, üç farklı sinterleme sıcaklığı ve üç farklı kompozisyon üzerinde gerçekleştirilen sertlik sonuçları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin sertlik ölçümleri

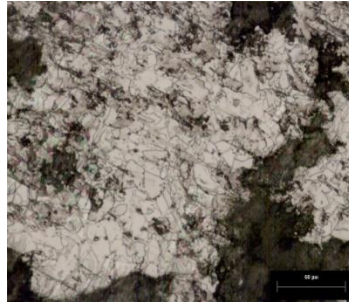
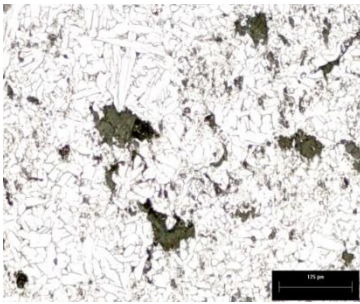
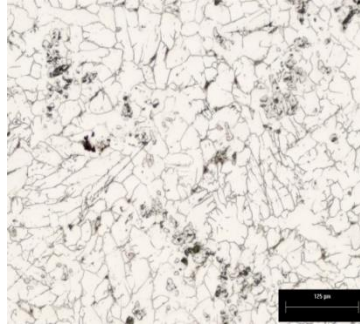
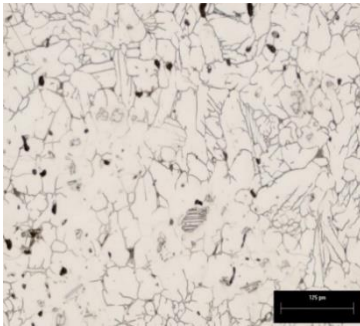
Farklı (%2.5 ,%5 ve %10) KNT oranları ile takviyeli AlMg/KNT kompozit toz numunelerinin yapılmış olan XRD analizleri Şekil 3.3’te gösterilmiştir.

Farklı oranlarda takviyeli MMC numunelere uygulanan XRD analizlerinde KNT piki 42.6°’de literatür doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Şekilde de görüleceği üzere artan KNT içeriği ile KNT'nin ana pik alanı ve şiddetinin arttığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Farklı KNT oranları ile takviyeli AlMg/KNT kompozit numunelerinin XRD gösterimi

Mekanik olarak karıştırılmış kompozit tozları XRD sonuçları ile karıştırılan tozlara ait pik şiddeti ile karışımın oluştuğunu göstermektedir. Cai ve ark.(2012) KNT tozlarına ait pik şiddetlerinin AlMg'deki KNT'lerin homojen dağılımına bağlı olabileceğini öne sürmüştür. Üç farklı KNT oranı ve üç farklı sinterleme sıcaklığı ile üretilmiş olan kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Farklı oranlarda üretilmiş AlMg/KNT kompozitlerinin mikroyapı gösterimi (a) AlMg alaşımı, b)%2.5 AlMg/KNT alaşımı, c)%5AlMg/KNT Alaşımı, d) AlMg/KNT Alaşımı)

KNT'ler matris alaşımında, farklı oranlarla takviye edilmiştir. Ortaya çıkan dispersiyon miktarı, takviyenin oranına bağlıdır. KNT takviyesinin oranı ne kadar düşükse, matriks alaşımında homojen dağılımın elde edilmesi ihtimali o kadar iyi olmuştur. Bunun nedeni, KNT'lerin geniş yüzey alanı, yüksek görünüş oranı, tek tek tüplerdeki güçlü van der Waals kuvvetleri ve bunların nano boyutları ile tüp morfolojisi, hepsi de KNT'lerin kümelenmesi ve kümelenmesine büyük ölçüde katkıda bulunurlar (Munir ve ark., 2015).

#### 4. Değerlendirme ve Sonuç

Bu çalışmada farklı KNT oranları ile takviye edilerek üretilmiş olan AlMg/KNT kompozit numunelerinin sertlik, yoğunluk ve metalografik özellikleri sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır.

