



**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE
KARBON NANOTÜP TAKVİYELİ
ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MİKROYAPI, MEKANİK,
KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdulahdi KOŞATEPE

Yüksek Lisans Tezi

Nanobilim ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Nanomalzeme Bilim Dalı

Doç. Dr. Harun MİNDİVAN

2016

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KARBON NANOTÜP
TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MİKROYAPI, MEKANİK, KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Abdulahdi KOŞATEPE

**NANOBİLİM VE NANOMÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI
Nanomalzeme Bilim Dalı**

**ERZURUM
2016**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ




TEZ ONAY FORMU

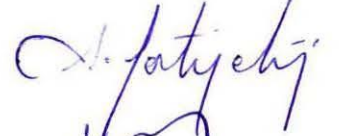
**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KARBON NANOTÜP
TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
ÜRETİMİ VE MİKROYAPI, MEKANİK, KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Doç. Dr. Harun MİNDİVAN danışmanlığında, Abdulhadi KOŞATEPE tarafından hazırlanan bu çalışma 10/02/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı – Nanomalzeme Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/0)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Harun MİNDİVAN

İmza : 

Üye : Doç.Dr A.Fatih YETİM

İmza : 

Üye : Doç.Dr Murat ALANYALIOĞLU

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 10/03/2016 tarih ve 11/39 nolu kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Ertan YILDIRIM
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE KARBON NANOTÜP TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE MİKROYAPI, MEKANİK, KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdulahdi KOŞATEPE

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Nanobilim ve Nanomühendislik Anabilim Dalı
Nanomalzeme Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Harun MİNDİVAN

Mühendislik uygulamalarında kullanılan malzeme grupları içerisinde kompozitler öne çıkan mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı vazgeçilmez bir yere sahiptirler. Örnek olarak karbon nanotüp (CNT) takviyeli kompozitler verilebilir. Polimer, seramik ve metal matriksi takviyelendirmek için CNT'ler üzerinde birçok çalışma yapılmasına rağmen yüksek mukavemet ve rijitlikle birlikte hafif tasarım gerektiren otomotiv ve havacılık uygulamalarında CNT takviyeli kompozitlerin üretim ve işletme giderlerinin birim maliyeti düşürülmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemiyle AA6061 kalite alüminyum (Al) talaş içerisinde farklı oranlarda günümüz teknolojisinin en önemli malzemelerinden biri olan çok duvarlı karbon nanotüp (MCNT) ve Al toz ayrı ayrı ve çoklu katılmasıyla istenilen bileşimde karışım olarak elde edilmiştir. Elde edilen karışımlar 3 saat boyunca 300 devir/dk'da mekanik öğütme işleminden sonra mekanik olarak tasarlanan kalıplarda preste sıkıştırılıp ve atmosfer kontrollü fırında 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında 350°C'de ekstrüzyon edilerek CNT takviyeli Al matriksli kompozit üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin yapısal karakterizasyonu optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını Difraksiyonu (XRD) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizinden sonra kompozitlere mikrosertlik, aşınma ve basma testleri uygulanmıştır. Numunelerin mikrosertliği, aşınma direnci ve basma mukavemeti mikroyapısal değişimlere bağlı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, talaş ve CNT içeriğine bağlı olarak kompozitlerin korozyon davranışları incelenmiştir.

2016, 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Talaş, Karbon Nanotüp, Mikroyapı, Mekanik Özellikler, Kompozit, Korozyon, Toz Metalurjisi.

ABSTRACT

MS Thesis

FABRICATION OF CARBON NANOTUBE REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES BY POWDER METALLURGY PROCESS AND INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL, MECHANICAL AND CORROSION PROPERTIES

Abdulahadi KOŞATEPE

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Nanoscience and Nanoengineering
Nanomaterials Science

Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Harun MİNDİVAN

Composites which are the groups of materials have an indispensable role in the materials due to their outstanding mechanical and physical properties. One example is Carbon Nanotube (CNT) reinforced composites. Although most researchers have focused on using CNTs to reinforce polymeric, ceramic and metal matrices, the rise in of CNT-reinforced composites emerging as attractive materials combining light weight with superior strength and stiffness reduced unit cost of production. Potential applications include automotive and aerospace industries. Composites which are the groups of materials have an indispensable role in the materials. Especially after the last decade, the need for composite has increased for otomotive and aircraft. The rise in the strength/weight ratio reduced unit cost of production.

In this work, powder metallurgy techniqu was employed to produce a nano composite with unique mechanical properties. 6061 Aluminum (Al) chips were used along with 99.7 % purity Aluminium (Al) powder and multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) to produce Al-CNT composites. In the first phase of the work, Al-CNT composite mixture was produced by mechanical milling at low milling speed (300 rpm) for 3 h. The composite mixture was processed into bulk material by compaction, and hot extrusion using a cylindrical compaction and extrusion die with extrusion ratio 9:1 and 16:1. Optical Microscopy (OM), Scanning electron microscopy (SEM) and X-Ray diffraction (XRD) were used to evaluate structural characterization. Compressive, wear microhardness and corrosion tests were used to characterize the mechanical and corrosion properties.

2016, 83 pages

Keywords: Aluminum Chips, Carbon Nanotube, Microstructure, Mechanical Properties, Composite, Corrosion, Powder Metallurgy.

TEŞEKKÜR

Sahip olduğu laboratuvar imkânlarının kapılarını benim kullanımım ve gelişimim için sonuna kadar açan, bilgi ve tecrübeleri ile her daim yanımda olup yoluma ışık tutan ve bana güvenen, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve mutlu olduğum kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Harun MİNDİVAN'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında karakterizasyon çalışmalarında yardımını esirgemeyen başta değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hatice BAYRAKÇEKEN olmak üzere, Sayın Arş. Gör. M. Selim ÇÖĞENLİ ve kompozit üretim safhasında yardımını esirgemeyen Sayın Uzm. Hasan Feyzi BUDAK ve Arife EFE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Hayat akışı içinde bana güvenen eşime, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anneme, babama, kardeşlerime teşekkür ederim.

Yapmış olduğum bu çalışmayı, annem ve babam'a ithaf ediyorum.

Abdulhadi KOŞATEPE

Őubat, 2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Katı Hal Geri Kazanımı.....	3
2.1.1. Giriş	3
2.1.2. Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özellikleri	7
2.1.3. Alüminyum ve alaşımlarının korozyon özellikleri.....	11
2.2. Alüminyum Matrisli Kompozitler.....	13
2.2.1. Giriş	13
2.2.2. Alüminyum matrisli kompozitlerin uygulama alanları	15
2.2.3. Alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri	16
2.2.4. Alüminyum matrisli kompozitlerin korozyon özellikleri.....	18
2.3. Karbon Nanotüp Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitler.....	20
2.3.1. Giriş	20
2.3.2. Mekanik özellikler.....	22
2.3.3. Korozyon özellikleri.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Deneysel Malzemeler	26
3.2. Deneysel Malzemelerin Üretim Yöntemi.....	26
3.3. Mikroyapı Karakterizasyon Çalışmaları	30
3.3.1. Metalografik incelemeler	30
3.3.2. XRD incelemeleri.....	31
3.3.3. Yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri.....	31
3.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).....	32

3.4. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları	33
3.4.1. Sertlik ölçümleri	33
3.4.2. Basma deneyi	33
3.4.3. Aşınma deneyi	33
3.5. Korozyon Deneyi	34
3.5.1. Ağırlık kaybı korozyon deneyleri.....	34
3.5.2. Elektrokimyasal polarizasyon korozyon deneyleri	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	36
4.1. Mikroyapı Karakterizasyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	36
4.2. Mekanik Özellik Karakterizasyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	49
4.3. Korozyon Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	56
4.3.1. Ağırlık kaybı korozyon deney sonuçları ve değerlendirilmesi	56
4.3.2. Elektrokimyasal polarizasyon korozyon deney sonuçları ve değerlendirilmesi.....	70
5. SONUÇ	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	Santigrat derece
dk	Dakika
g	Gram
h	Saat
kg	Kilogram
ppm	Milyonda kısım
s	Saniye

Kısaltmalar

Al	Alüminyum
AMK	Alüminyum matrisli kompozit
CNT	Karbon nanotüp
T/M	Toz Metalurjisi
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetri
EDS	Enerji dağılımlı spektroskopisi
MA	Mekanik alaşımlama
Mg	Magnezyum
MMK	Metal matrisli kompozit
MWCNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
OM	Optik mikroskop
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
T6	Yaşlandırma ısıl işlemi
XRD	X-ışını difraksiyonu
ECAP	Eş kanallı açısız presleme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Geleneksel alüminyum geri kazanım prosesi	4
Şekil 2.2. Alüminyum matrikste CNT içeriğine bağlı olarak mikrosertlik ve akma mukavemetindeki değişim	22
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan 6061 Al talaşının boyut analiz sonuçları ve genel görünüşü	27
Şekil 3.2. Al tozunun partikül boyut dağılımı.....	27
Şekil 3.3. (a) Ekstrüzyonda kullanılan kalıplar ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranında 350°C’de ekstrüze edilen kompozit numune.....	28
Şekil 3.4. Kompozit ürünün T/M ile üretimi	29
Şekil 3.5. Sıcak ekstrüzyon işlemi için tasarlanan fırın kontrol ünitesi ve 100 ton kapasiteli dikey eksenli pres	30
Şekil 3.6. X-ışını difraksiyon çalışmalarında kullanılan GBC MMA 027 model XRD cihazı.	31
Şekil 3.7. Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan Precisa™ XB220A tartım cihazı	32
Şekil 4.1. Aktifleştirme işleminden (a) önce ve (b) sonra CNT'lere ait SEM görüntüleri	36
Şekil 4.2. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin OM görüntüleri	37
Şekil 4.3. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin OM görüntüleri.	38
Şekil 4.4. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 ve %75 talaş içeriğinde ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin ekstrüzyon yönü boyunca SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analiz sonuçları	39
Şekil 4.5. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %0.5 ve %4 CNT içeren kompozitlerin XRD paternleri	41

Şekil 4.6. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin yoğunluğunun CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	43
Şekil 4.7. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin elektrik iletkenliğinin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	45
Şekil 4.8. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin porozitenin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	46
Şekil 4.9. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeren kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak DSC değişimi	48
Şekil 4.10. 9:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeren kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak entalpi değişimi	49
Şekil 4.11. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerde mikrosertliğin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	51
Şekil 4.12. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerde mikrosertliğin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	52
Şekil 4.13. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin aşınma hızının CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	52
Şekil 4.14. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 CNT içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri.....	52
Şekil 4.15. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %1 CNT içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri.....	52
Şekil 4.16. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi	57

Şekil 4.17. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi	58
Şekil 4.18. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin korozyon hızlarının CNT içeriğine bağlı olarak değişimi	59
Şekil 4.19. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi.....	60
Şekil 4.20. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.21. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi	62
Şekil 4.22. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi	63
Şekil 4.23. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin korozyon hızının porozite içeriğine göre değişimi	64
Şekil 4.24. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon yüzeylerine ait OM görünümleri	65
Şekil 4.25. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon yüzeylerine ait OM görünümleri	66
Şekil 4.26. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon deneyi sonrası kesitlerinin OM görünümleri.....	67

Şekil 4.27. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon deneyi sonrası kesitlerinin OM görüntüleri.....	68
Şekil 4.28. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin pit konsantrasyonunun CNT içeriğine göre değişimi	69
Şekil 4.29. İncelenen numunelerin (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında korozyon hızına bağlı olarak pit konsantrasyonunun değişimi.....	70
Şekil 4.30. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin polarizasyon eğrileri.....	722
Şekil 4.31. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin polarizasyon eğrileri.....	73
Şekil 4.32. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrası korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri.....	74
Şekil 4.33. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrası korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Otomotivde kullanılan alüminyum alaşımları	5
Çizelge 2.2. Matris malzemesi olarak seçilen metallerin yoğunluk ve fiziksel özellikleri	8



1. GİRİŞ

Otomotiv ve havacılık sektöründe maliyet ve kalitenin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Esasen maliyet ve kalite birbirine bağımlı olmakla birlikte kalitenin artışına bağlı olarak maliyetin mümkün olduğunca düşük oranlarda artması mühendislik araştırmalarının da önemle üzerinde durduğu bir noktadır. Ayrıca temel mühendislik problemlerinden biri olan mukavemetin düşmemesi koşuluyla ağırlığın azaltılması gibi mühendislik problemleri maliyet ve kalite açısından belirleyicidir. Kompozit malzemeler ileri teknolojik malzemeler olup, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yeni malzemelerdir. Geleneksel malzemelerle kıyaslandığında, kompozit malzemeler mükemmel boyutsal kararlılık, yüksek spesifik mukavemet, yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik gösterirler. Titanyum, nikel, bakır ve alüminyum en yaygın kullanılan matriks malzemesidir, bu ve bunun gibi matriks malzemesiyle üretilen kompozitlere metal matriksli kompozitler (MMK) denir. MMK içerisinde ise Al-Mg, Al-Cu, Al-Zn-Mg-Cu ve Al-Mg-Si alaşımları, denizcilik, otomotiv, askeri ve havacılık uygulamalarında düşük yoğunluğundan, yaşlandırma ile mukavemet kazanma yeteneğinden, mekanik özelliklerinin düşük sıcaklıklarda değışmemesinden, iyi korozyon dayanımından, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğinden ve yüksek sönümlenme kapasitesinden dolayı kullanılan oldukça cazip matriks malzemelerdir.

Bu çalışmada alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemeler üretilerek mevcut alüminyum (Al) talaşını geleneksel olarak ergiterek geri kazanma yerine ekstrüzyon sırasında karbon nanotüp (CNT) hareketini gözlemlemek amacıyla Al talaşını attritör cihazında inert ortamda CNT (ağırlıkça %0, 0.5, 1.0, 2.0 ve 4.0 CNT; boyutu ~ 9.5 nm) ile birlikte mekanik öğütme, öğütülen kompozit bileşenleri (Al talaşı/CNT) arasında bağlanmayı artırmak için kullanılan Al toz karışımını önce soğuk presleme ve ardından sıcak ekstrüzyon işlemi ile elde edilen takviyesiz Al alaşımı ve alüminyum matrisli kompozitlerin yapısal, mekanik ve korozyon davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Üretilen kompozitlerde CNT'ün dağılımını incelemek için optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanıldı. Takviyesiz Al alaşımı ve Al matrisli

CNT takviyeli kompozitin yapısal karakterizasyonu, mekanik özellikleri ve korozyon davranışı incelendi. Yapılan bu çalışma ile toz metalurjisi yöntemiyle Al talaşının katı halde geri kazanımı sağlanarak CNT takviyeli Al matrisli kompozitlerin üretiminin gerçekleştirilmesi ve vasıflı kompozit üretiminde ülkemizin uluslararası platformda söz sahibi olması hedeflenmektedir.

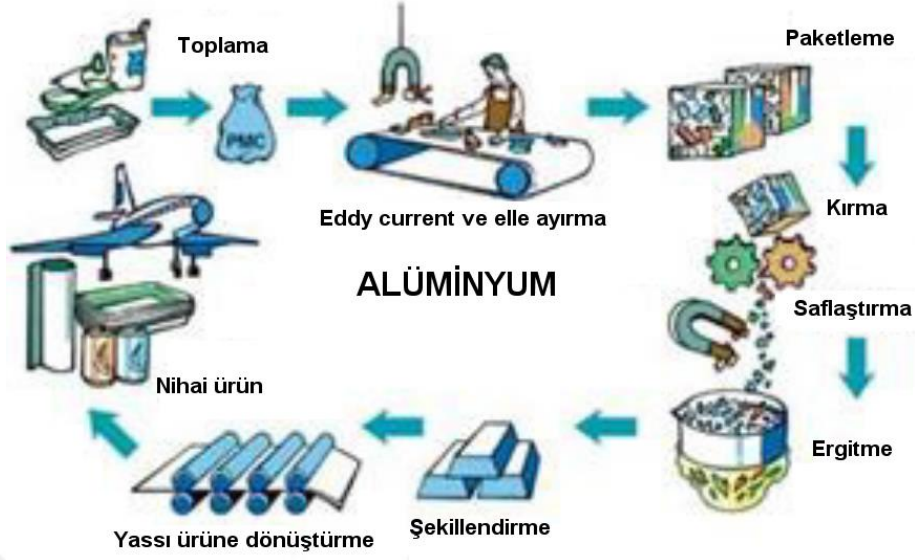


2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Katı Hal Geri Kazanımı

2.1.1. Giriş

Dünyada toplam birincil alüminyum tüketimi 2013 yılında 50,2 milyon tondur. Çin 2,2 milyon ton ile dünya çapında birincil alüminyum ana kullanıcısı olup, Avrupa (7,2 milyon ton) ve Kuzey Amerika (5,5 milyon ton) birincil alüminyum tüketimi için önemli bölgeler arasında yer almaktadır. Alüminyum 24 milyon ton mevcut yıllık tüketimi ile dünyanın en çok tüketilen demir dışı metalidir (Khamis *et al.* 2015). Bu toplam hacmin yaklaşık %75'i yani 19 milyon ton alüminyum, boksit cevherinden geri kalan kısmı ise geleneksel geri kazanım yöntemi ile temin edilmektedir (Şekil 2.1). Geri kazanım, enerji tasarrufu ve doğal kaynakların tükenmesini önlemeye yardımcı olmaktadır. Örneğin alüminyum geleneksel geri kazanımında tüketilen enerji ton başına yaklaşık 10 GJ iken, bu değer cevherden başlayarak alüminyum üretimi için gerekli olan enerjinin %5 ila %10'a karşı gelmektedir. Ergitme işlemindeki teknolojik gelişmelere rağmen alüminyum hurdaya bağlı olarak geleneksel geri kazanım için genellikle 10 GJ mertebesinde olan enerji tüketimi 20 GJ/ton'a kadar artmaktadır. Yüksek enerji tüketimine ilave olarak üretim için hurda toplanması, taşınması, tasnifi ve hazırlanması, ergitme, rafinasyon, alaşımlama gibi süreçlerden dolayı metal yanması ve oksidasyonla metal kaybı yaklaşık %20 civarındadır. Geleneksel geri kazanım yöntemine göre en ekonomik, çevreyi en az kirletecek ve daha az enerji tüketecek katı hal geri kazanım sayesinde %40 kadar malzemenin, %26-31 enerji ve iş gücünden %16-60 arasında tasarruf sağlanmış olacaktır (Vatansever *et al.* 2011). Metal içeren herşey özünden önemli olduğu için sanayi genellikle geri kazanım sektörünün etrafında büyümektedir. Bu nedenle ulaştırma ve inşaat sektörleri alüminyum ekstrüzyon ürünlerinin başlıca kullanıcıları olmuştur. Hatta günümüzde ekstrüzyon kullanımı kapı - pencere imalatı ve binek araçlarda yer almaktadır (Ab Rahim *et al.* 2015).



Şekil 2.1. Geleneksel alüminyum geri kazanım prosesi (Ab Rahim *et al.* 2015)

Alüminyum, hafifliğinin yanı sıra, yüksek elektrik ve ısı iletkenlik, atmosferik korozyon direnci, kolay üretilebilirlik ve yaşlandırma ile mukavemeti artırılabilme gibi özelliklere sahiptir. Saf olarak kullanıldığı gibi, alaşım olarak da kullanılabilir. Hacimsel küçülmeyi azaltmak, korozyon direnci, mukavemet, akışkanlık, işlenebilirlik ve kaynak edilebilirlik özelliklerini arttırmak amacı ile alüminyuma yüzde fazla alaşım elementleri eklenebilmekte ve alaşım oluşturulabilmektedir (Yağcıgil 1997).

Demir-çelikten sonra alüminyum, sahip olduğu üstün mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde çağımızın en çok kullanılan metallere biridir. Alüminyumun aşağıda sıralanan olumlu özellikleri, pek çok durumda alüminyumu ideal ve ekonomik bir malzeme olmasını sağlamaktadır (Başer 2012).

- Uygun mekanik özellikleri ve düşük yoğunluk,
- Geri dönüşebilir olması,
- Korozyon direnci,
- Parlaklık ve dekorasyon özelliği,
- Patlama ve alev almazlık,
- Yüksek elektrik ve ısı iletkenliği,

- Kolay işlenebilme kabiliyeti,
- Magnetik nötralite,
- Alaşımlarının yaşlandırma ile mukavemetinin artırılması,
- Çok farklı yöntemlerle yüzey işlemine tabi tutulabilmesi,

Alüminyum otomotiv, havacılık, ambalaj, ev aletleri olarak kullanımı yanı sıra ışığı yansıtmasından dolayı dekorasyon malzemesi, spor aletleri gibi çok çeşitli ürün yelpazesinde kullanılmaktadır. Çizelge 2.1’de tipik otomotiv alaşımları ve uygulama dağılımları verilmektedir. Otomotiv uygulamalarında bütün döküm alaşımları içerisinde yaklaşık %48 gibi pay ile en yaygın kullanılan döküm alaşımı A359 (AlSi9Cu3) alaşımıdır. Bu alaşımın ardından tekerlek ve fren uygulamaları için yaklaşık %20 gibi pay ile A356 (AlSi7Mg) alaşım gelmektedir (Cui *et al.* 2010).

Çizelge 2.1. Otomotivde kullanılan alüminyum alaşımları (Cui *et al.* 2010)

Alaşım Tipi	Kod	Alaşım İçeriği	% Pay
Döküm (% 78)	A359	AlSi9Cu3	48
	A356	AlSi7Mg	20
	A361	AlSi10Mg	12
	–	AlSi12Cu	9
	A413	AlSi12	7
	A332	AlSi12CuNiMg	4
Ekstrüzyon, dövme ve haddeme ürünleri içeren Dövme alaşımları (% 22)	AA6060	AlMgSi0.5	35
	AA6082	AlMgSi1	11
	AA3003	AlMn1	10
	AA5182	AlMg4.5Mn0.4	9
	AA5754	AlMg3	14
	AA6016	AlSi1.2Mg0.4*	15
AA7020	AlZn5.4Mg1	6	

Bütün bu olumlu özellikler sebebiyle endüstride yaygın olarak alüminyum alaşımlarının kullanımından dolayı hurda oluşmaktadır. Geri kazanımda kullanılan alüminyumların gruplandırılması aşağıda verilmektedir.

- Ana üretim yerlerindeki teknolojik hurda,
- Kullanım ömrünü tamamlamış parçalar,
- Ocak atıkları,

Ana üretim yerlerindeki teknolojik hurdalar: ekstrüzyon, hadde, yarı mamul gibi atıklardır. Bu artıklarda, henüz yeni işlemden çıktıkları için oksitlenme ve korozyona uğrama gibi problemlerle karşılaşmaz (Meriç vd 1999).

Metal hurdaları arasında alüminyum talaşlarının geleneksel geri dönüşüm yöntemiyle geri kazanılması çok zordur. Alüminyum talaşlarının uzamış spiral şekilli olması ve diğer metal hurdalarına göre küçük boyutlarda olması bunun ana sebeplerini oluşturmaktadır. Aynı zamanda alüminyum talaşları düşük yoğunluğa ve yüksek talaş alanı/hacim oranına sahip oldukları için taşınmaları da zordur. Yüzeydeki oksit tabakasının varlığı ve geri kazanım sırasında oluşan oksit tabakası yüzey alanına bağlıdır. Bu oksit tabakaları kütle kaybına sebep olarak geri kazanım verimini düşürmektedir. Geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak ergitme olmaksızın toz metalürjisi ve ardından sıcak ekstrüzyon yöntemi ile talaşların katı halde geri kazanılması ile malzeme, iş ve enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Gronostajski *et al.* 1999).

Geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak katı hal kazanım yönteminin en önemli avantajı ilave dikkat ve özel koruyucu ortam gerektirmemesidir. Bu avantajların yanı sıra soğuk presleme, sıcak ekstrüzyon veya sıcak haddeleme gibi plastik deformasyon yöntemleri ile talaş içerisinde oksit dağılımı ve tane boyutu gibi mikroyapısal özellikler kontrol edilebilir. Bu nedenle katı halde geri kazanılan ürünler, mükemmel özellikler sergilemektedir (Gronostajski *et al.* 2000; Fogagnolo *et al.* 2003; Samoshina *et al.* 2008; Tekkaya *et al.* 2009).

Katı hal geri kazanım yöntemi ile metalik talaşların %95'i geri kazanılabilir. Metalik talaşların doğrudan kompakt metale dönüştürülmesi sayesinde düşük iş gücü maliyeti

enerji tasarrufu çevreye saygı ve metal kaynakların korunumu sağlanmış olacaktır (Gronostajski *et al.* 1999).

Alternatif geri kazanım yöntemlerinde değirmen sistemi ile metalik talaşları toza dönüştüren malzeme dönüşümünde toz boyutu 1 ila 4 mm arasında değişmekte ve inceltiren alüminyum talaşlarının soğuk preslenip ardından sıcak ekstrüze edilmesi ile doğrudan dönüşümü ve sanayide bol miktarda bulunan alüminyum talaşlarının geri kazanımı sağlanmış olacaktır (Suryanarayana *et al.* 2001).

Alüminyum metalinin geri dönüşümü dikkate alındığında tüm malzemelerden daha verimlidir. Alüminyum kullanım kalitesinden hiçbir şey kaybetmeden tekrar tekrar geri kazanılabilir. Yüksek hurda değeri ve kalitesi alüminyumun geri dönüşümünü ve tekrar kullanımını garanti etmektedir.

2.1.2. Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özellikleri

Saf alüminyumun mukavemetinin düşük olması sebebi ile kullanım alanı oldukça sınırlıdır. Bundan dolayı alüminyum esaslı bir parça üretmek için alaşımlama yapılması gerekir. Saf alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen alaşım elementlerden süneklilik kabiliyetini düşürmeden akma ve çekme mukavemetinin artırılması amaçlanır. Alüminyum metaline ilave edilen alaşım elementleri Mg, Ti, Si, Cr, Zn ve Cu'dır. Katı eriyik oluşturabilen bu alaşım elementleri alüminyumun kafes yapısına girerek deformasyon sırasında dislokasyon hareketini engelleyerek akma ve çekme mukavemetini arttırmaktadır. Ancak alaşım elementleri bazen alüminyum ile sert ve kırılabilir metallere arası bileşikler oluşturabilir. Malzeme içerisinde oluşan bu metaller arası bileşikler alüminyumun mukavemetini arttırırken deformasyon kabiliyetini olumsuz yönde etkilemektedir (Moon *et al.* 1999).

Alüminyum alaşımlarının ticaret sektöründe kullanım alanlarının yaygınlaşması özellikle otomotiv, uçak ve uzay endüstrisi sektöründe kendine yer bulması önemini arttırmaktadır. Bu alaşımlar diğer metal alaşımlarına göre sertliğinin az ve daha düşük

aşınma direncine sahip olmasına rağmen hafifliğinden dolayı tercih edilmektedir. Bu nedenle aşınma direncini ve mukavemetini arttırmak, kaynak kabiliyeti kazandırmak amacıyla Al alaşımlarına Mg ilave edilmektedir (Evlen vd 2009). Çizelge 2.2’de alüminyum ile diğer metallerin karşılaştırmalı olarak yoğunluk ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Havacılık ve uzay endüstrisinde taleplerin hızlı bir şekilde arttığı yapılarda spesifik mukavemeti ve termal kararlılığı yüksek olan Al esaslı enstürümanlar dikkat çekmektedir (Liu *et al.* 2012).

Çizelge 2.2. Matris malzemesi olarak seçilen metallerin yoğunluk ve fiziksel özellikleri (Mindivan 2007)

Metal	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Mukavemet (MPa)	Termal İletkenlik (W/m°C)	Termal Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)
Alüminyum	2,7	660	68,9	290	221	23,6
Magnezyum	1,74	649	44,0		100	26,1
Ti-6Al-4V	4,51	1660		985	16	9,5
Berilyum	1,85	1350	310	1100		11,6
Bakır	8,90	1083	124	413	391	16,5
Tungsten	19,3	3410	345	2890	178	4,6
Paslanmaz Çelik	7,9	1539	200	2390		8,5
Molibden	10,2	2625	331	2200	146	5,1

Alüminyum alaşımlarının mukavemetinin artırılması amacıyla i) çözeltiye alma, ii) su verme, iii) yaşlandırma olmak üzere üç basamaktan oluşan yaşlandırma (T6) ısıl işlemi uygulanmaktadır. Yapılan bu çalışmada T6 ısıl işlem uygulanmış ticari olarak temin edilen alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine deformasyon yaşlanmasının etkisi belirlenmiş, yapı-özellik ilişkisi irdelenmiş ve sonuç olarak mekanik özelliklerin deformasyon sertleşmesi ile iyileştiği tesbit edilmiştir (Güleryüz vd 2011).

AA6001 alüminyum alaşımının mekanik ve mikroyapı özelliklerine ECAP (Equal Channel Angular Pressing) ve soğuk ekstrüzyonun etkisini çalışmışlardır. AA6001 Malzemesini 105° kalıp açısı ve 3 kez tatbik edilen basma ile 2 farklı işlem oranında ECAP işlemi uygulanmış ve sonuç olarak soğuk ekstrüzyondan sonra ECAP oranına göre malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Nagarajan *et al.* 2007).

Son yıllarda mekanik alaşımlama (MA) yöntemi ile hafif, mukavemetli, korozyon direnci yüksek ve yüksek sıcaklık performansı artırılmış malzeme üretimi araştırılmıştır. Bu durum özellikle Al gibi hafif malzemeler üzerinde yapılan çalışmalara ağırlık verilmesine yol açmıştır. Yapılan çalışmalarda Al içerisinde ekstrüzyon sonrası oluşan veya oluşturulan Al₄C₃'ün sertliği arttırdığı, yaşlanmayı yavaşlattığı, çekme ve yüksek sıcaklık performansını arttırdığı bildirilmiştir (Bostan 2007).

Yüksek sıcaklıklarda ki uygulamalar için sürünme direncinin artırılmasına amacı ile yapılan çalışmalar deneysel alaşımların artmasına sebep olmuştur. Bu alaşımların en önemlisi Mg-Al-Ca (ACX) esaslı alaşım sistemidir. ACX alaşımlarının mikroyapısında üçlü metaller arası faz (Mg, Al)₂Ca belirlenmiş ve alaşımların sürünme direncini artırmıştır. Çekme ve basma yükü altında mükemmel sürünme direnci sergileyen yeni ACX alaşımları, otomotiv güç aktarma parçalarında kullanılmakta ve düşük maliyetli malzeme ihtiyacını da sağlamaktadır (Luo *et al.* 2002).

Ekstrüzyon oranının etkisi farklı sıcaklıklardaki kütük malzemelerin ekstrüze edilmesiyle incelenmiştir. Kütük malzemeler su verme ve yavaş soğuma şartlarında çekilmeye hazır hale getirilmiştir. Ana malzemenin akış hızını ve ekstrüzyon çıkış sıcaklığını sabit tutmak için, AA6101 malzemesi 10, 30 ve 50 mm'lik üç farklı çapta kalıp kullanılarak doğrudan ekstrüze edilmiştir. T1 ve T6 ısıl işlemi uygulanmış numunelere mekanik testler yapılmıştır. Sonuç olarak ekstrüzyon oranının çekme mukavemeti üzerinde etkili olduğu, AA6101 alaşımının çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Karabay *et al.* 2005).

Bazı araştırmacılar 2004 yılında katı hal geri kazanım ve döküm yöntemi ile 5083 kalite alüminyum alaşımının mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Döküm yöntemi ile elde edilen alüminyum alaşımına nazaran katı hal geri kazanım yöntemi ile elde edilen alüminyum alaşımının oda sıcaklığı çekme mukavemeti ve kopma uzaması tane inceliği sayesinde daha yüksektir. Ancak yüksek sıcaklık mekanik özellikleri oksit kirlenmesinden dolayı azalmıştır (Chino *et al.* 2004).

Araştırmacılar 2012 yılında talaştan nihai ürüne dönüştürülmesinde kalıp tasarımının (yassı yüzey, parçalı ekstrüzyon kalıp ve ECAP) mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemişlerdir. Mukavemet ve süneklik açısından ECAP ekstrüzyon kalıp kullanımının daha elverişli olduğu ortaya çıkmıştır ve mikroyapı sonuçları (ince üniform tane) ile uyumludur (Misiölek *et al.* 2012).

AA6060 kalite alüminyum talaşlarının sıcak ekstrüzyon yöntemi ile katı hal geri kazanımında mikroyapı ve mekanik özelliklerine kalıp tasarımının (yassı yüzey ve parçalı ekstrüzyon kalıp) etkisi incelenmiştir. Parçalı ekstrüzyon kalıp yöntemi ile edilen ürünlerde talaşlar arasında iyi bir bağlanmanın gerçekleştiği ve sünekliğin arttığı tespit edilmiştir (Güley *et al.* 2013).

AA6060 kalite alüminyum talaşlarının sıcak ekstrüzyon ve ardından soğuk ekstrüzyon yöntemi ile doğrudan geri kazanımı incelemiştir. Bu çalışmada yassı kalıp ile kendi geliştirdikleri kalıp (ekstrüzyon sırasında talaşları etkileyen basınç ve deformasyonu artıran tek bir kalıp içinde sıcak ekstrüzyon ile birlikte ECAP'ı birleştiren bir kalıp prosesi) ile elde edilen ürünlerin kalitesini karşılaştırmışlardır. Talaş esaslı nihai ürünlerin kalitesi, sıcak ekstrüzyon prosesi sırasında talaşlar arasındaki bağlanma kalitesine bağlıdır (Haase and Tekkaya 2015).

Araştırmacılar mekanik alaşımlama ve sıcak presleme şartları altında alüminyum hurda ve Nikel toz karışımlarını kullanarak Ni₃Al-esaslı alaşım üretmişlerdir. Elde edilen alaşımının mikrosertliği 900 HV_{0,1} üzerinde olup, yoğunluğu ise Ni₃Al metaller arası fazın teorik değerine yaklaşılmıştır (Antolak *et al.* 2016).

2.1.3. Alüminyum ve alaşımlarının korozyon özellikleri

Geniş anlamda korozyon katı maddelerin çeşitli etkiler altında dıştan içe doğru ilerleyen aşınmasıdır (Üneri 1988). Korozyon, malzemenin veya malzemelerin çevre ile etkileşimi sonucunda fiziksel ve kimyasal özelliklerin olumsuz yönden etkilenmesidir. Söz konusu etkileşim genellikle elektrokimyasaldır (Yurdakul vd 2002).

Alüminyumun oksijene karşı çok büyük ilgisine rağmen korozyona karşı dayanıklı bir metaldir. Alüminyum korozyona maruz kaldığında yüzeyinde hemen çok ince (20-25 Å) bir oksit tabakası oluşur ve bu oksit tabakası malzemenin içine doğru çözeltinin daha fazla nüfuz etmesini önler. Alüminyum'un bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel nedenidir. Birçok asitli ortama karşı aynı yüksek korozyon direncini gösterirken bazı alkaliler bu oksit tabakasını tahrip etme özelliğine sahip olmasından dolayı bu gibi ortamlarda düşük korozyon direnci gösterir. Elektrolitik ortamlarda bazı metallerle doğrudan temas etmesi sonucunda alüminyum galvanik korozyona uğrayabilir. Bu duruma karşı önlem olarak boya ya da yalıtkan bant uygulaması yapılır (Ekinci 2007). Ergimiş alüminyumun üzerinde de çok kısa bir sürede bir oksit tabakası oluşmakta ve ergimiş alüminyumun oksitlenmesini sağlayarak yanmasını engellemektedir (Nie *et al.* 2000).

Alüminyumun oksit tabakası oluşturma özelliğinden dolayı alüminyum pek çok koroziv ortamda kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarının içinde bulunan diğer alaşım elementleri alüminyum ile galvanik pil oluşturmaya uygun olduklarından dolayı, korozyon açısından alüminyumun mümkün olduğu kadar saf olarak kullanılması tavsiye edilir. Fakat düşük mekanik özellikleri nedeniyle uygulamalarda saf alüminyum kullanımı yaygın değildir (Sağlam *et al.* 2004).

Nötr ortamlarda alüminyum yüzeyinde oyuklanma eğilimi yüksektir. Diğer metallerin aksine alüminyumda oyuklanma korozyonu dikkat çekmektedir. Oyuklar beyaz, çok miktarda ve jelimsi alümine jel ($Al(OH)_3$) kabarcıkları ile kaplıdır. Bu kabarcıklar oyuklardan çok daha büyüktür. Oyuklanma korozyonu, alüminyumun su, deniz suyu,

yağmur suyu ve nemli ortam gibi sulu bir ortamda bulunmasında gerçekleşir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki oyuklanma korozyonunun ilerlemesi korozyonun açığa çıktığı ilk haftalarda olmaktadır (Mindivan 2007).

Korozyonun en tehlikeli türlerinden birisi de gerilmeli korozyon çatlamasıdır. Çekme gerilmesi ve özel korozif koşulların bir arada bulunması nedeni ile gerçekleşir. Alüminyum alaşımında hidrojenin neden olduğu kırılma önemli bir problemdir. Katodik reaksiyonla meydana gelen hidrojen, tane sınırları boyunca difüze olmakta ve malzemenin dayanımında düşmeye sebep olmaktadır. Bu da çatlakların başlamasına öncülük etmektedir. Isıl işlem görmüş alüminyum alaşımları ve %3,5'den daha fazla magnezyum içeren Al-Mg alaşımları gerilmeli korozyon çatlamasına hassastırlar (Karacif 2005).

AA6063 alaşımı kullanılarak yapılan bu çalışmada ekstrüze edilen alaşımın korozyon özellikleri incelenmiştir. Her birinin çapı 20 cm ve boyu 70 cm olan 10 ayrı parça kullanılmışlardır. Bu iş parçaları öncelikle $565(\pm 20)^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcak fırınlarda 6 saat boyunca homojenize edilerek 17°C sıcaklıkta ve 180 dm^3 soğuk su banyosuna daldırılmışlardır. Herhangi iki numune soğutulmaya bırakılmış geri kalan sekiz numune ise farklı sıcaklıklarda (250, 325, 400, 450°C gibi) 24 saat boyunca yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışmada korozyon olayı ele alınmış ve üzerinde durulmuştur. Malzemelerde ekstrüzyon işleminden sonra ortaya çıkan korozyon ve nedenleri incelenmiştir. Sonuç olarak oyuk korozyonu mekanizmasının Mg_2Si çökeltilerinin oranına ve boyutuna bağlı olduğu tespit edilmiştir (Mol *et al.* 2005).

Katı halde geri kazanılan 5083 kalite alüminyum alaşımında demir kirlenmesinden dolayı korozyon direnci, döküm yöntemi ile elde edilen alüminyum alaşımına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Chino *et al.* 2003).

2.2. Alüminyum Matrisli Kompozitler

2.2.1. Giriş

Günümüzde metalik malzemeler ve alaşımları ilerleyen teknolojinin ihtiyacına cevap verememektedir. Bundan dolayı daha üstün özelliklere sahip olan kompozitlerin üretimi hedeflenmiş ve bu konu üzerine birçok çalışmanın gerçekleştirildiği bir döneme girilmiştir. Metalik alaşımlara göre hafifliği ile ön plana çıkan kompozitler aynı zamanda yüksek spesifik mukavemete sahiptirler.

Bir tek malzemenin kendi başına sağlayamadığı özelliklerin, birden fazla malzemenin belirli oranlarda bir araya getirilmesi ile oluşturduğu kompozit malzemeler, kullanım yerine bağlı olarak alışılmışın dışında mukavemet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, aşınma direnci ile elektriksel ve ısısal özellik kombinasyonlarını elde etmek için seçilebilmektedirler.

Metal matrisli kompozitlerde matris olarak alüminyumun kullanılmasının diğer avantajı ise farklı çevresel etkiler altında kullanılan kompozit malzemede yüksek korozyon direncidir. Buna karşılık alüminyumun yeterli çekme mukavemetine sahip olmaması çeşitli seramik partiküllerle takviye edilerek bu zayıflık giderilir (Abdizadeh *et al.* 2011).

Alüminyum matrisli kompozitler, alüminyum alaşımı içeren monolitik malzemelerin, demir alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve bazı uygulamalarda kullanılan polimer esaslı kompozitlerin yerini alması amacıyla geliştirilmiştir (Surappa 2003).

Alüminyum matrisli kompozitler sergilediği düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci ve yüksek sıcaklık mukavemeti gibi üstün özellikleri nedeniyle farklı ihtiyaç ve isteklere cevap verebilmektedir. Ancak, gelişen teknolojiyle beraber alüminyum matrisli kompozitlerden istenen performans özellikleri de sürekli olarak geliştirilmektedir (Mindivan 2007).

Alüminyum matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak partikül, whisker veya fiber formunda (SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC, TiB₂, MgO, TiO₂, AlN, BN, Si₃N₄) bulunmaktadır. Bu takviye elemanları arasında en çok tercih edilenler SiC, Al₂O₃ ve B₄C olmakla birlikte B₄C tozlarının maliyetinin Al₂O₃ ve SiC tozlarına göre yüksek olması sebebiyle B₄C takviyeli alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılan araştırmalar, diğerlerine göre sınırlı sayıda kalmıştır. B₄C takviye elemanının duyulan ilginin sebebi yüksek kimyasal ve ısıl kararlılık gibi özellikleri yanısıra asıl olarak Al₂O₃ ve SiC takviyelere göre daha düşük yoğunluk (2,52 g/cm³) ve daha yüksek sertliğe (30GPa) sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Toptan *et al.* 2010).

Alüminyum esaslı kompozitler için yapılan çalışmalarda, matris olarak 2000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları yüksek mukavemete sahip olmakla birlikte daha düşük süneklik özellik göstermekte olup, 6000 serisi alüminyum esaslı kompozit ise orta mukavemet ve oldukça yüksek süneklik özelliği sergilemektedir. 5000 serisi alüminyum alaşımı, içerdiği magnezyum ve manganez miktarına bağlı olarak düşük süneklik ve düşük çekme mukavemeti sergilemektedir. Ayrıca, 6000 serisi alüminyum esaslı kompozitler üzerine yapılan çekme deneylerinde, takviye içeriğine bağlı olarak elastisite modülünün de arttığı belirlenmiştir (Uygur vd 2004).

Partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri; matris alaşımına, takviye elemanı tipi ve şekline, dağılımına, takviye oranına ve termokimyasal işlemlere bağlı olarak değişmektedir (Chawla *et al.* 2000).