Mevcut çalışmanın sonuçları şu şekilde ifade edilebilir; mikroskopik resimler, KNT parçacıklarının matriste özellikle % 2,5 KNT içeriğine sahip numunelerde homojen bir şekilde dağılmış olduğunu ve belirli bir bölgede ayrışma olmadığını göstermektedir. Fakat %5 ten sonra artan KNT oranlarına bağlı olarak yapıdaki KNT'lerin homojen dağılımları giderek bozulmuş ve belirli bölgelerde yığınlar şeklinde yapıda kaldığı gözlemlenmiştir. Yapılmış olan yoğunluk ve sertlik ölçümleri de bunu net olarak desteklemektedir.

Bununla birlikte, artan KNT parçacıklarının numunelerde aglomerasyon sonucunda gözenekli yapıya dönüşmesi kompozitin yoğunluk değerini düşürmüştür. Uygulanmış olan sinterleme sıcaklıkları bu numunelerin yoğunluk değerleri üzerine oldukça etkili olmuştur. Ancak %5 ten sonra artan KNT oranları oluşan yüksek miktardaki aglomerasyon sinterleme prosesinin de belli bir noktaya kadar difüzyonla giderilebilmiş giderilemeyen kısımları ise porozite olarak yapıda kalmıştır.

Deneylerde 400° C sinterleme sıcaklığında daha yüksek ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir. KNT ilavesiyle sertlik artış, nanotüpler ve matriks arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelen kayma gerilemelerine geçiş olarak kabul edilir. Matriks içindeki dağınık nanotüpler, ince çökelti olarak hareket eder; bu nedenle, plastik deformasyon mekanizması kayma gerilmelerine dönüşür. Kayma gerilemeleri (dislokasyon hareketlerinin), KNT'ler tarafından (yüksek mukavemetleri nedeniyle) ara yüzler de sıkışır ve çöktürülür. Oluşan bu tür çapraz kaymalar, kompozitlerin sertliklerinin artmasına neden olabilir (Dieter, 1988). Rashad ve ark. (2013) ve Paramsothy ve ark. (2011), CNT ile takviye edilmiş Mg ve Al alaşımlarında benzer tip davranışlar bildirmişlerdir.

Bu nedenle, KNT'ler % 2.5KNT içeren kompozit toz içinde nispeten daha homojen dağılmışlardır (Şekil 3.4(b), büyük hacim oranı ve KNT'lerin aglomeratları (Şekil 3.4 (c) ve (d)'deki koyu alanlar ile görülmektedir). Bu durum daha önce ortaya yapılan açıklamayı da destekleyecek şekildedir. Takviye maddesinin daha yüksek hacimde matriks içindeki KNT'lerin dağıtılmasında yaşanan artan güçlüğü atfedilmiştir.

Bu çalışmada karbon nanotüplerin bu özelliği kullanılarak daha hafif ve mekanik olarak daha iyi bir malzeme üretimi ile bir faydaya dönüşmesi hedeflenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen (FEN-K-070317-0107) nolu araştırma projesi ile yapılmıştır.



## **Kaynakça**

- Koczak, M ve Premkumar, M.K., 1989. High Performance Powder Metallurgy Aluminum Alloys an Overview. Philadelphia, 121.
- Agnew SR, Horton JA, Lillo TM, Brown DW., 2004, Enhanced ductility in strongly textured magnesium produced by equal channel angular processing. Journal of Scr Mater, 50:377.
- Bolzoni L., Esteban P., Ruiz-Navas E.M., Gordo E., 2011. Influence of Powder Characteristics on Sintering Behaviour and properties of PM Ti Alloys produced from Prealloyed Powder and Master alloy. Journal of Powder Metallurgy 54: 543-550.
- Cai W., Feng X., Sui J.,2012, Preparation of multi-walled carbon nanotube-reinforced TiNi matrix composites from elemental powders by spark plasma sintering, Journal of Rare Metals, 31, 48-50.
- Dieter G.E., 1988. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, London, 376
- Elke H., 2007. Magnesium for Aerospace Applications. EADS Deutschland Innovation Works
- Fauchais P., Vardella M., Vardelle, A., Bianchi L., 1996. Journal of Ceramic International 22:295–303.
- Ferkel H., Mordike BL., 2001. Magnesium strengthened by SiC nanoparticles. Mater Journal of Science Engineering A 298:193-199.
- Ge M., K. Sattler.,1994. Bundles of carbon nanotubes generated by vaporphase growth. Journal of Applied Physics Letters 64 (6) : 710–711
- German, R.M., 2005. Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing. Princeton, 221.
- Gülsoy H.Ö., Gülsoy N., Çalışıcı R., 2014. Particle Morphology Influence on Mechanical and Biocompatibility Properties of Injection Molded Ti Alloy Powder. Journal of Bio-medical Materials and Engineering. 24:1861-1873.
- Iijima S.,1991. Helical Microtubules of Graphitic Carbon. Journal of Nature 354: 56–58.