Alüminyum talaşları kullanılarak soğuk presleme ardından sıcak ekstrüzyon prosesi ile Al₂O₃ takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretilebilmiştir. Mikroyapı incelmesi ve sıcak ekstrüzyon sırasında Al₂O₃ partiküllerinin dağılımının sağlanmasından dolayı çekme mukavemeti ve sertlik daha yüksektir (Fogagnolo *et al.* 2003).

Alüminyum matrisli kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Alüminyum matris muffle fırınında grafit bir pota içinde 750°C'de ergitilmiş, ergiyik haldeki alüminyum alaşımında vorteks oluşturarak belirli oranlarda

partikül takviye edilmiştir. Yapılan aşınma testlerinde takviyeli kompozitlerin takviyesiz alaşıma göre çok yüksek aşınma direnci gösterdiği tesbit edilmiştir. Aşınma hızı, kayma hızı, partikül boyutu, sertlik, uygulanan yük, matris malzemesinin kimyasal bileşimi ve takviye malzemesinin hacim miktarı ile yapı içindeki dağılımından etkilenmektedir (Buytoz vd 2007).

2.2.2. Alüminyum matrisli kompozitlerin uygulama alanları

Mühendislik malzemesi olarak alüminyum esaslı kompozitlerin uygulama alanları son yıllarda artmıştır. Özellikle partikül takviyeli metal matrisli kompozitler belirli mukavemet ve sertlik, yüksek sıcaklık uygulamalarında ilgi çekmektedir. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler ağırlıklı olarak motor, piston, silindir gömleği, fren diski gibi otomobil ürünlerinde tercih edilmektedir (Madhu and Shankar 2012).

E-cam 6061 hibrit kompozitler, havacılık ve otomobil parçaları için aday malzemeler olup olmadığı aşınma direnci üzerinden değerlendirilmiştir (Mahagundappa *et al.* 2006)

Alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin genel olarak kullanım alanları;

- Ambalaj (Alüminyum kutular, folyolar vs.)
- İnşaat (cam, kapı, dış cephe vs.)
- Ulaşım (otomobil, uçak, kamyon, tren vagonları, deniz araçları vs.)
- Dayanıklı tüketim aletleri (Cihazlar, mutfak aletleri vs.)
- Su arıtma,
- Elektrik iletim hatları,
- Makine imalatı,
- Yüksek safiyette kullanımı (elektronik ve CD'lerde)
- Yeni bilgisayarların işlemcilerinde
- Lazerlerde koherent ışık yapımında,
- Katı roket yakıtı,

olarak sıralanabilir (Başer 2012).

Havacılık ve uzay uygulamaları için alüminyum matrisli kompozitlerin ilgi çekici özellikleri sırasıyla yüksek spesifik mukavemet, ayarlanabilir ısıl genleşme, ısıl iletkenlik ve rijitliktir. Havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılacak kompozitlerin performansı, ekonomik özelliklerinden önce gelmektedir (Chawla *et al.* 2006).

Ayrıca alüminyum kompozitlerin savunma sanayindeki uygulamaları üzerine detaylı araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmaların çoğu tank parçaları ve roket gövdeleri üzerindedir (Ellis 1996).

Kısa ve orta menzilli roketlerde takviyesiz alüminyum alaşımı kanat ve kanatçıklarında görülen sıcaklıkta mukavemet değerinin düşük olması problemi titanyum ya da çelik yerine daha hafif ve ekonomik yönden ucuz olan Al esaslı kompozitlerin kullanımı ile giderilmiştir (Shakesheff *et al.* 1998).

2.2.3. Alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri

Tüm kompozitler gibi Al matrisli kompozitlerde de mekanik fiziksel ve kimyasal özellikleri, sertlik, mukavemet, yoğunluk, deformasyon kabiliyeti, termal ve elektrik özellikleri tek bir malzemedeki değil bir malzeme ailesinde ayarlanabilir. Matris alaşımı, takviye malzemeleri, hacim, güçlendirme ve imalat yöntemi tüm gerekli özellikleri elde etmek için değiştirilebilir (Singla *et al.* 2009).

Son yıllarda bilim sanayi ve teknolojik ilerlemenin ihtiyaçlarını karşılamak için üstün performans talebi metal matriks kompozitler üzerine yapılan araştırma sayısını artırmıştır (Thakur *et al.* 2007).

Metal matriks kompozitlerin davranışı, matris/takviye ara yüzey kalitesiyle doğrudan ilişkili olup, uygulanan gerilmeye bağlı olarak yük transferi, matrisin sertleşmesi ile

kontrol edilmektedir. Ayrıca dislokasyon yoğunluğu ve çökelme durumu gibi mikroyapısal parametreler de önemlidir. Takviye elemanı, matrisin özelliklerini etkileyerek MMK'in mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Takviye elemanının matriste üniform dağılımı ile takviyesiz malzemeye göre MMK'ler %60 kadar yüksek akma ve çekme mukavemeti sergilemektedir. Matrise takviye elemanı ilavesi ile azalan süneklik ve tokluk MMK'lerin kullanım alanı sınırlamaktadır (Mindivan 2007)

MMK'lerde elastisite modülü, mukavemet, aşınma ve sürünme direnci gibi mekanik özelliklerin yüksek, yoğunluk ve termal genleşme katsayısı gibi fiziksel özelliklerin ise düşük olması istenmektedir. Servis sırasında aşırı elastik deformasyonu önlemek çok önemli olduğu için birçok mühendislik parçalarında rijitlik kritik tasarım parametresidir. Bir metalik alaşıma seramik partiküllerin ilavesi ile kompozitin elastisite modülü önemli miktarda artmaktadır. Takviye elemanının ilavesi ile direngenlik özelliği artan kompozitin yüksek sıcaklıkta da bu özelliği sürdürmesi beklenmektedir (Mindivan 2007).

Günümüze kadar matris olarak birçok metal ve bileşenleri üzerinde çalışılmıştır. Ancak bütün yapısal malzemeler arasında yüksek mukavemet/yoğunluk oranlarından dolayı Al, Ti ve Mg üzerinde odaklanmıştır (Thakur *et al.* 2007).

B₄C takviyeli 6092 kalite alüminyum matrisli kompozit üretiminde bilyalı öğütme, soğuk izostatik presleme ve sinterleme sonrasında ekstrüzyon ve sıcak izostatik presleme olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada ekstrüzyon numunelerin üretiminde 5 µm, sıcak izostatik presleme numunelerin üretiminde ise 20 µm boyutlarında olmak üzere %5, %10 ve %15 oranlarında B₄C tozları kullanılmıştır. Soğuk izostatik presleme 330 MPa, sıcak izostatik presleme 103 MPa basınç gerçekleştirilmiş, 550°C sıcaklıkta sinterlenmiştir. Takviye elemanının mikroyapı üzerinde önemli bir rol oynadığı, takviye içeriğinin artması ile kompozitin mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir. Üretim yönteminin ise matris malzemenin mukavemeti ve mikroyapısı üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiştir. Yüksek

basınçlarda sıcak izostatik presleme yöntemi ile üretilen kompozitlerin ara yüzeylerinde bazı hasarların oluştuğu gözlenmiştir (Zhang *et al.* 2004).

Araştırmacılar matris olarak AlMg1SiCu alüminyum talaşını, takviye elemanı olarak ise 1040 çelik talaşını kullanarak kompozit üretmişlerdir. Alüminyum matriste artan çelik talaş içeriğine bağlı olarak sertlik ve basma mukavemeti artmıştır. Ancak kırılma tokluğu azalmıştır (Guluzade *et al.* 2013).

2.2.4. Alüminyum matrisli kompozitlerin korozyon özellikleri

MMK'ların üretim aşamasında meydana gelen mikro çatlaklar, kalıntı gerilmeler, gözeneklilik, ürünlerin bileşimi, ikincil faz çökeltileri ve etkileşimleri kompozitlerin korozyon davranışını önemli ölçüde etkiler. Metal matrisli kompozitlerde korozyonun başlıca sebepleri (i) matris ve takviye malzemesi arasında galvanik çift oluşumu (ii) matris/takviye arasında ki seçici korozyon (iii) interfaz ve takviye malzemelerinin kimyasal bozunması ve (iv) matris yapı içerisinde ki kusurlar olarak sıralanabilir.

Üretimde kullanılan her bileşen içinde bulunduğu ortamla kimyasal veya elektrokimyasal olarak bir reaksiyona girer ve zamanla korozyona uğrar. Bu durum nanokompozitlerin kullanımı zorlaştırır. Literatür taramalarından görüldüğü gibi alüminyum matrisli nanokompozit malzemelerde korozyonun ara yüzey boşlukları yoluyla tetiklediği birçok araştırmacının ortak görüşüdür (Saraloğlu 2010).

Alüminyum kompozitlerin mikroyapı ve mekanik davranışları üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır ancak korozyon davranışları üzerine sınırlı sayıda çalışma rapor edilmiştir. Alüminyum esalı kompozitlerin üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, NaCl çözelti içerisindeki korozyon davranışı üzerine odaklanmıştır (Senthil *et al.* 2011).

Litaratürde birçok çalışma SiC takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin korozyon davranışları üzerinedir. Alüminyum matrisli kompozit malzemelerde en yaygın korozyon tipi çukurcuk korozyonudur (Toptan *et al.* 2013).

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen CNT takviyeli AA 4032 alüminyum matriksli kompozitlerin korozyon özelliklerini inceleyen Senthil Saravanan ve arkadaşları, CNT'ün alışımdan oksit tabakasının ayrılmasını engelleyerek oksit tabakası oluşumunu yavaşlattığını ileri sürmüştür. Bu sayede takviyesiz alaşıma nazaran CNT takviyeli kompozitin korozyon direnci daha yüksektir (Senthil *et al.* 2011).

Birçok araştırmacı alüminyumun korozyon direncini oluşturduğu kararlı oksit filmle ilişkilendirmiştir. Oksit film içinde parçacık veya lameller gibi kuvvetlendiricilerin bulunması bu oksit filmin hasara uğramasına neden olmakta, bu etkinin oluşan safsızlıklar veya ayrışmalar ile birleşmesi sonucunda ise MMK'nin korozyon direncini etkileyebilmektedirler (Trzaskoma *et al.* 1990).

Alüminyum $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ gibi bir koruyucu oksit film ile pasif hale geçebilir. Koruyucu filmin bütünlüğünü ve adhezyonunu artıracak her faktör alüminyumun korozyon direncini artıracaktır, pasif filmi bozan her faktör ise korozyon direncini zayıflatacaktır. Korozyon çeşitli ortamlarda, değişik etkilerle ve mekanizmalarla meydana gelebilir ve böylece birbirinden ayırıt edilen birçok korozyon türleri ortaya çıkar (ASM Handbook 1990).

Farklı oranlarda SiC içeren partikül takviyeli Al-SiC_p kompozit ile 6063 Al çiftinin düfüzyon kaynağı, 600°C'de 3,5 saat ve 2 MPa basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı, korozyon ve mekanik özellikleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda genel olarak kompozitin homojen bir yapıya sahip olduğu ve korozyon testleri sonuçları ise SiC_p ilavesi ile korozyon direncinin arttığı gözlenmiştir (Küçükara vd 2009).

2.3. Karbon Nanotüp Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitler

2.3.1. Giriş

(CNT) eşsiz elektronik, termal ve mekanik özelliklerinin kombinasyonu sayesinde, bilim çevrelerinin ilgisi karbon nanotüplerin; kompozitlerde, elektronik malzemelerde, bilgisayarlarda, ilaç salınımında, sensörlerde kullanılabileceği üzerine yoğunlaşmıştır. CNT'ler tek-duvarlı (SWCNT), çift-duvarlı (DWCNT) ve çok-duvarlı (MWCNT) olmak üzere üç sınıfa ayrılabilirler (Çubukçu vd 2010). CNT'lerin mükemmel mekanik ve termal özellikleri, yüksek en-boy oranı, geniş yüzey alanı ve hafif olması gibi üstün özellikler CNT'ü kompozitler için ideal takviye elemanı yapmaktadır (Liu *et al.* 2012).

Mindivan ve arkadaşları matrisde CNT'ün homojen ve üniform dağılımı ve CNT ile metal arayüzeyinde güçlü bir bağlanma elde edilmesi gibi CNT takviyeli kompozitlerin imalatında bilim adamları ve araştırmacıların karşılaştığı iki önemli problemin mevcut olduğunu ileri sürmüştür (Mindivan *et al.* 2014).

Yüksek çekme mukavemeti (30GPa) ve sertliğe (1 TPa) sahip olan CNT'ler aynı zamanda mükemmel eğme özellikleri sergiler. CNT'lerin elektriksel iletkenliği metal ve yarı iletkenlerle kıyas edilebilir ve termal iletkenliği ise beklenmedik bir şekilde yüksektir. CNT'lerin bu eşsiz özelliklerini kullanmanın bir yolu da CNT'leri matris içinde homojen bir şekilde dağıtarak kompozit üretme yönünde önemli bir çaba vardır. Metal esaslı matrise CNT ilave edilerek mekanik özelliklerin önemli oranda iyileştiğine dair bilimsel ve teknolojik çalışmalar mevcuttur (Paramsothy *et al.* 2013).

Son yıllarda geneleksi mikro boyutlu takviye elemanlarına kıyasla nano boyutlu takviye elemanları kayda değer bir artışla yerini almıştır. Bunun sebebi kompozitlere gelişmiş mekanik özellikler kazandırabilmeleridir. Bilindiği gibi geneleksi takviye elemanları gibi CNT takviye elemanlarında homojenlik, matrise bağlanma, nanotüpün hacimsel oranı ve yönü beklenen kompozit malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkiler (Javadi *et al.* 2012)

Geçtiğimiz onyııldan fazla CNT takviyeli polimer ve seramik matrisli kompozit malzemelerin araştırmalarına odaklanılmıştır. Son zamanlarda ise araştırmalar kademeli olarak CNT takviyeli metal matrisli kompozit malzemelere yönelmiştir. Bu metaller arasında alüminyumun spesifik mukavemeti yüksek olduğu için havacılık ve uzay endüstrisinde ideal matris olarak alüminyum dikkat çekmektedir (Liu *et al.* 2012).

Son yıllarda mükemmel fiziksel ve mekanik özelliğe sahip olan CNT takviyeli kompozitler üretmek için çeşitli metotlar geliştirilmektedir (Goh *et al.* 2006). CNT içeren kompozitler plazma püskürtme, spark plazma sinterleme, sıcak veya soğuk izostatik preslemeyi takip eden sıcak ekstrüzyon gibi birçok teknik ile üretilmektedir (Joanna *et al.* 2011).

Kompozit üretiminde elektrodepozisyon ve akımsız biriktirme tekniklerinin yanı sıra düşük ergime noktasına sahip metal matriks için ergitme ve son olarak ince film kompozit kaplama teknikleri tercih edilmektedir (Bakshi *et al.* 2010).

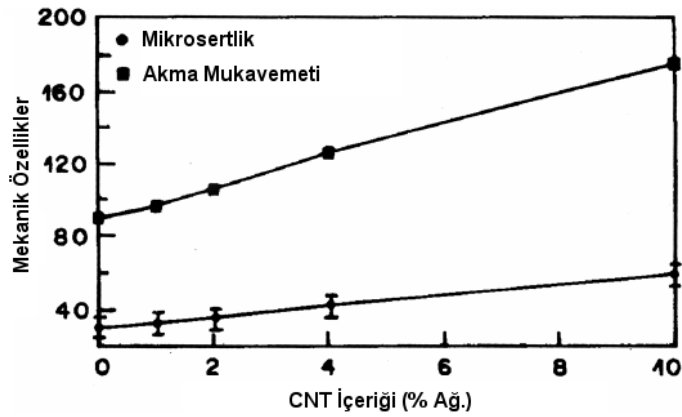
CNT takviyeli metal matriks kompozitleri hazırlamak için uygulanan tekniklerin en popüler ve yaygın olanı toz metalürjisi yöntemidir. Toz metalürjisi yönteminin çok önemli avantajları vardır. Örneğin, toz metalürjisi parçaları sonraki talaşlı imalat ihtiyacını ortadan kaldıracak olan son şekil veya son şekle yakın olarak seri üretilebilir. Toz metalürjisi yönteminde malzeme sarfiyatı minimum seviyelerdedir. Başlangıç tozunun yaklaşık %97'si mamule dönüştürülür. Diğer yöntemlerle işlenmesi zor bazı metaller toz metalürjisiyle şekillendirilebilir. Toz metalürjisi, boyut kontrolü bakımından çoğu döküm yönteminden daha üstündür. Toz metalürjisi imalat yöntemleri ekonomik üretim için otomatize edilebilir. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların ısıl işlem gerektirmemesi, işlenebilirlik özelliklerinin daha iyi olması, enerji tasarrufu sağlaması ve ağırlık yönünden daha hafif olmaları bu üretim yöntemini cazip hale getirmektedir. Toz metalürjisinde işlem kademeleri sırasıyla tozların preslenmesi ve ardından iyi bir bağlanma sağlanması için sinterleme veya sıcak ekstrüzyon işlemidir.

2.3.2. Mekanik özellikler

MMK'lerde muhtemel mukavemet artırma mekanizmaları; 1) matris ve takviye arasındaki termal genişleme ve elastisite modülü uyumsuzluğundan dolayı dislokasyon oluşumu 2) matris bileşeninden takviye elemanına yük transferi (Paramsothy *et al.* 2013) 3) dislokasyon kesişmesiyle yakın mesafedeki sert partiküllerin göstermiş olduğu direnç ile dispersiyon sertleşmesi, 4) tane boyutu küçülmesiyle mukavemet artışı, (Yoo *et al.* 2012) 5) takviye partiküller ile matris arasındaki deformasyon uyumsuzluğu yüzünden deformasyon sertleşmesinin gerçekleşmesi olarak sıralanabilir. Farklı mekanizmaların oluşması mikroyapı ve kompozit üretim yöntemine bağlıdır (Mindivan 2007).

Mekanik alaşımlama ile AA 6061 matris içerisinde CNT'ler etkin bir şekilde dağıtmak mümkündür. 620°C'de sinterlenen Al-CNT kompozitte en yüksek 87.5 HV sertlik elde edilmiştir (Yufeng *et al.* 2011).

CNT içeriğine bağlı olarak mekanik özelliklerin iyileşmesindeki mekanizma (Şekil 2.2) matriks ve matriks-nano tüp arayüzeyinde dislokasyon ağına atfedilir (Srivasta *et al.* 2008). CNT takviyeli metal matriksli kompozitlerin mekanik özellikleri, CNT'ün matriks içerisinde homojen dağılımına ve matriksle güçlü bağlanma kabiliyetine bağlıdır (Bakshi *et al.* 2010).



Şekil 2.2. Alüminyum matrikste CNT içeriğine bağlı olarak mikrosertlik ve akma mukavemetindeki değişim (Srivasta *et al.* 2008)

CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin nihai mekanik özellikleri, alüminyum matrisde CNT'ün homojen dağılımıyla sağlanır. Ağırlıkça %0,5 CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin hazırlanmasında yüksek enerji bilyalı öğütücü ve polyester bağlayıcı karıştırma yöntemlerinin mekanik özellikler açısından daha elverişli olduğu gözlenmiştir (Liao and Tan 2011).

2012 yılında Liu ve arkadaşları toz metalürji ve sürtünme karıştırma prosesi ile CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozit üretmeye çalışmışlardır. 20 ila 300°C arasında yapılan çekme testlerinde takviyesiz alüminyum alaşımına göre hacimce %1,5 CNT içeren alüminyum matrisli kompozitlerin akma mukavemeti yük transfer mekanizmasından dolayı daha yüksek bulunmuştur (Liu *et al.* 2012).

Araştırmacılar 2012 yılında yaptıkları çalışmada CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerine mekanik öğütme süresinin etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda takviyesiz alüminyum alaşımına göre kompozitlerin mekanik özelliklerinde iyileşme için 6 saat mekanik öğütmenin yeterli olduğu vurgulanmıştır. Ancak 8 ve 12 saat mekanik öğütme sırasında CNT'lerin hasara uğradığı gözlenmiştir (Liu *et al.* 2012).

Yapılan başka bir araştırmada spark plazma sinterleme ile üretilen Al₂O₃-CNT takviyeli nano kompozitlerin oda ve yüksek sıcaklık tribolojik özellikleri, tokluğu ve mikroyapıları incelenmiştir. %5 CNT eklenmesi ile tokluğun arttığı tespit edilmiştir. Aşınma testinde CNT'ün yağlayıcı etkisinden dolayı Al₂O₃-CNT nanokompozitlerin sürtünme katsayısı sadece Al₂O₃ içeren kompozitten yaklaşık üç kat daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Puchy *et al.* 2013).

Mekanik öğütme işleminin ardından sıcak ekstrüzyon yöntemi ile hacimce %1 CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozitin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, saf alüminyuma nazaran incelenen kompozitin çekme mukavemetindeki iyileşmenin sebebi olarak CNT ilavesi ve alüminyum matrisin ince kristal boyutu olarak düşünülmektedir. Özellikle alüminyum matris ile CNT arayüzeyinde gerçekleşen

kimyasal içerikli nano boyutlu Al_4C_3 'ün etkili yük transferi sağladığı ileri sürülmüştür. (Kwon and Leparoux 2012).

Son yıllarda metal matris/CNT kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Ancak CNT'lerin olağanüstü mukavemet değerleri (100 GPa) ve mekanik özelliklerin gelişmesi metal matris/CNT ile orantılı olmamakla birlikte CNT'ün gerçek mukavemeti metal matris/CNT kompozit ile gerçekleşmemiştir. Metal matris içerisinde CNT oranı hacimce %2'yi aşınca kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde keskin bir düşme gözlenmiştir. Birçok çalışmada bu düşüşün nedenleri araştırılmıştır. Bu düşüşün nedenleri arasında mikro CNT içeriği, dağılımı ve CNT/matris arasında kimyasal etkileşim gösterilmiştir (Bakshi *et al.* 2010).

2.3.3. Korozyon özellikleri

CNT nanokompozitlerin iyileşmiş korozyon özellikleri aşağıdaki nedenlere bağlı olabilir: a) nanokompozitlerin daha iyi bir su geçirmezlik özelliğine ilave CNT'lerin hidrofobik karaktere sahip olması b) alaşım içerisine katılmış CNT'lerin oksit tabakası oluşumunu yavaşlatmasıdır (Senthil *et al.* 2011).

MMK'de karbon takviyesi ile karbon ve matris arasında reaksiyon oluşumu ve galvanik korozyon problemi gözlenmiştir (Endo *et al.* 2008). Arayüzey reaksiyonları Al, Ti ve Fe alaşımlarında daha şiddetli olduğundan karbon takviye söz konusu bu metaller için çok kullanışlı değildir. Örneğin alüminyum matrisli kompozitlerde Al_3C_4 reaksiyon ürünü sulu ortamlarda korozyon hızını artırmaktadır (Çavuşoğlu 2013).

Elektrolit kaplamalarda CNT içerikli kompozitlerin korozyon direncindeki iyileştirmenin nedeni olarak CNT'lerin kimyasal inertliklerinin kaplama yüzeyinde pasif bir tabakanın oluşmasına yardımcı olması ve CNT'lerin boşlukları ve elektrolitik kaplamaların gözeneklerini doldurarak lokalize korozyonun başlamasına izin vermemesi olarak düşünülmektedir (Bakshi *et al.* 2010).

Ayrıca CNT'ün yapıda homojen dağılmaması galvanik etkiyi artırdığından dolayı korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı zamanda kompozitte CNT miktarının belirli bir değerin olması korozyon hızını artırdığı tespit edilmiştir (Mindivan *et al.* 2014).



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneysel Malzemeler

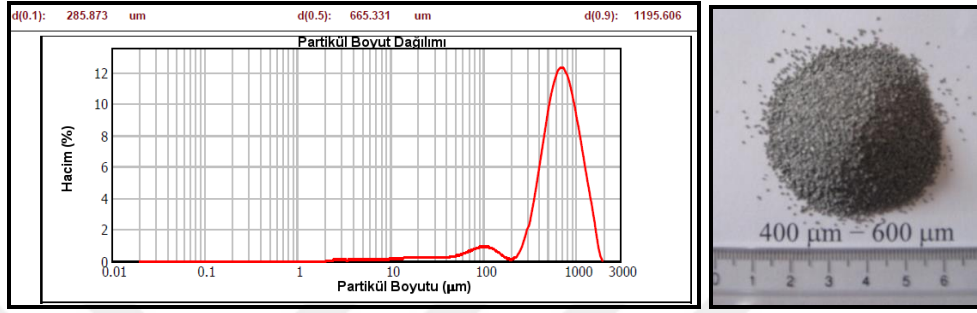
Bu çalışmada CNT takviyeli Al matrisli kompozitlerin üretilmesinde ve mikroyapılarının kontrol edilmesinde toz metalurjisi yöntemi kullanılmıştır. Toz Metalurjisi (T/M), metalik tozların şekillendirilip sinterlenmesi veya dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi ikincil işlem ile metalik parça üretim yöntemidir. Bu yöntemde Al talaşını geleneksel olarak ergiterek geri kazanma yerine ekstrüzyon sırasında karbon nanotüp hareketini gözlemlemek için Al talaşını attritör cihazında Argon atmosferinde CNT ile birlikte mekanik öğütme, öğütülen Al talaş/CNT arasındaki bağlanmayı artırmak için kullanılan Al toz karışımını önce soğuk presleme ve ardından sıcak ekstrüzyon işlemi ile CNT takviyeli Al matrisli kompozitlerin üretimi ve üretilen kompozitlerin yapısal, mekanik ve korozyon davranışına Al tozu ilavesinin, ekstrüzyon oranının ve CNT içeriğinin etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada kompozit üretimi için başlangıç malzemesi olarak sanayiden temin edilen ticari kalitede 6061 Al talaşı, saf Al tozu ve çok duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır. Üretilen kompozitler metalografik inceleme, XRD incelemeleri, yoğunluk, elektrik iletkenliği, DSC analizi, sertlik ölçümleri, basma, aşınma ve korozyon deneylerine tabi tutulmuştur.

3.2. Deneysel Malzemelerin Üretim Yöntemi

Al talaşları elek analizinden geçirilerek talaşın partikül boyut dağılımı belirlenmiştir. Kompozit bileşenlerinden 6061 Al talaşının ortalama boyutunun 630 µm (Şekil 3.1), Al tozunun ortalama boyutunun 8.6 µm olduğu görülmektedir (Şekil 3.2). CNT'ün partikül boyutu ise 9.5 nm çapında ve 1.5 µm boyunda olduğu tedarikçi firma tarafından belirtilmiştir. Kompozit karışımı hazırlama safhasından önce CNT'lerin yüzeyi aktifleştirilmiştir. CNT'lerin aktifleştirme işlemi sırasıyla HNO₃/H₂SO₄ (1:1 hacim) asit

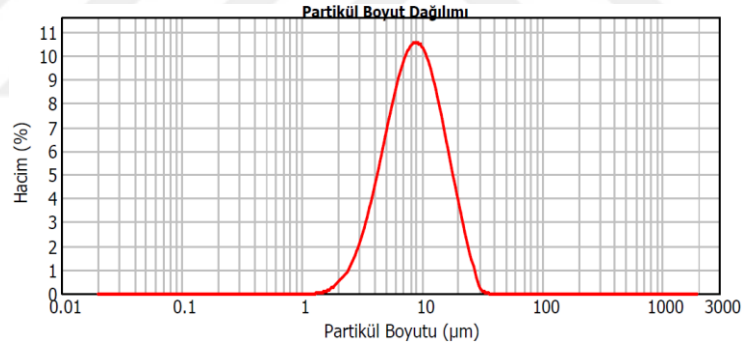
karışımında 80°C sıcaklıkta ultrasonik bonyada aktiveleştirme, pH'ı 5 olana kadar saf su ile yıkama ve ardından 100°C sıcaklıkta etüvde 24 saat kurutma işleminden oluşmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan 6061 Al talaşının boyut analiz sonuçları ve genel görünüşü



Şekil 3.2. Al tozunun partikül boyut dağılımı

Kompozit karışımı hazırlanırken öncelikle attritör cihazında Argon gazı atmosferinde 3 saat boyunca 300 devir/dk'da aktiveleştirme işlemine tabi tutulan CNT'ler Al talaşı ile birlikte mekanik öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Mevcut çalışmada da öğütülen talaş/CNT arasındaki bağlanmayı artırmak ve Al tozunun etkisini görmek için ağırlıkça %25, %50 ve %75 Al tozu ilave edilmiş ve homojen bir karışım sağlamak amacıyla bu yeni CNT-Al talaşı/Al tozu karışımları seramik havanda karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar Şekil 3.3 a'da verilen kalıp içerisinde 1600 MPa basınç altında 10 dakika süreyle tek yönlü olarak soğuk preslenerek 30 mm çapında bir disk haline getirilmiştir.

Soğuk preslenen karışımlar daha sonra 350°C’de ekstrüde edilmiştir (Şekil 3.3b). Şekil 3.4’de bu işlemler şematik olarak gösterilmektedir. Bu çalışmada, mikroyapı homojenliğini sağlamak, mikroyapı bileşenleri arasındaki metalurjik bağlanmayı artırmak, talaş yüzeyindeki oksit tabakasını kırmak, tamamen yoğun ve son şekle sahip malzeme üretmek için 30 mm çapındaki diskler 100 ton kapasiteli dikey eksenli pres yardımı ile 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında 350°C’de sıcak ekstrüzyon edilerek sırasıyla 10 mm ve 7.5 mm çapında yaklaşık 50 mm uzunluğunda kompozit ürünler elde edilmiştir (Şekil 3.3b). Sıcak ekstrüzyon işlemi için tasarlanan fırın kontrol ünitesi ve pres Şekil 3.5’de verilmiştir.

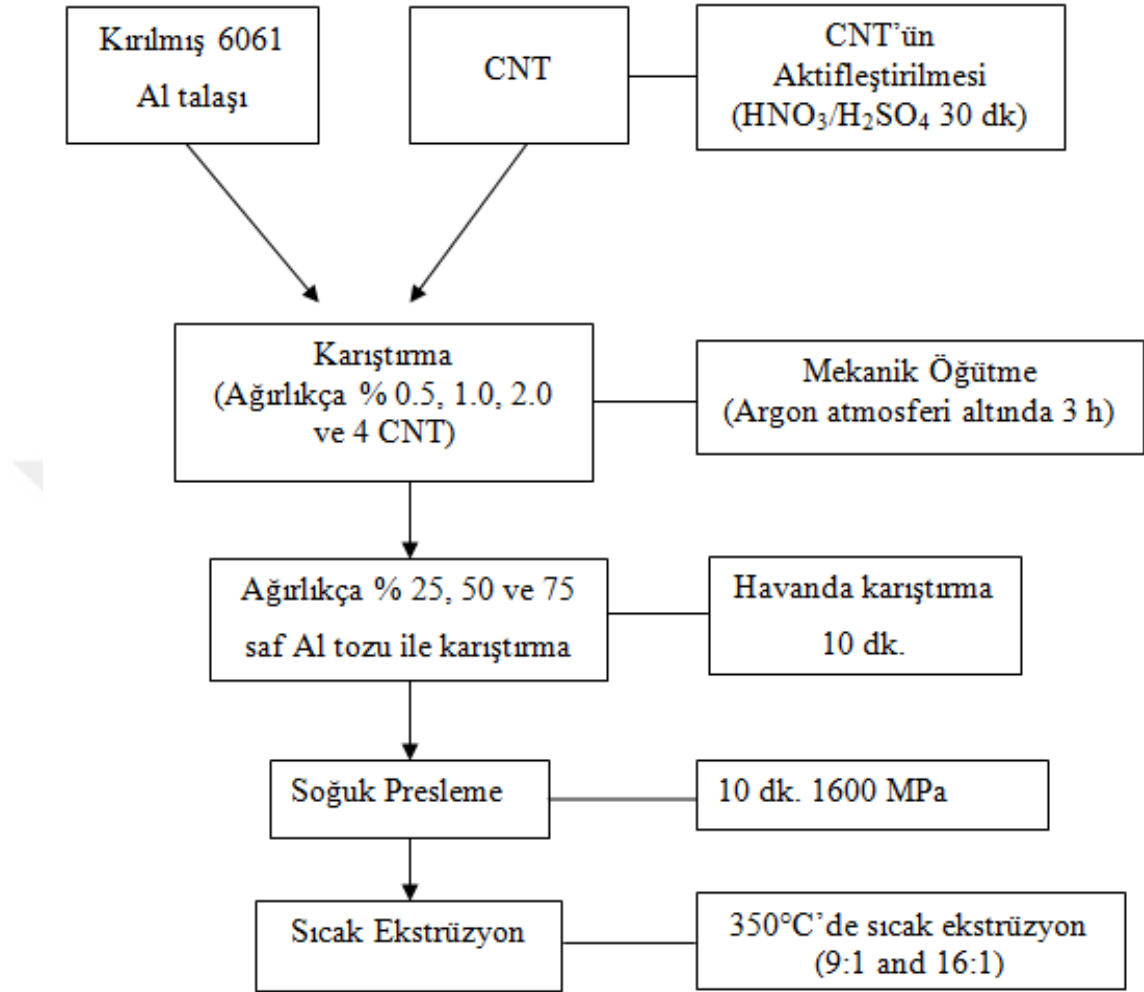


(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Ekstrüzyonda kullanılan kalıplar ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranında 350°C’de ekstrüze edilen kompozit numune



Şekil 3.4. Kompozit ürünün T/M ile üretimi



Şekil 3.5. Sıcak ekstrüzyon işlemi için tasarlanan fırın kontrol ünitesi ve 100 ton kapasiteli dikey eksenli pres

Üretilen kompozitler mikroyapı incelemeleri metalografik incelemeler, X-ışını difraksiyon çalışmaları, yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri, DSC analizi, mekanik incelemeler (sertlik, aşınma ve basma) ve korozyon deneylerine tabi tutulmuştur.

3.3. Mikroyapı Karakterizasyon Çalışmaları

Mikroyapı karakterizasyonu metalografik incelemeler, XRD çalışmaları, yoğunluk, elektrik iletkenlik ölçümleri, DSC analizi ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.1. Metalografik incelemeler

Mikroyapı gelişimini incelemek amacıyla numuneler, ilk önce 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh boyutundaki zımparalar ile zımparalanmış, ardından alumina ile parlatılmıştır. Hazırlanmış numuneler OM ve SEM ile incelenmiş ve her bir numune üzerinde temsili bölgelerin mikroyapı fotoğrafı çekilmiştir.

3.3.2. XRD incelemeleri

Üretilen kompozitlerin kalitatif faz analizi, GBC MMA 027 model X-ışınları difraktometresinde 25kV güç altında ve $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu kullanılarak $2\theta=20-90^\circ$ aralığında, $2^\circ/\text{dk}$ tarama hızında ve 0.02° adım tarama boyutunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. X-ışını difraksiyon çalışmalarında kullanılan GBC MMA 027 model XRD cihazı

3.3.3. Yoğunluk ve elektrik iletkenlik ölçümleri

Yoğunluk ölçümleri, Şekil 3.7’de görülen hassas terazi üzerindeki düzenekle Arşimet prensibine göre gerçekleştirilmiş, ölçülen yoğunluk ve teorik yoğunluk değerlerinden, eşitlik (3.1) yardımıyla porozite miktarları hesaplanmıştır. Porozite miktarı arşimet yoğunluk ölçümünden yola çıkılarak, görünür yoğunluğun teorik yoğunluğa oranından hesaplanmıştır. Genel porozite (açık ve kapalı porozları içerir) hesaplaması sırasında kullanılan denklem aşağıda verilmiştir.

$$\%P = (1 - d/d_0) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada,

$\%P$ = Porozite oranı,

d = Numunenin arşimet prensibiyle hesaplanan yoğunluğu,

d_0 = Teorik yoğunluk.



Şekil 3.7. Yoğunluk ölçümlerinde kullanılan Precisa™ XB220A tartım cihazı

Elektrik iletkenliği ölçümleri, girdap akımları prensibiyle çalışan Hocking AutoSigma 3000 DL model bir ölçüm cihazıyla 500 kHz frekansta ve 8 mm'lik prob kullanılarak her bir malzemede on ölçüm yapılarak MS/m (mega Siemens/metre) birimiyle belirlenen elektrik iletkenliği değerleri %IACS birimine çevrilmiştir.

3.3.4. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

9:1 ekstrüzyon oranında tüm talaş içeriklerinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ve kompozitlerin tümünde Netzsch STA 409 PC Luxx marka termal analiz cihazında (DSC) yöntemi kullanılmıştır. Cihaz içindeki atmosferin bileşimi ve gaz akış hızı iyi bir

şekilde kontrol edilebilmektedir. Deneylerde Al_2O_3 'den yapılmış örnek hücresi ve taşıyıcısı ve sıcaklık ölçümleri için platin termokulp kullanılmıştır. Deneylerde yaklaşık 15-20 mg madde ile çalışılmıştır.

3.4. Mekanik Karakterizasyon Çalışmaları

İncelenen numunelerin mekanik karakterizasyonu sertlik ve basma deneyleri ile yapılmıştır.

3.4.1. Sertlik ölçümleri

Numunelerin mikrosertlik değerleri Wolpert model mikrosertlik ölçme cihazında 200 g yük altında elmas piramit uç kullanılarak vickers sertliği ölçülmüştür . Sertlik değerleri, en az 10 ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Sertlik izi mikroyapı bileşenlerinin (talaş ve CNT) hepsini kapsadığından elde edilen mikrosertlik değeri, incelenen malzemelerin kütleli sertliğini karakterize etmektedir.

3.4.2. Basma deneyi

Basma deneyleri 250 N kapasiteli Dartec marka üniversal deney cihazında 1 mm/dk çene hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Basma deneyi için 16:1 ekstrüzyon oranına sahip numunelerde 7.5 mm çapında ve 15 mm yüksekliğinde; 9:1 ekstrüzyon oranına sahip olanlar da ise 10 mm çapında ve 20 mm yüksekliğinde hazırlanan malzemeler kullanılmıştır. Her bir malzeme grubunu temsilen üç adet basma deneyi yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması deney sonucu olarak alınmıştır.

3.4.3. Aşınma deneyi

Tüm kompozit malzemelerin aşınma deneyleri ileri geri aşınma test cihazı kullanılarak kuru ortamda ($20\pm 2^\circ C$, $30\pm 5\%$ nem) yapılmıştır. Aşınma deneylerinde aşındırıcı olarak

10 mm çapında elik bilya kullanılmıştır. Deneyler 1 N yük altında ve 0,0128 m/s kayma hızında yapılmış, karşıt hareket genliği 10 mm, toplam kayma mesafesi 40.000 mm olarak uygulanmıştır. Aşınma deneyleri sonrasında malzeme yzeleri üzerinde gelişen aşınma izleri yüzey profilometresi (Veeco Dektak 6M) ile analiz edilmiştir ve yüzey profilleri aracılığı ile aşınma iz alanları hesaplanmıştır. Aşınma yzeleri daha sonra SEM ile incelenmiştir.

3.5. Korozyon Deneyi

İncelenen numunelerin korozyon deneyleri “30 g/L NaCl+10 ml/L HCl” zeltisi içerisinde hem ağırlık kaybına hem de elektrokimyasal polarizasyon ölümlerine göre yapılmıştır.

3.5.1. Ağırlık kaybı korozyon deneyleri

Ağırlık kaybı korozyon deneyleri bir cam beher içerisinde 3 saat aralıklarla toplam 48 saat süre içerisinde 0,1 mg hassasiyete sahip elektronik terazide llmştr. Numunelerin yüzey alanına bağlı olarak zelti miktarı 0.6 ml/mm² olacak şekilde ayarlanmıştır. Korozyon deneyi öncesinde numunelerin tüm yzeleri metalografik prosedure uygun olarak 1200 mesh SiC zımparaya kadar zımparalanmış ve deney öncesi numuneler saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur. Korozyon deneyleri sırasında belirli zaman aralıklarında korozyon zeltisinin pH değeri ile zelti iletkenliği llmştr. Deney sonuçları, malzemelerin birim yüzey alanı başına düşen ağırlık kaybına göre g/cm² cinsinden değerlendirilmiştir. Kalınlık boyunca korozyon miktarının belirlenmesi amacıyla, numuneler kesit yönünde reçine ile kalıplanmış ve metalografik olarak hazırlandıktan sonra OM’de incelenmiştir. Bu incelemeler sırasında oluşan korozyon morfolojisi belirlenirken korozyon nüfuziyet derinliği ve genişliği de llmş ve eşitlik (3.2) ile pit konsantrasyonu hesaplanmıştır. Ayrıca korozyon numunelerinin yzeleri optik mikroskop ile de incelenmiştir.

$$\% \text{Pit konsantrasyonu} = (\sum W_i / W_T) \times 100 \quad (3.2)$$

Burada,

W_i : İncelenen yüzey üzerindeki pitlerin genişliği

W_T : İncelenen yüzeyin toplam genişliği olarak tanımlanmıştır.