- Kim WJ., An CW., Kim YS., Hong SI., 2002. Mechanical properties and microstructures of an AZ61 Mg Alloy produced by equal channel angular pressing. *Journal of Scr Mater* 47:39.
- Kim WJ., Hong SI., Kim YS., Min SH., Jeong HT., Lee JD., 2003. Texture development and its effect on mechanical properties of an AZ61 Mg alloy fabricated by equal channel angular pressing. *Journal of Acta Mater* 51:3293.
- Kwon H., Park D.H., Silvian J.F., Kawasaki A., 2010. Investigation of Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Matrix Composite Materials. *Journal of Composite Science Technology* 70: 546–550.
- Nikolaev P., Bronikowski M.J., Bradley R.K., Fohmund F., Colbert D.T, K.A. Smith K.A., 1999. *Journal of Chemical Physics Letters*, 313 (1-2): 91–97
- Munir K.S., Li Y., Liang D., Qian M., Xu W., Wen C., 2015. Effect of dispersion method on the deterioration, interfacial interactions and re-agglomeration of carbon nanotubes in titanium metal matrix composites, *Journal of Materials & Design*, 88 138-148.
- Paramsothy M., Gupta M., Chan J., Kwok J., 2011. Carbon Nanotube Addition to Simultaneously Enhance Strength and Ductility of Hybrid AZ31/AA5083 alloy. *Journal of Material Science and Applications* 2: 20-29
- Rashad R.M., Awadallah O.M., 2013. Wifi Effect of MWCNTs Content on the Characteristics of A356 Nanocomposite. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 58(2): 74-80
- Ren Z.F., Huang, Z.P., Xu J.W., Wang D.Z., Wen J.G., Wang, J.H., 1999. Growth of a Single Freestanding Multiwall Carbon Nanotube on Each Nanonickel, *Journal of Applied Physics Letters*, 75 (8): 1086–1088
- Pérez R., Estrada I., Amézaga P., Miki M., Herrera J.M., Martínez R., 2010. Microstructural Characterization of Al- MWCNT Composites Produced by Mechanical Milling and Hot Extrusion, *Journal of Alloya and Compound* 495: 399–402.
- Topcu I., Gulsoy H.Ö., Kadioglu N., Gulluoglu A.N., 2009. Processing and Mechanical properties of B<sub>4</sub>C Reinforced Al Matrix Composites. *Journal of Alloys and Compounds* 482 (1-2): 516-521

- Treacy MMJ., Ebbesen TW., Gibson JM.,1996. Exceptionally High Young's Modulus Observed for Individual Carbon Nanotubes. *Journal of Nature*, 381:678–80
- Turan E., 2003. Bor -Karbür Silisyum- Karbür Kompozitlerinin Sıcak Presleme ile Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul, Türkiye.
- Yakobson B.I., Brabec C.J., Bernholc J.,1996. Nanomechanics of Carbon Tubes: Instabilities beyond Linear Response, *Journal of Physical Review Letters* 76 (14) : 2511–2514
- Yoshida Y, Cisar L, Kamado S, Kojima Y., 2003, Effect of Microstructural Factors on Tensile Properties of an ECAE-Processed AZ31 Magnesium Alloy. *Journal of Mater Transition* 44:468.
- Yoshida Y., Arai K., Itoh S., Kamado S., Kojima Y., 2005. Realization of high strength and high ductility for AZ61 magnesium alloy by severe warm working. *Journal of Science Technology Advance Mater* 6:185.