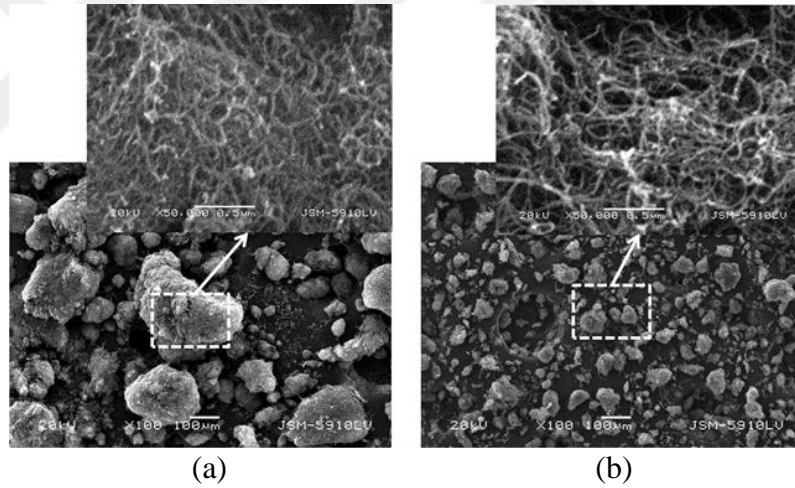
3.5.2. Elektrokimyasal polarizasyon korozyon deneyleri

Elektrokimyasal polarizasyon korozyon deneyleri, oda sıcaklığında elektrokimyasal yöntemle yapılmıştır. Numunelerin yüzeyleri standart metalografik yöntemle 1200 mesh zımparaya kadar zımparalanmıştır. Korozyon deneyine başlamadan önce numuneler saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur. Deney hücresi olarak 100 mL beher kap kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmış olup deney hücresi içerisine, çalışma elektrotu olarak $0,12 \text{ cm}^2$ sabit yüzey alanına sahip incelenen numuneler, karşı elektrot görevini yapan 6 mm çapında karbon elektrot ve referans elektrot da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Çalışma elektrodu ile karbon elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, referans elektrot ise çalışma elektroduna olabildiğince yakın sabitlenmiştir. Korozyon deneyleri sırasında elektrolit içine çalışma elektrotunun ve referans elektrotunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi ilk 45 dakika süreyle, zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (E_{kor}) ulaştıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri -1.00'dan -0.4 V'a kadar 1 mV/s tarama hızında katodikten anodik yöne doğru potansiyeli tarayarak çizilmiştir. Tüm deneyler en az ikişer defa olmak üzere polarizasyon eğrileri birbirlerini doğrulayınca kadar tekrar edilerek sonuçların daha güvenilir olmasına çalışılmıştır. Gerek ağırlık kaybı ve gerekse elektrokimyasal polarizasyon deneyleri sonrasında numuneler, çözelti içerisinden çıkartılarak saf su ortamında 5 dakika süre ile ultrasonik olarak temizlenmiş ve ardından alkol ile durularak kurutulmuştur. Korozyon mekanizmasının belirlenmesi için korozyon yüzeylerinin incelenmesi, SEM ile yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

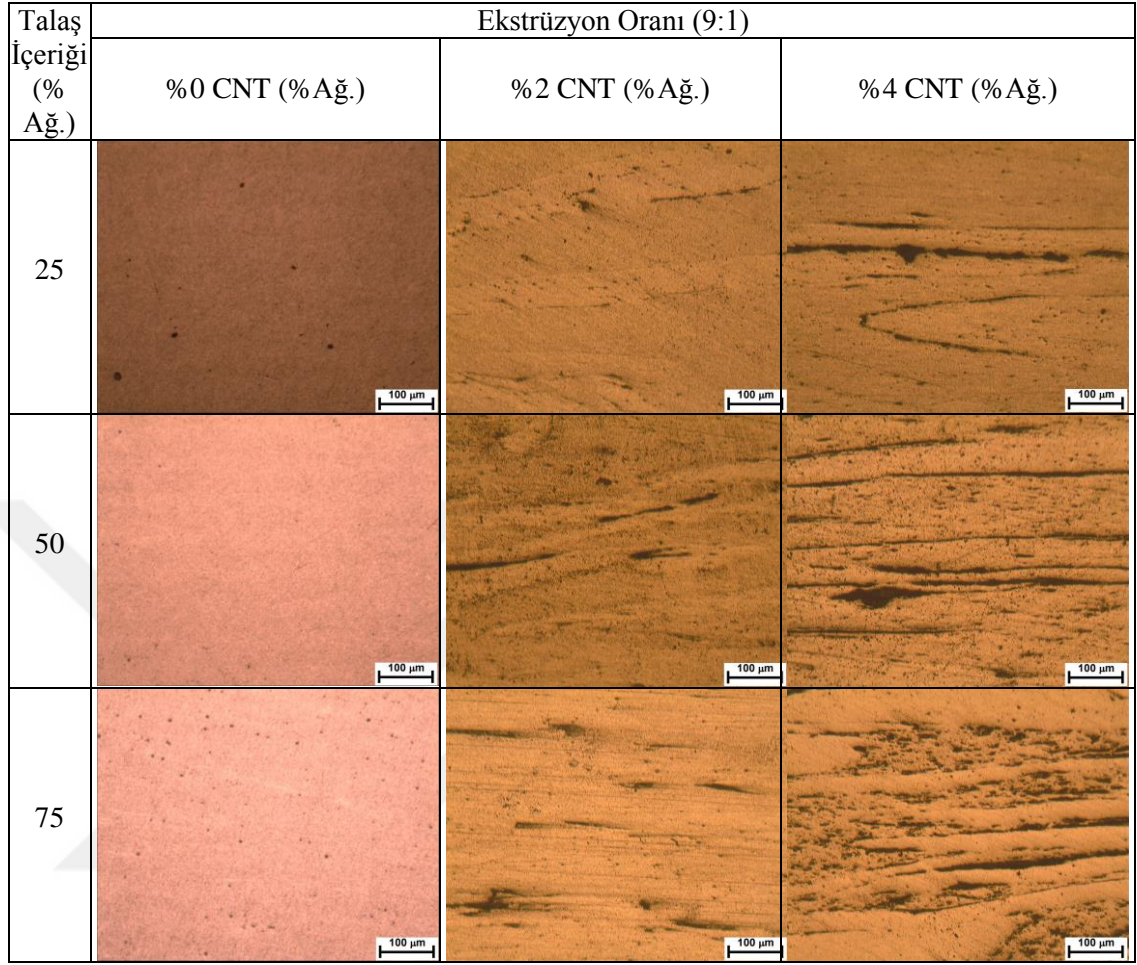
4.1. Mikroyapı Karakterizasyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Şekil 4.1’de aktifleştirme işlemine tabi tutulmadan önce ve sonra düşük ve yüksek büyütmelerde CNT’lere ait SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 4.1 a’da aktifleştirme işlemi görmemiş CNT’lerin birkaç yüz μm boyutunda yoğun bir şekilde bulunduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4.1 b’de aktifleştirme işleminden sonra CNT’lerin yaklaşık 100 μm boyutunda kümelendiği açıkça görülmektedir. Aktifleştirme işlemi ile CNT’lerin kümelenme derecesi azalmıştır.

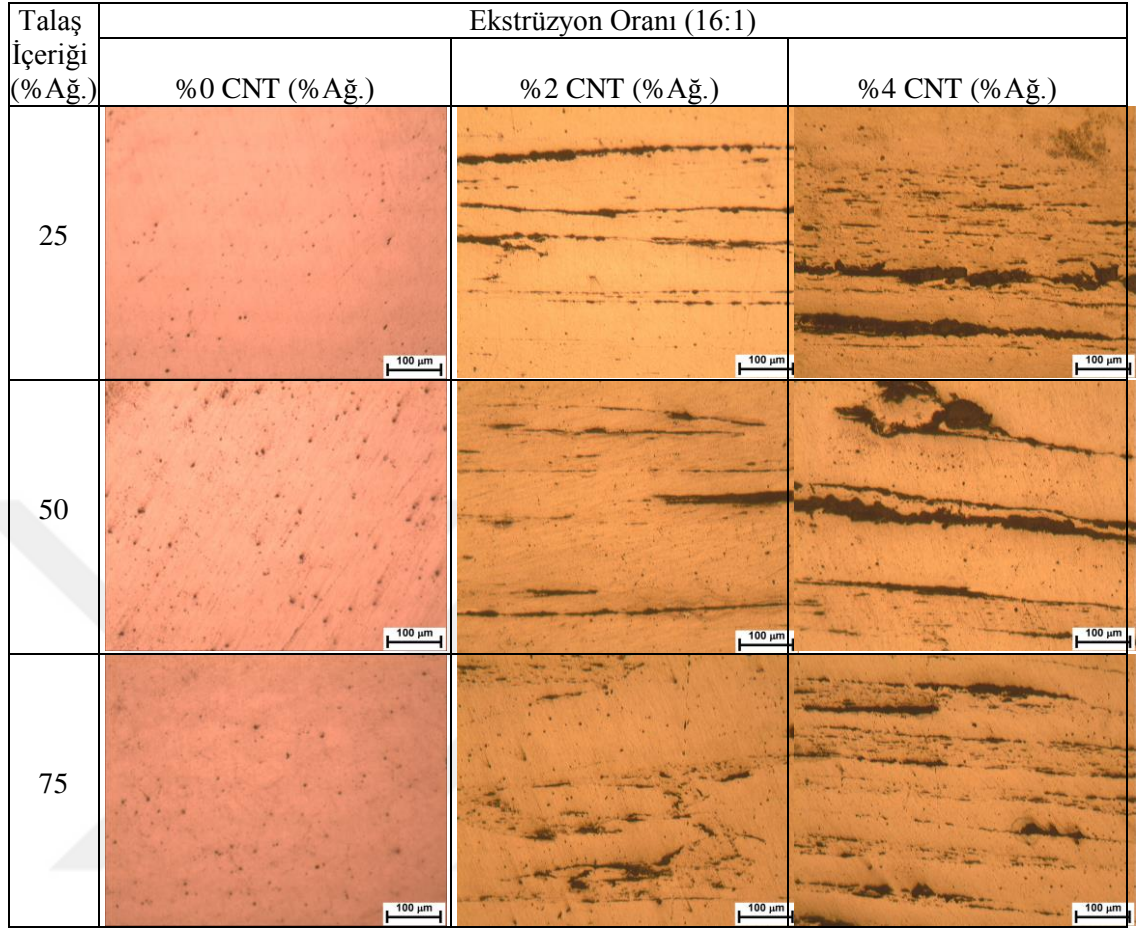


Şekil 4.1. Aktifleştirme işleminden (a) önce ve (b) sonra CNT’lere ait SEM görüntüleri

Farklı ekstrüzyon oranlarında (9:1 ve 16:1) farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve 4 CNT içeren kompozitlerin mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmektedir. Bütün mikroyapılar ekstrüzyon yönüne paralel olacak şekilde alınmıştır. CNT içeren kompozitlerde ekstrüzyon işleminden sonra CNT’lerin talaş yüzeyleri boyunca toplandığı görülmektedir. Tüm ekstrüzyon oranlarında talaş içeriği arttıkça talaş yüzeylerine sıvanan CNT içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



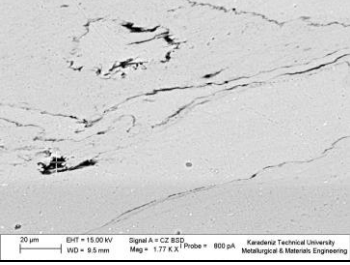
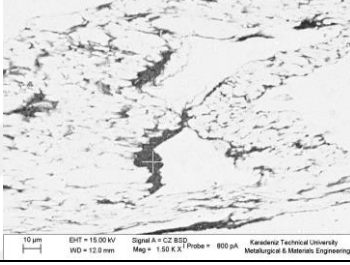
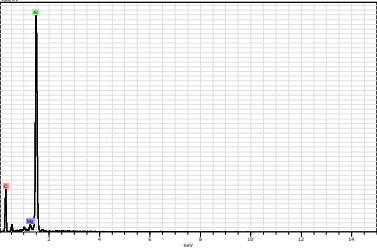
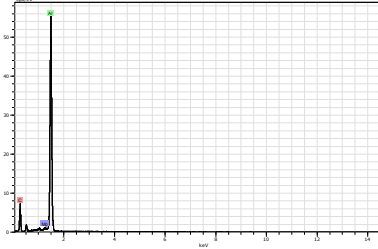
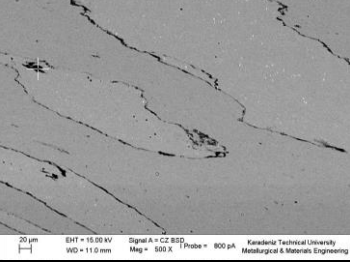
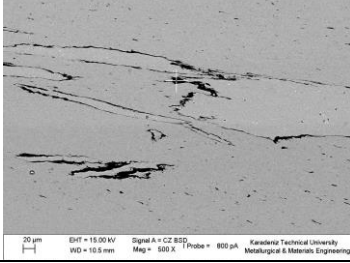
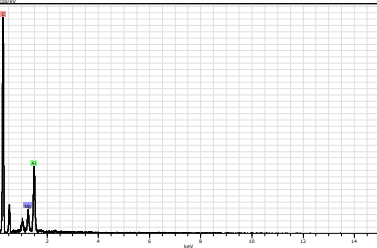
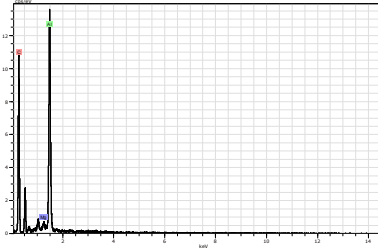
Şekil 4.2. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin OM görüntüleri



Şekil 4.3. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin OM görüntüleri

9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 ve %75 talaş içeriğinde ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin ekstrüzyon yönü boyunca SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 4.4'de verilmiştir. Al talaşları ekstrüzyon boyunca uzayarak katmanlı tabakalı bir yapı sergilemiş olup, Al talaşlarının yüzeyinde yaklaşık 5 µm boyutunda koyu bölgeler tespit edilmiştir. Ekstrüzyon sırasında CNT'lerin yeniden biraraya gelmesi ile Al talaşlarının plastik deformasyona uğramasından dolayı koyu bölgelerin çoğu ekstrüzyon boyunca mevcuttur. Yüksek en-boy oranına sahip olan CNT'ler arasındaki büyük van der Waals kuvvetlerinin olması koyu bölgelerin mevcudiyetini artırmaktadır (Liu *et al.* 2012). Katmanlı Al talaşları arasında CNT'lerin mevcudiyeti Şekil 4.4'de kimyasal analiz (EDS) ile teyit edilmiştir. Talaş içeriğinin artması ile koyu bölgeden alınan EDS analizinde CNT şiddetinin artması (Şekil 4.4) öğütme işlemi boyunca CNT'lerin bir

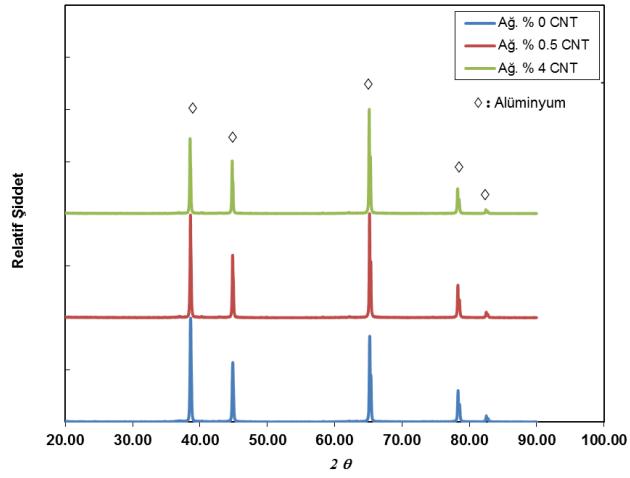
araya gelmesinden dolayı olabilir ve daha yüksek CNT içeriği ile Şekil 4.4'de görüldüğü gibi Al talaşları boyunca porozite ve/veya artan CNT ağını ortaya çıkarmıştır.

Talaş İçeriği (% Ağ)	Ekstrüzyon Oranı (9:1)	
	%2 CNT (% Ağ.)	%4 CNT (% Ağ.)
25		
		
75		
		

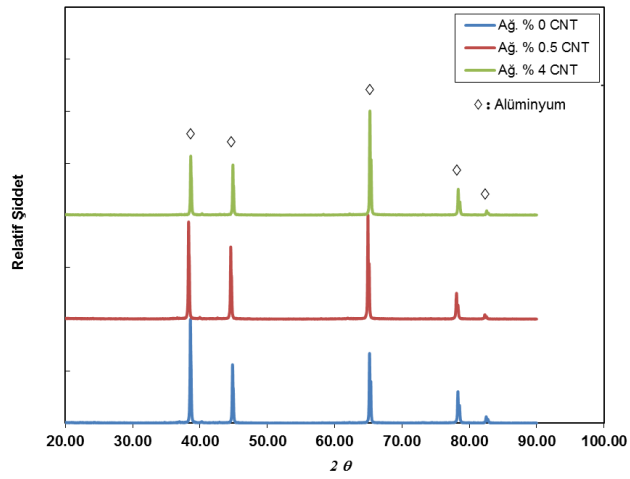
Şekil 4.4. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 ve %75 talaş içeriğinde ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin ekstrüzyon yönü boyunca SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analiz sonuçları

9:1 ekstrüzyon oranında farklı CNT içeriklerinde (ağırlıkça %0, 0,5 ve 4) üretilen kompozitlerde yapılan XRD paternleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.5’de verilmiştir. Numunelerin XRD paternlerinde sadece alüminyum piki görülmektedir. Yapılan XRD incelemeleri sonucunda CNT içerikli kompozitlerde herhangi bir metaller arası bileşiğin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Nayan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ağırlıkça %4 CNT ile Al tozları sırasıyla 12, 24, 36, 48 saat süreyle mekanik olarak öğütülmüş karışımlarda yapılan XRD analizine göre yapıda 26° karşı gelen CNT ile alüminyum karbür (Al_4C_3) oluşumuna karşı gelen pik belirlenmemiştir (Nayan *et al.* 2011).

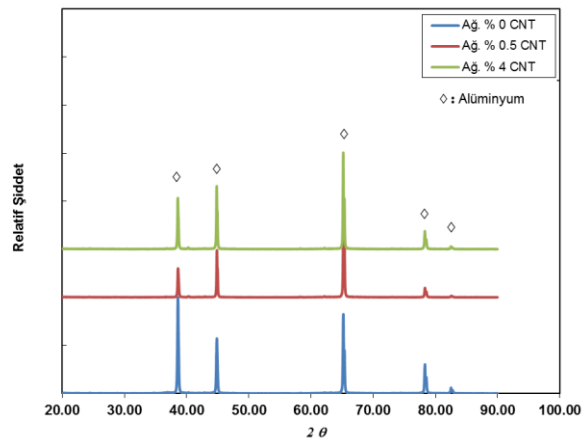




(a)



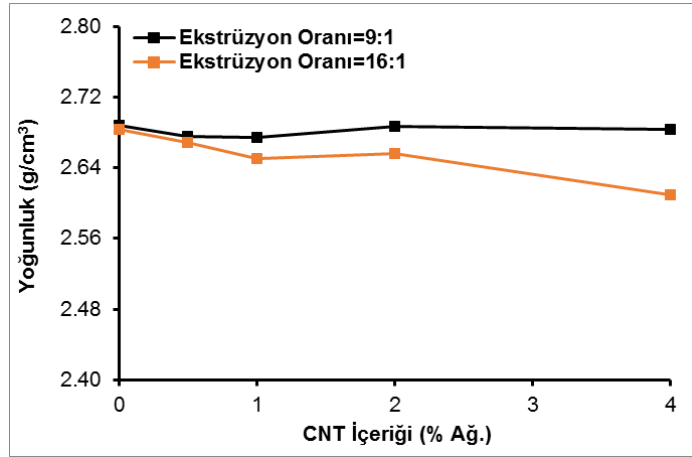
(b)



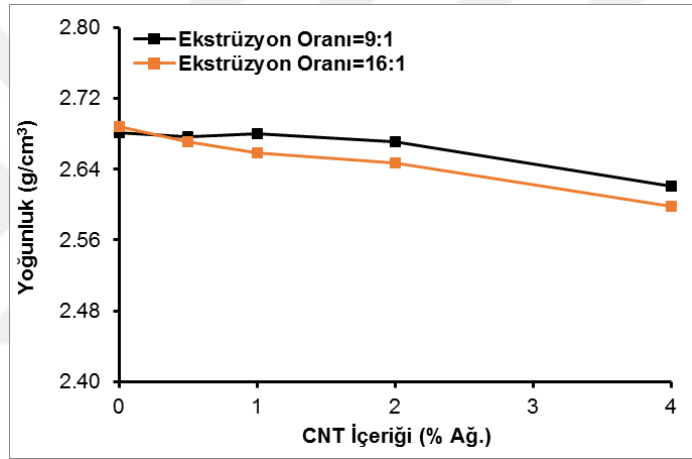
(c)

Şekil 4.5. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %0.5 ve %4 CNT içeren kompozitlerin XRD paternleri

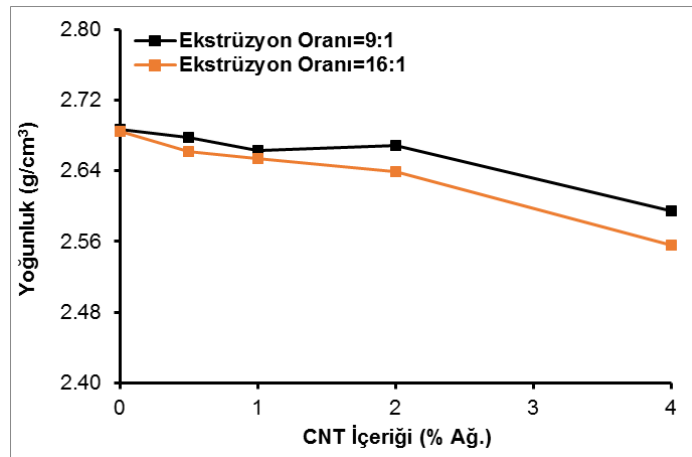
9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı Al talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin CNT içeriğinin bir fonksiyonu olarak yoğunluktaki değişim Şekil 4.6'de verilmektedir. Şekil 4.6'de görüldüğü gibi 9:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitler düşük Al talaş içeriğinde (Ağ. %25 Al talaşı) artan CNT içeriği ile yoğunluğun pek fazla değişmediği görülmektedir. Bunun sebebi olarak düşük talaş içeriğinde talaş yüzeyine CNT'ün yeterince sıvanmadığı söylenebilir. Ancak talaş içeriği ağırlıkça %50 ve %75 olan kompozitlerde artan CNT içeriği ile yoğunluğun düştüğü gözlemlenmiştir. 16:1 ekstrüzyon oranında tüm talaş içeriklerinde kompozitlerin yoğunluk değerleri 9:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitlere nazaran daha düşük olup, artan CNT içeriğine bağlı olarak yoğunluk sürekli olarak azalmaktadır. Bunun sebebi, 16:1 gibi yüksek ekstrüzyon oranında CNT'lerin yeniden biraraya gelmesi ile Al tabakalarının plastik deformasyona daha şiddetli uğraması olarak düşünülebilir.



(a)



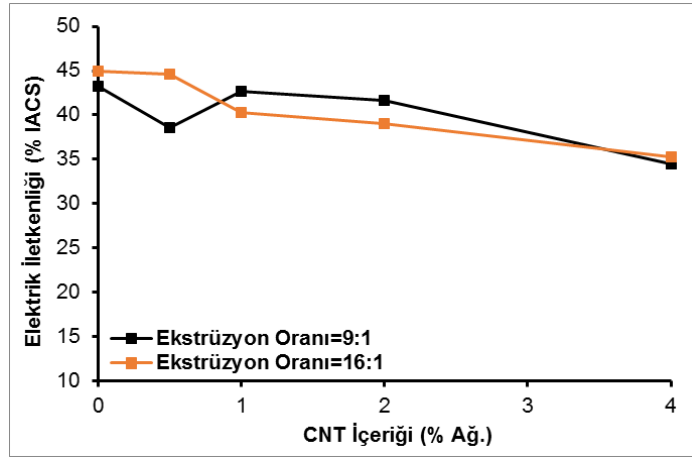
(b)



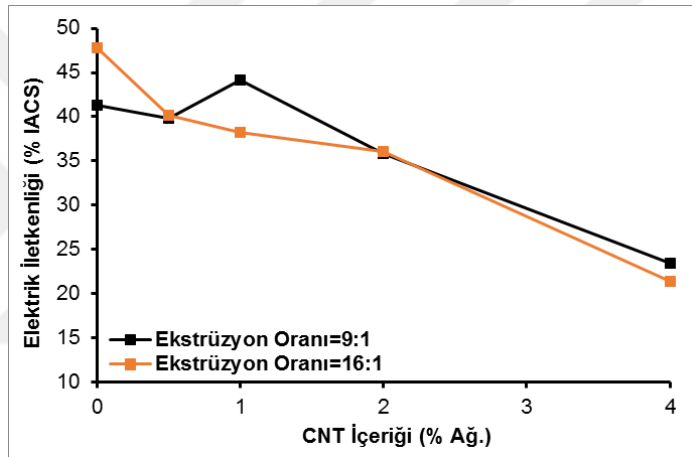
(c)

Şekil 4.6. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin yoğunluğunun CNT içeriğine bağlı olarak değişimi

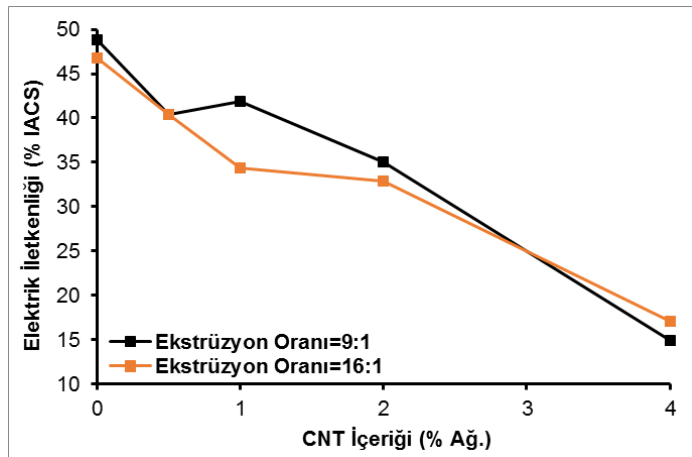
Şekil 4.7’de ise 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriğinde üretilen kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak elektrik iletkenliğindeki değişim verilmiştir. Şekil 4.7 a’da 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen kompozitlerde elektrik iletkenliği CNT içeriği ağırlıkça %0,5’e kadar hızlı bir şekilde azalma gösterirken CNT içeriği ağırlıkça %0,5-%1 arasında olduğunda zaman elektrik iletkenlik değeri nispeten artmıştır. CNT içeriği ağırlıkça %1’den daha fazla olduğunda elektrik iletkenliği azalmakta ve talaş içeriği arttıkça elektrik iletkenliğindeki azalma daha da artmıştır. Genelde alüminyuma nazaran nanotüpün daha düşük elektrik iletkenliğine sahip olduğu bilinir (Srivasta *et al.* 2008). Ayrıca optik mikroskop (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3) ve SEM mikroyapı görüntülerinde (Şekil 4.4) gözlendiği gibi nanotüpler talaş yüzeyine topaklanarak talaşlar arasında farklı bir faz gibi davranır. Bu durumda iki talaş arasında yük taşıyıcıların saçılımını artırarak iletkenliğin azalmasına yol açar. Şekil 4.7’de 16:1 ekstrüzyon oranında farklı Al talaş oranlarında üretilen kompozitlerin elektriksel iletkenliği artan CNT içeriği ile sürekli olarak azalmış olup, artan Al talaş içeriğine bağlı olarak elektrik iletkenliğindeki azalma daha da artmıştır. Genel eğilim olarak CNT ilavesi ile yoğunluktaki azalma kompozit yapısındaki porozitelerin mevcudiyeti (Şekil 4.8) veya daha yüksek talaş içeriğinde ise talaş yüzeyine sıvayan CNT miktarının artması açıklanabilir. Bahsi geçen bu olumsuzluklar elektron hareketi için dezavantaj oluşturmaktadır.



(a)

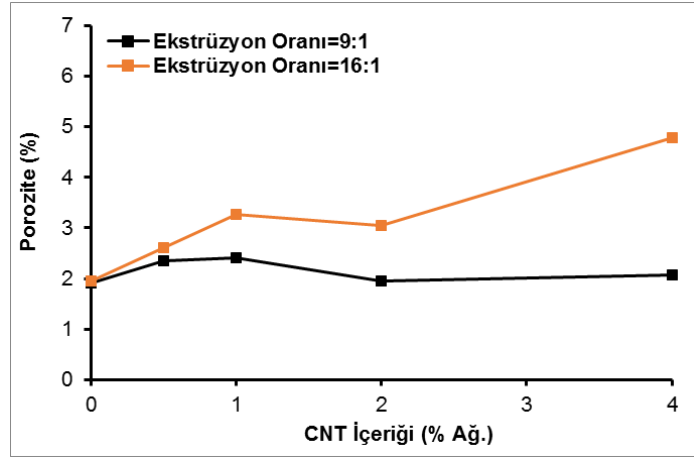


(b)

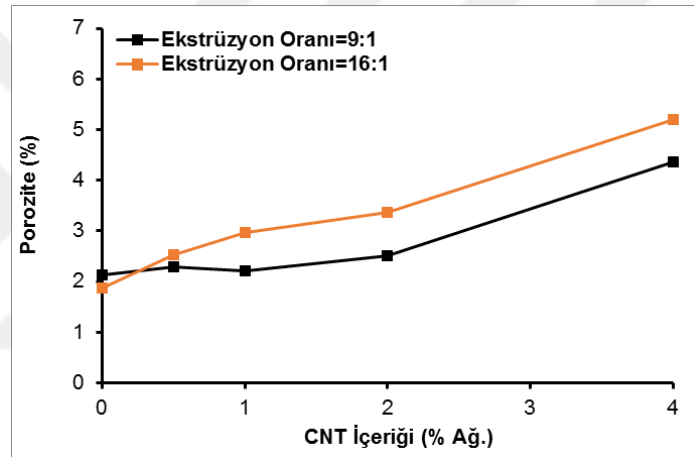


(c)

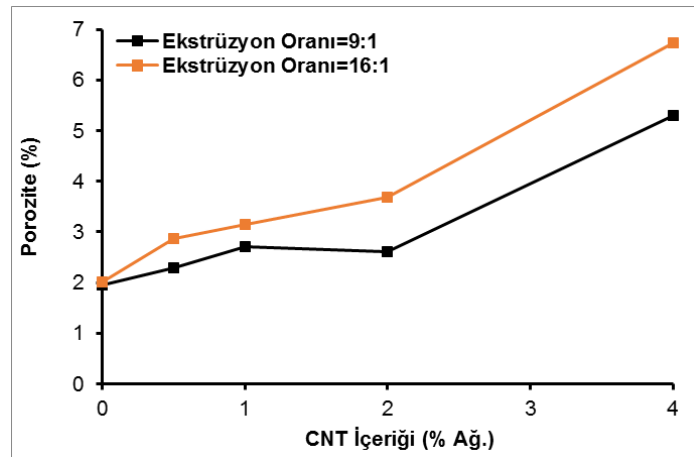
Şekil 4.7. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin elektrik iletkenliğinin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi



(a)



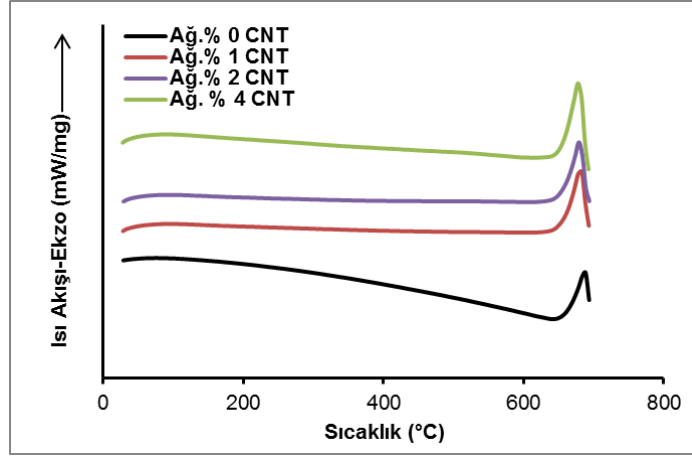
(b)



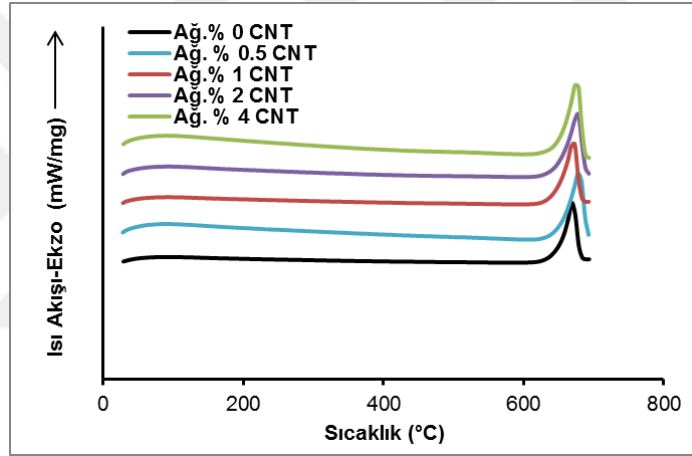
(c)

Şekil 4.8. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talas içeriğinde üretilen kompozitlerin porozitenin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi

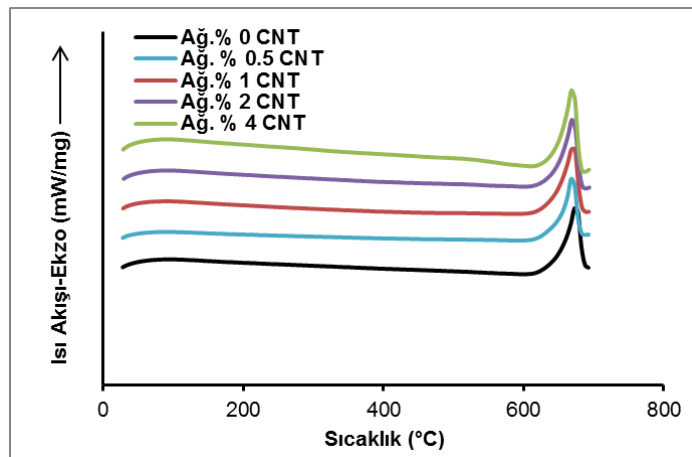
9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak DSC ve entalpi değişimleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmektedir. Tüm kompozit içeriklerinde bir adet endotermik pik (alüminyumun ergime sıcaklığı) belirlenmiş olup Al_4C_3 oluşumuna karşı gelen ekzotermik pik gözlenmemiştir. Nayan ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada ağırlıkça %4 CNT içeren alüminyum karışımlarının daha uzun mekanik öğütmeye maruz kalması (24 saat'den 36 saat'e) durumunda Al_4C_3 oluşumu için gerekli aktivasyon enerjisinin iki kat artacağı belirtilmektedir. Ağırlıkça %25 talaş içeren kompozitlerde genel eğilim olarak artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı $686^{\circ}C$ 'den $678^{\circ}C$ 'ye azalmaktadır. Entalpi değeri ise ağırlıkça %2 CNT içeriğine kadar $102,4 J/mg$ 'den $202,5 J/mg$ 'ye artarak termal kararlılığın arttığı Şekil 4.10'de görülmektedir. Ancak CNT içeriği ağırlıkça %2'in üzerinde olduğu zaman entalpi değeri $122,9 J/mg$ 'ye azalarak termal kararlılık azalmaktadır. Ağırlıkça %50 talaş içeren kompozitlerde artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı yaklaşık $680,4^{\circ}C$ 'den $686^{\circ}C$ 'ye artarken, entalpi değeri ise $261,8 J/mg$ 'den $172,6 J/mg$ 'ye azalmasıyla termal kararlılığın azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça %75 talaş içeren kompozitlerde ise artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı $658,3^{\circ}C$ 'den $680,6^{\circ}C$ 'ye artarken, termal kararlılık ise hemen hemen aynı kalmıştır (Nayan *et al.* 2011).



(a)

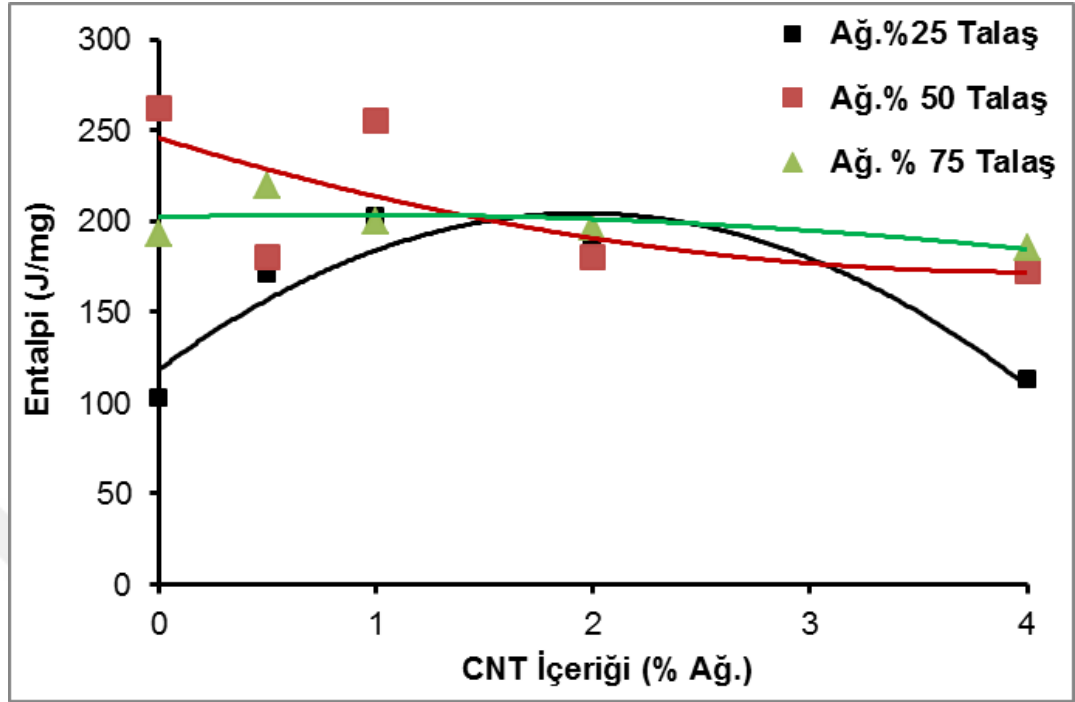


(b)



(c)

Şekil 4.9. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talaş, (b) %50 talaş ve (c) %75 talaş içeren kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak DSC değişimi

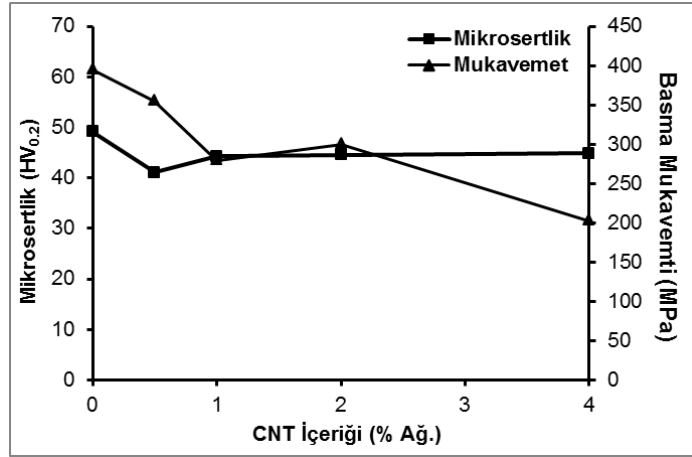


Şekil 4.10. 9:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeren kompozitlerde CNT içeriğine bağlı olarak entalpi değişimi

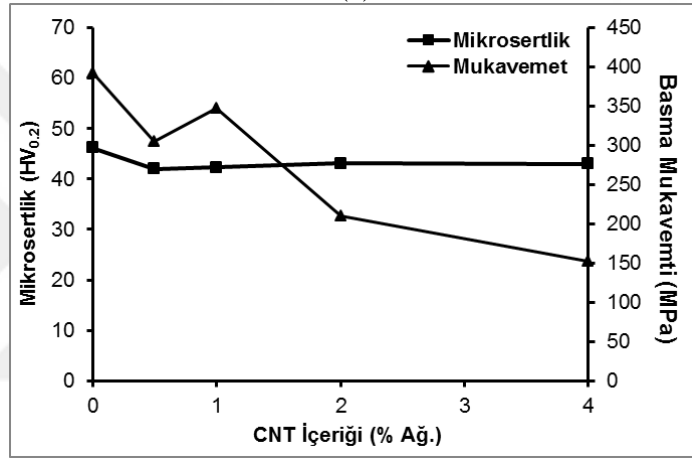
4.2. Mekanik Özellik Karakterizasyon Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de iki farklı ekstrüzyon (9:1 ve 16:1) ve farklı Al talaş içeriğinde (ağırlıkça %25, %50 ve %75) üretilen kompozitlerde mikrosertlik ve basma mukavemetinin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Genel eğilim olarak 9:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitlere nazaran 16:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitlerin sertliği nispeten daha yüksektir. Şekil 4.11’de 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 talaş içeren kompozitlerde ağırlıkça %0,5 CNT içeren kompozitin mikrosertlik değerinde düşme gözlenirken ağırlıkça %50 ve 75 talaş içeren kompozitlerin mikrosertlik değerlerinde kayda değer bir değişme gözlenmemiştir. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeren kompozitlerde artan CNT içeriğine bağlı olarak mikrosertliği hemen hemen aynı kalmıştır. CNT partiküllerin Al matriste üniform dağılmayıp yapıda topaklanması durumunda daha düşük sertlik ve daha yüksek porozite elde edileceği ifade edilmiştir (Stein *et al.* 2012). Ekstrüzyon oranı yüksek olan tüm talaş içeriklerinde kompozitlerin mikrosertliği yüksek iken

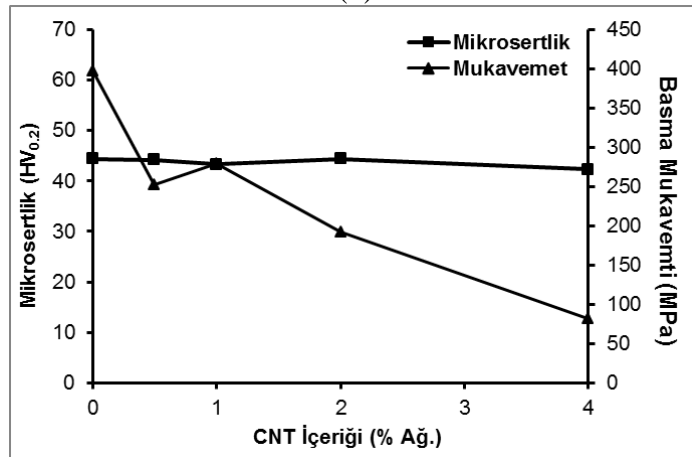
basma mukavemeti ise nispeten düşüktür. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 talaş içeren kompozitlerde artan CNT içeriğine bağlı olarak basma mukavemetinde değişme gözlenmez iken ağırlıkça %50 ve 75 talaş içeren kompozitlerin basma mukavemeti CNT ilavesi ile hızlı bir şekilde sürekli azalmaktadır. Artan talaş ve CNT içeriğine bağlı olarak kompozitlerin basma mukavemetindeki azalmanın nedenleri: (1) yoğunluktaki azalma yüke maruz kalan alanı azaltması (2) artan talaş içeriğine bağlı olarak talaş yüzeyine sıvanan CNT içeriğindeki artıştan dolayı CNT'lere yakın kusurların artması ve mikro boşluk oluşturma eğilimi (3) yüksek talaş içeriğinde talaş yüzeyine sıvanan CNT içerikli talaşların Al tozları ile yeterince iyi bağlanamamış olması olarak sıralanabilir. Talaş ve CNT ilavesi ile kompozitlerin artan porozite miktarı (Şekil 4.8) elde edilen kompozitin deformasyon kabiliyetini azalmaktadır. Bu açıklamalar ışığında, talaş ve CNT ilavesi ile basma mukavemetindeki azalmanın sebebi, CNT içeren Al talaşları arasındaki zayıf bağlanmadan dolayı talaş tabakaları arasındaki çatlakların çekirdeklenmesi söylenebilir.



(a)

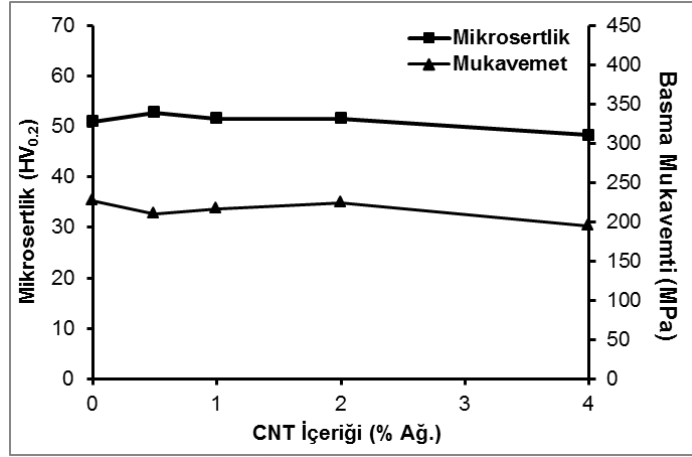


(b)

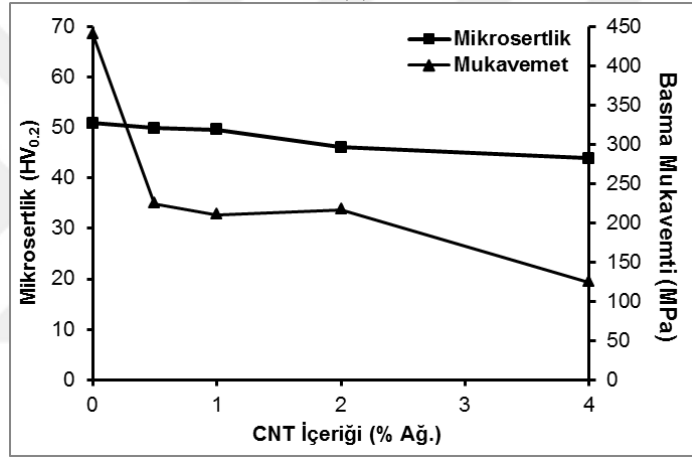


(c)

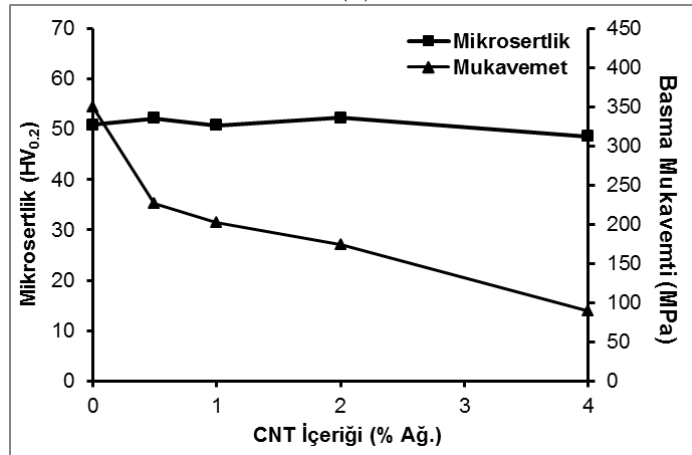
Şekil 4.11. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talas, (b) %50 talas ve (c) %75 talas içeriğinde üretilen kompozitlerde mikrosertliğin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi



(a)



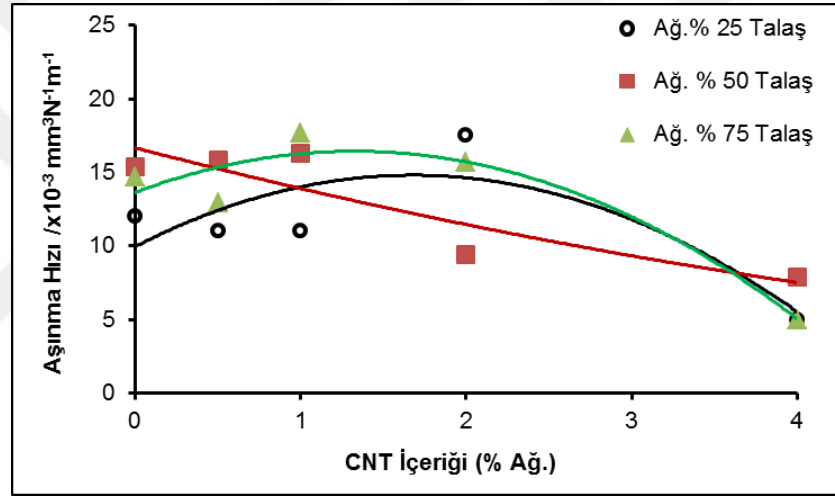
(b)



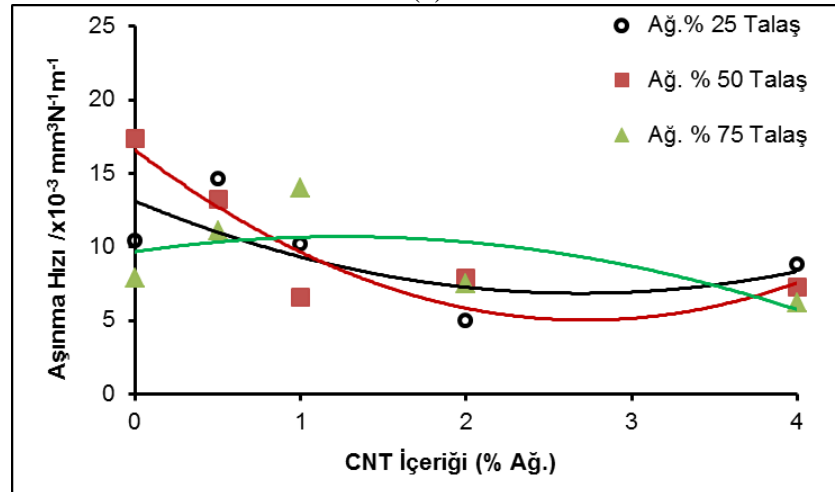
(c)

Şekil 4.12. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25 talas, (b) %50 talas ve (c) %75 talas içeriğinde üretilen kompozitlerde mikrosertliğin CNT içeriğine bağlı olarak değişimi

Tüm talaş içeriklerinde takviyesiz Al alaşımı ve CNT içeren kompozitlerin aşınma testleri sonrası aşınma hızlarını karşılaştırdığımızda, CNT içeriğindeki artış ile aşınma hızı düşmektedir (Şekil 4.13). Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında tüm talaş içeriklerinde takviyesiz Al alaşımı ve CNT içeren kompozitlerin aşınma görüntüleri değerlendirilecek olunursa CNT içeren kompozitlerin aşınma doğrultusunda pürüzlülük ve hasar şiddetinin nisbeten az olduğu görülmektedir. EDS sonuçlarında yüzeyde yüksek miktarda karbon saptanarak CNT’ün yağlayıcı etkiyle yüzeyi koruduğu anlaşılmaktadır.

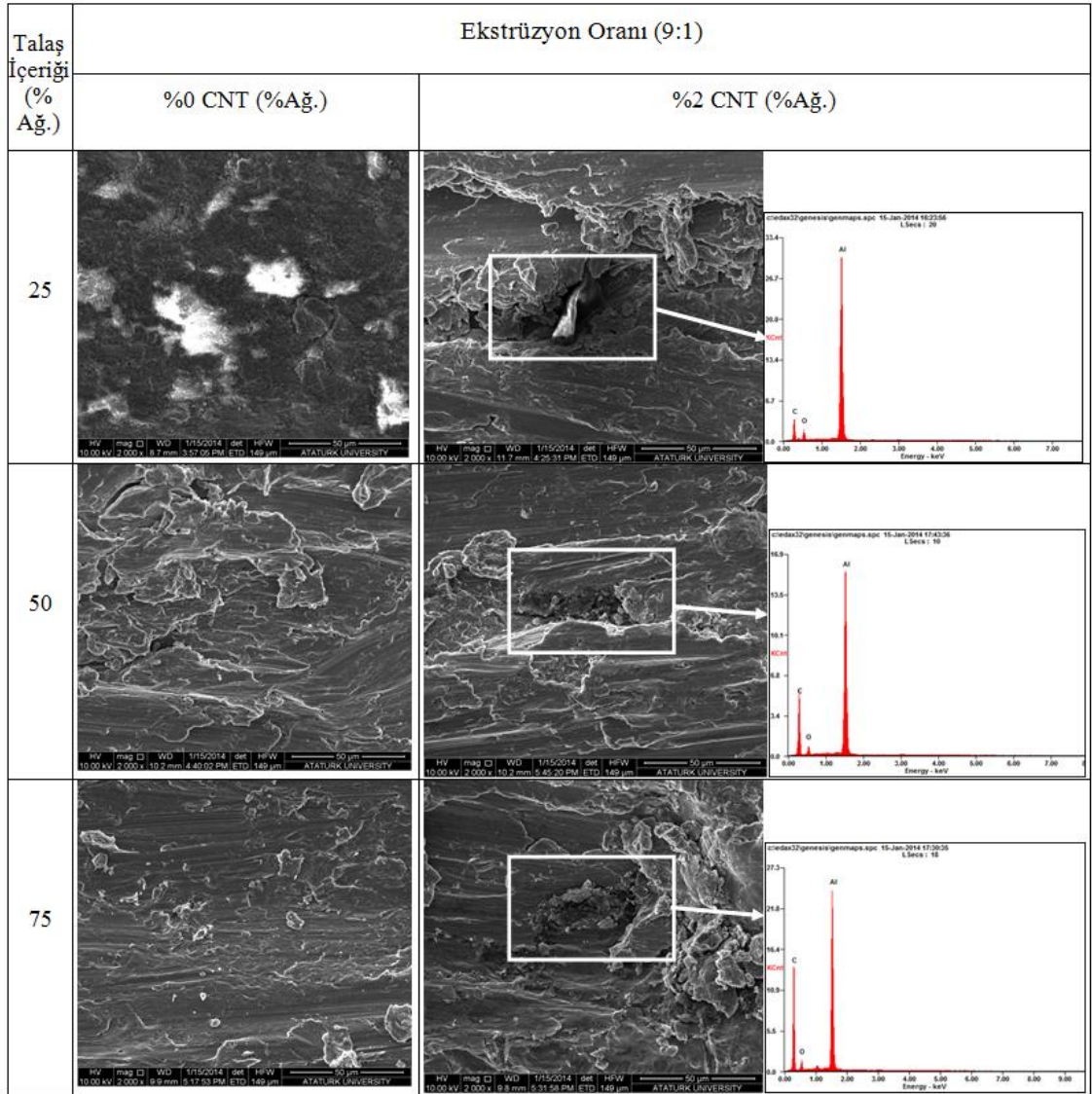


(a)

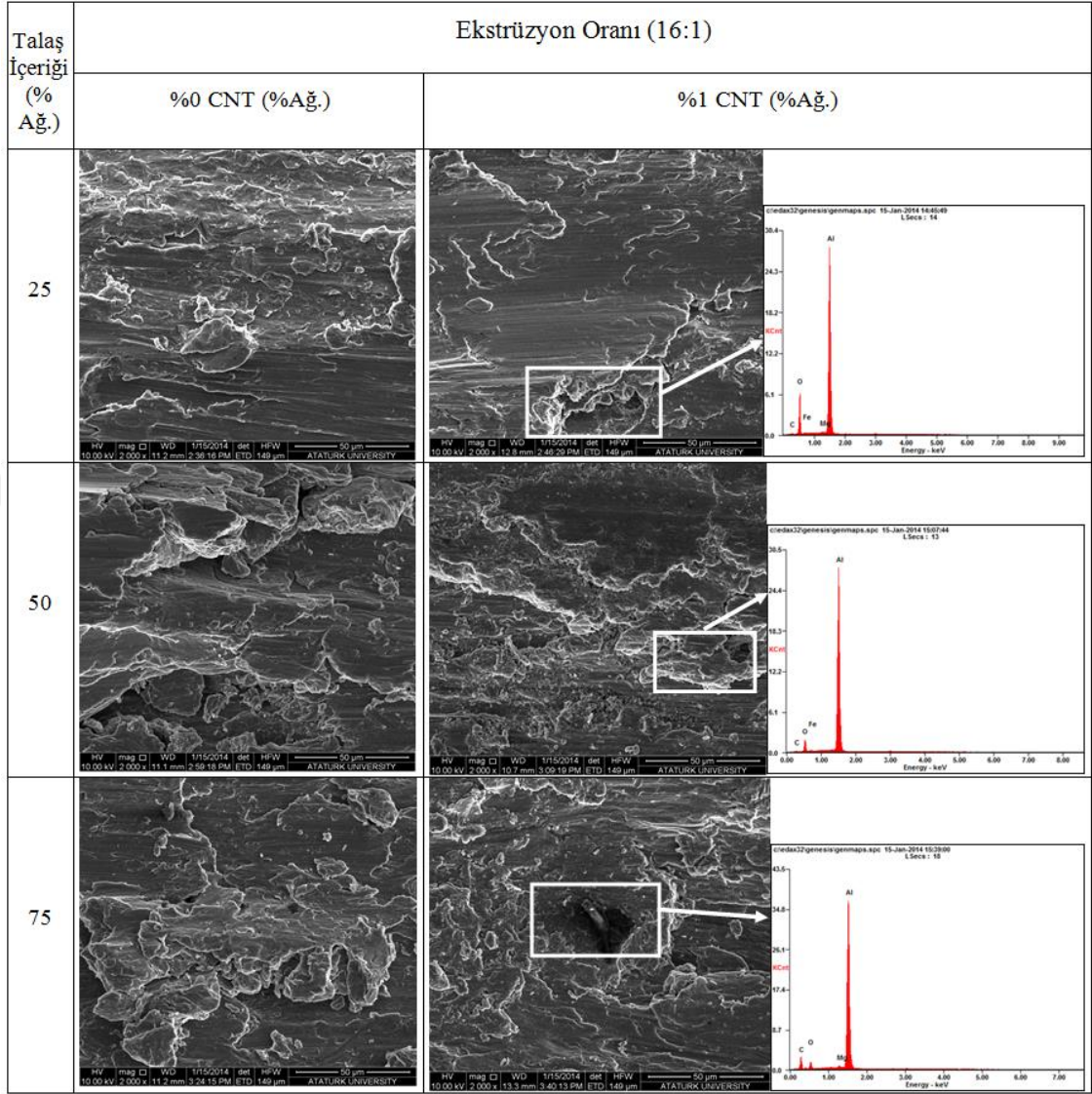


(b)

Şekil 4.13. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça %25, %50 ve %75 talaş içeriğinde üretilen kompozitlerin aşınma hızının CNT içeriğine bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.14. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 CNT içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri



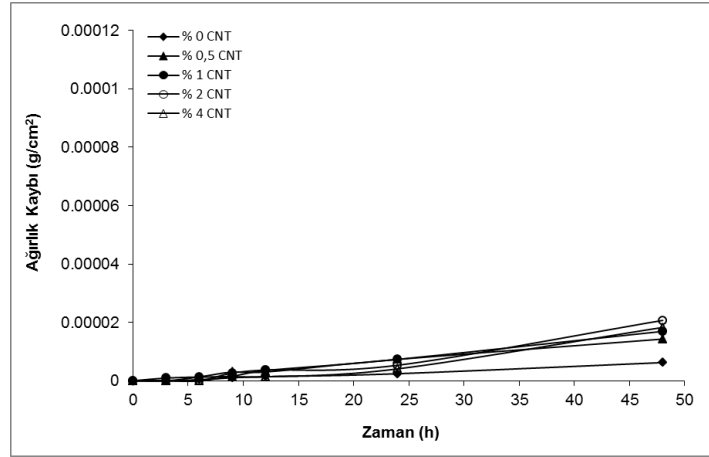
Şekil 4.15. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %1 CNT içeren kompozitlerin aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri.

4.3. Korozyon Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

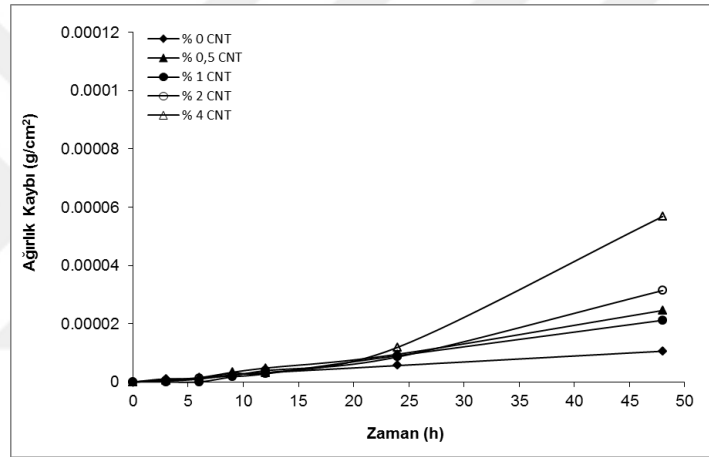
İncelenen kompozitlerin “30 g/L NaCl+10 ml/L HCl” çözeltisi içerisinde zamana göre ağırlık kayıpları ve potansiyodinamik polarizasyon ile korozyon potansiyeli ve korozyon akımına bakılarak korozyon deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Ağırlık kaybı korozyon deney sonuçları ve değerlendirilmesi

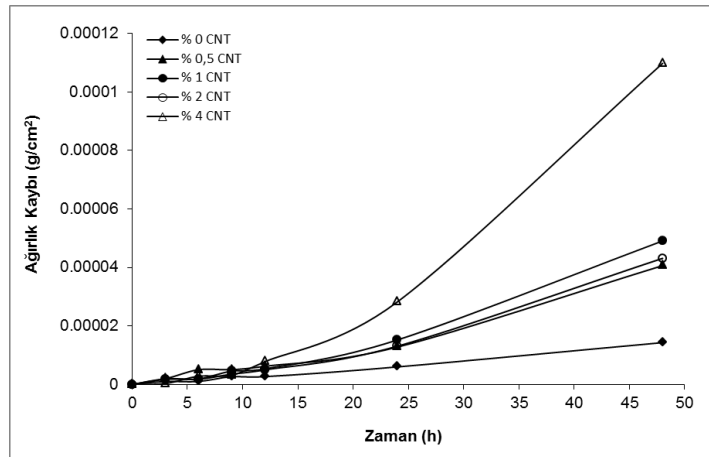
Korozyon deneylerinin sonuçları, incelenen numunelerin birim yüzey alanı başına ağırlık kayıplarının (normalize ağırlık kaybı) zamana göre değişimi Şekil 4.16 ile Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.16 ile Şekil 4.17’de görüldüğü gibi korozyon çözeltisi içinde tutma süresi ile normalize ağırlık kaybı lineer olarak artmaktadır. Bu doğruların eğiminden korozyon hızı ($g/(cm^2 \cdot h)$) belirlenmiştir. Korozyon hızının talaş ve CNT içeriğine bağlı olarak değişimi Şekil 4.18’de sunulmuştur.



(a)

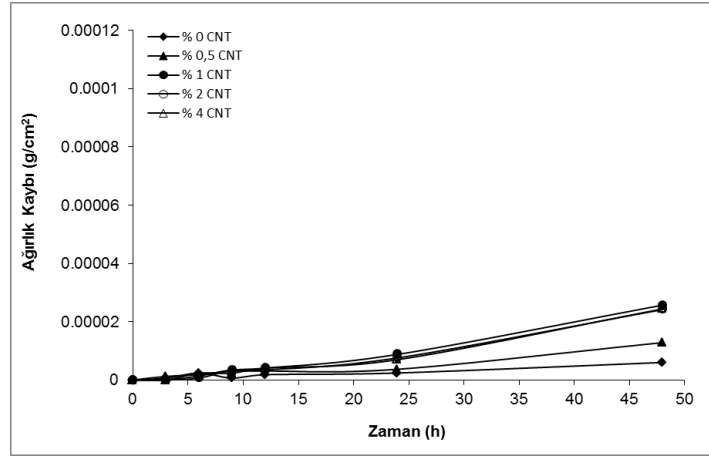


(b)

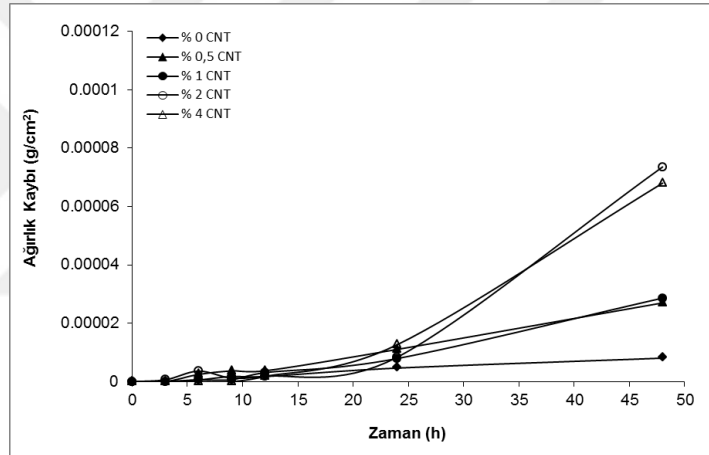


(c)

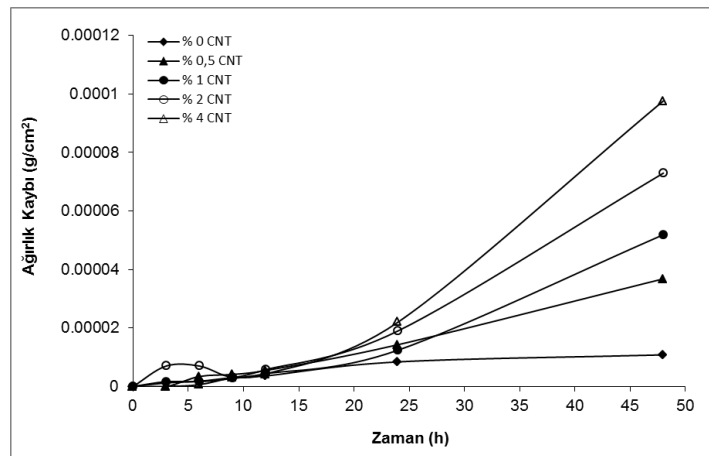
Şekil 4.16. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi



(a)

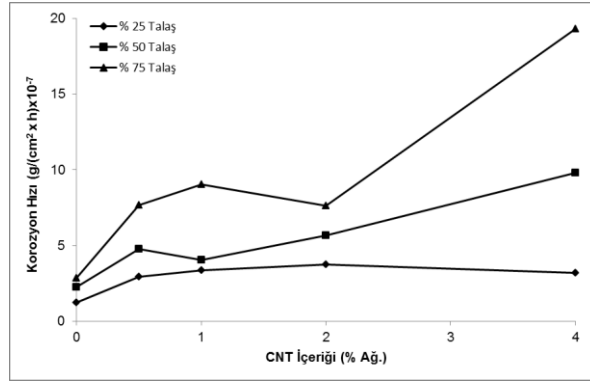


(b)

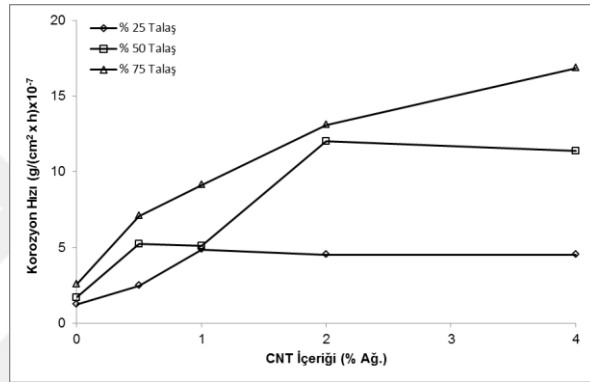


(c)

Şekil 4.17. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin ağırlık kayıplarının zamana göre değişimi



(a)

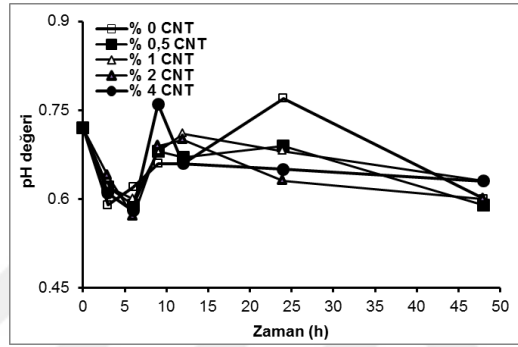


(b)

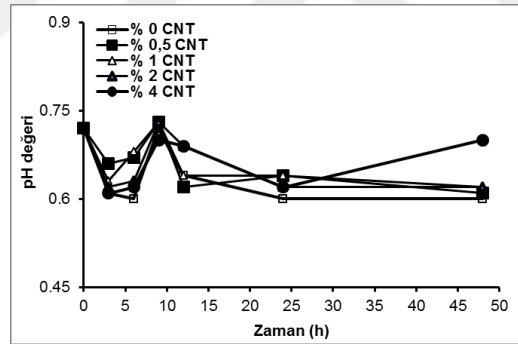
Şekil 4.18. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin korozyon hızlarının CNT içeriğine bağlı olarak değişimi

Genel eğilim olarak 16:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitler 9:1 ekstrüzyon oranında üretilen kompozitlere nazaran nispeten yüksek korozyon hızı sergilemektedir. 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında ağırlıkça %25 Al talaş içeren kompozitlerde ağırlıkça %0,5 CNT içeriğine kadar korozyon hızındaki artış nispeten az iken, CNT içeriği ağırlıkça %0,5'in üzerine artırıldığı zaman korozyon hızında önemli bir değişiklik gözlenmez (Şekil 4.18). Bunun nedeni düşük talaş içeriğinde talaşları arasındaki bağlanmayı sağlamak için kullanılan saf Al toz miktarının fazla olmasından kaynaklanabilir. Ancak daha yüksek talaş içeriklerinde ise artan CNT içeriği ile korozyon hızı önemli miktarda artmaktadır. Şekil 4.19 - Şekil 4.22'de CNT içeriğine bağlı olarak incelenen kompozitlerin çözelti pH ve iletkenlik değişimleri görüldüğü gibi ilk 12 saatte dalgalanma gösterir ancak 12 saatten sonra hemen hemen aynı kalmıştır. Ancak CNT içeriği ağırlıkça %4 olan kompozitlerde korozyon deneyleri sırasında daha

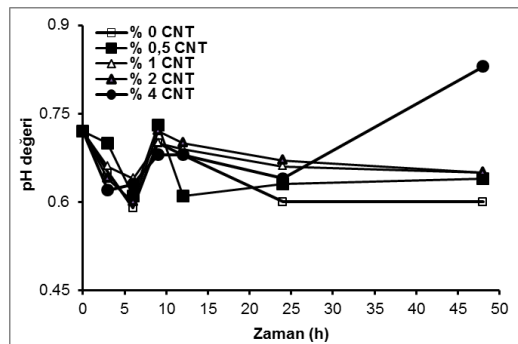
fazla element çözeltiliye geçtiğinden daha yüksek pH değeri ve daha düşük çözelti iletkenliği elde edilmiştir (Şekil 4.19 - Şekil 4.22). Korozyon çözeltisi içerisinde 48 saat tutulan kompozitlerin korozyon hızının porozite içeriğine göre değişimi Şekil 4.23’de verilmiştir. Genel olarak artan porozite içeriği ile korozyon hızı artmaktadır. Ancak talaş içeriği yüksek olan kompozitlerde bu durum daha şiddetli olarak görülmektedir.



(a)

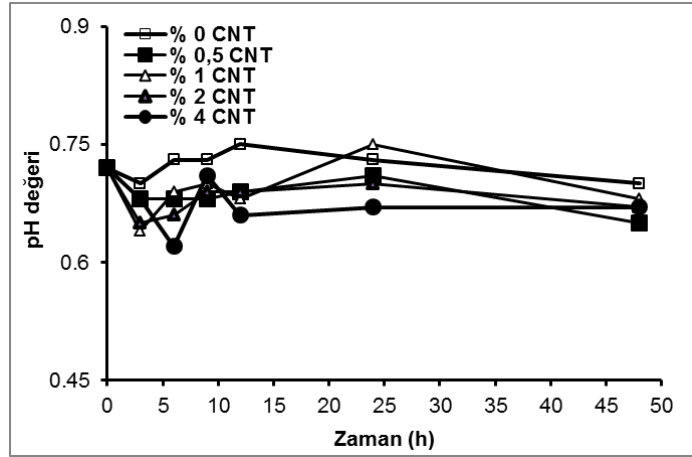


(b)

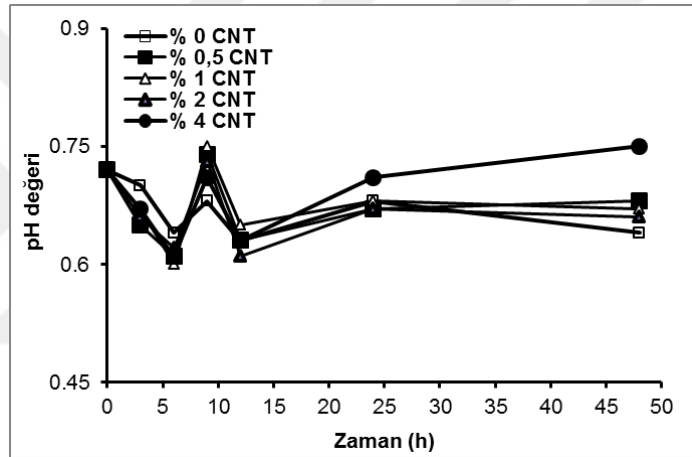


(c)

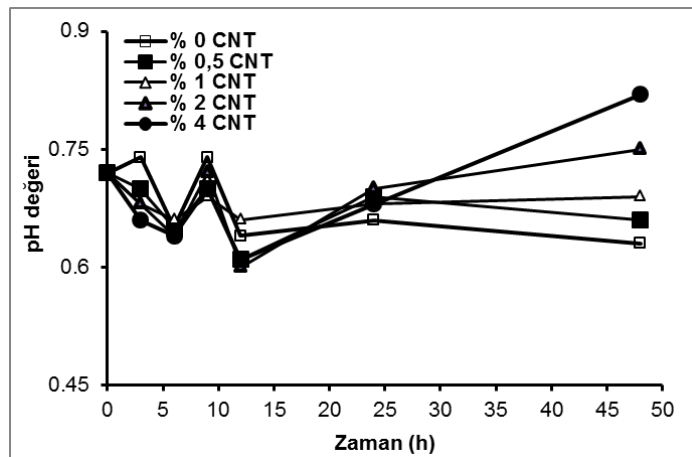
Şekil 4.19. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi



(a)

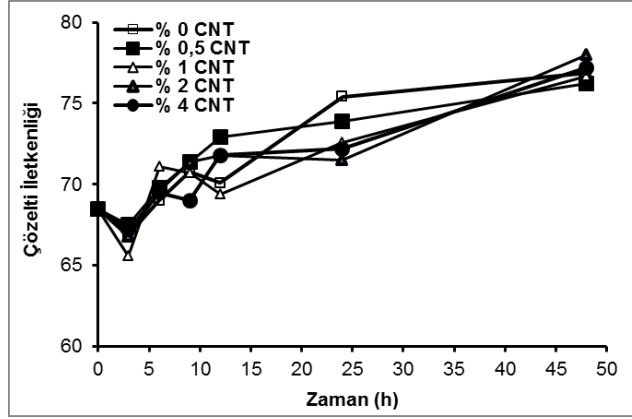


(b)

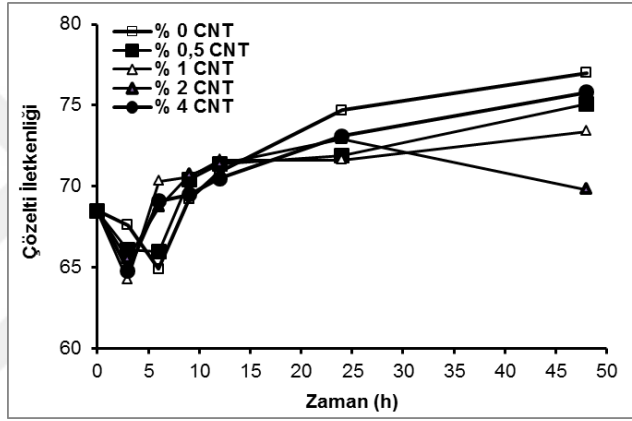


(c)

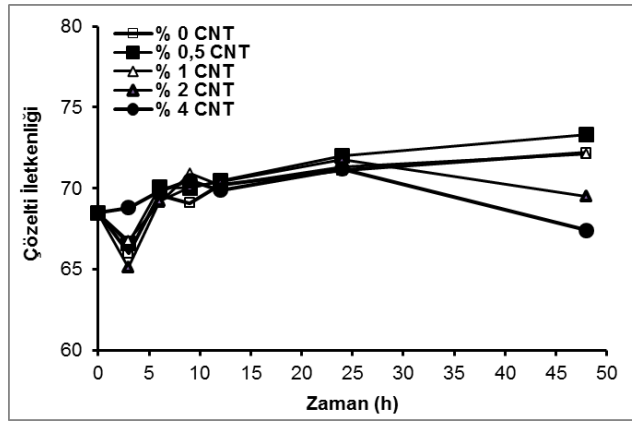
Şekil 4.20. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti pH değerlerinin zamana göre değişimi



(a)

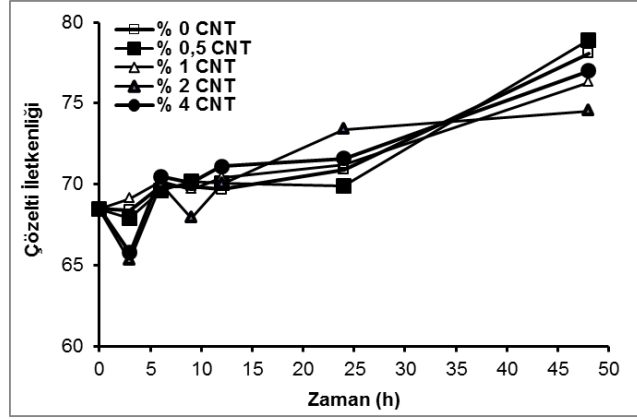


(b)

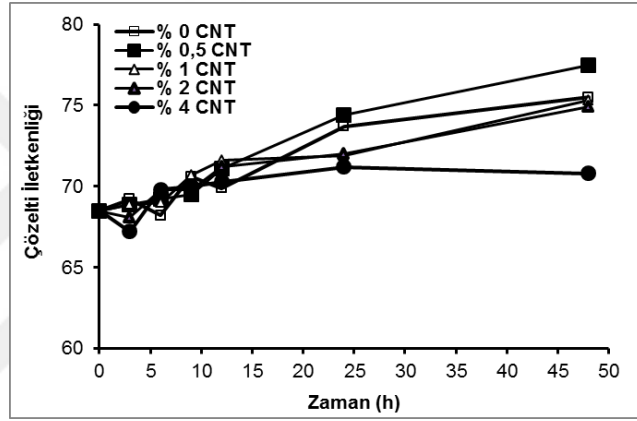


(c)

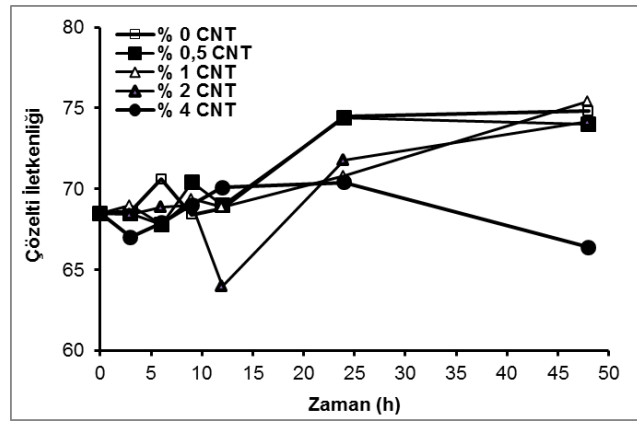
Şekil 4.21. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi



(a)

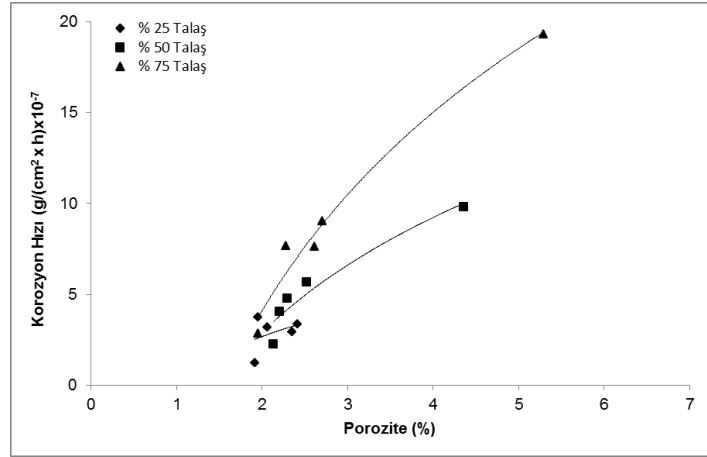


(b)

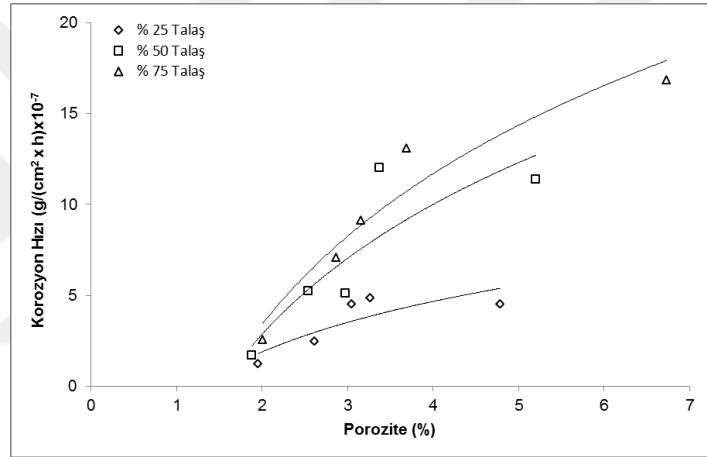


(c)

Şekil 4.22. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin çözelti iletkenliği değerlerinin zamana göre değişimi



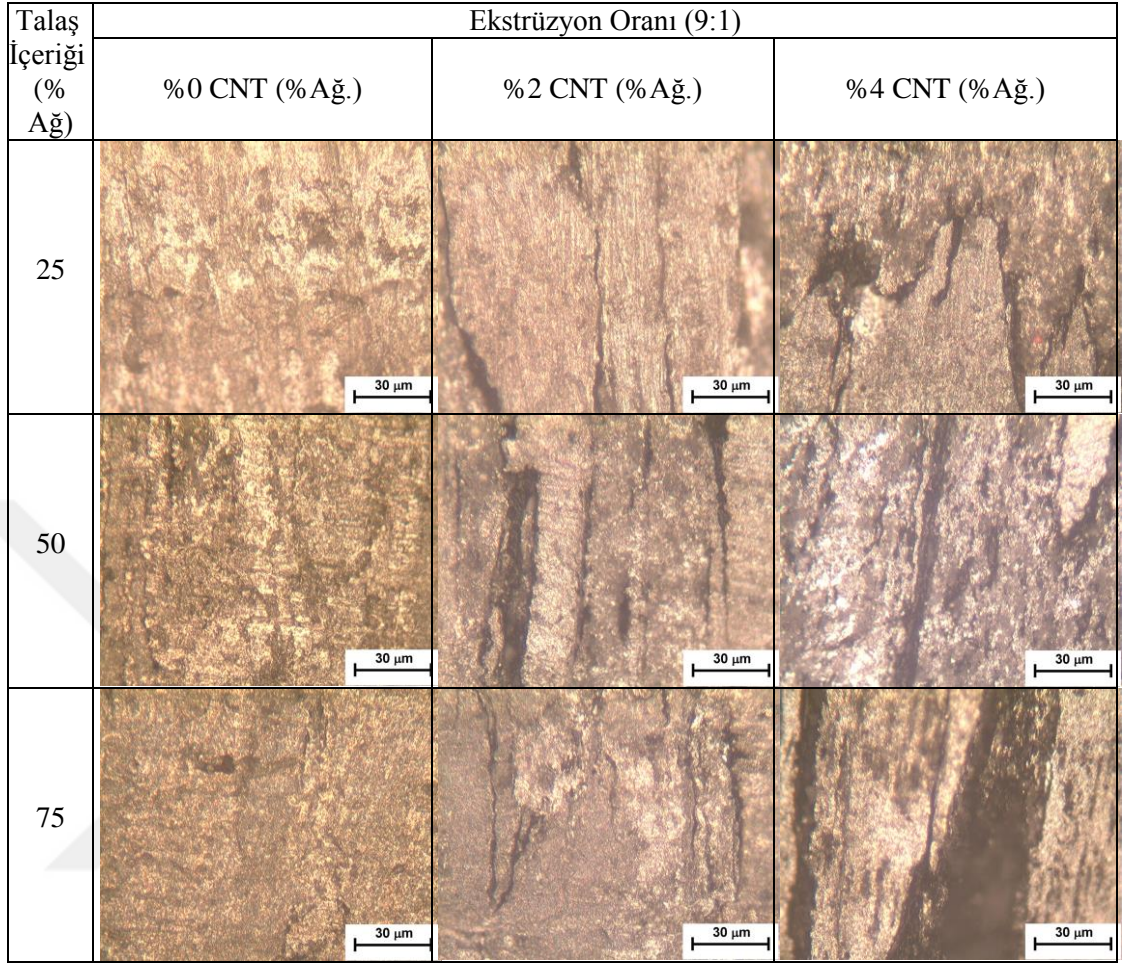
(a)



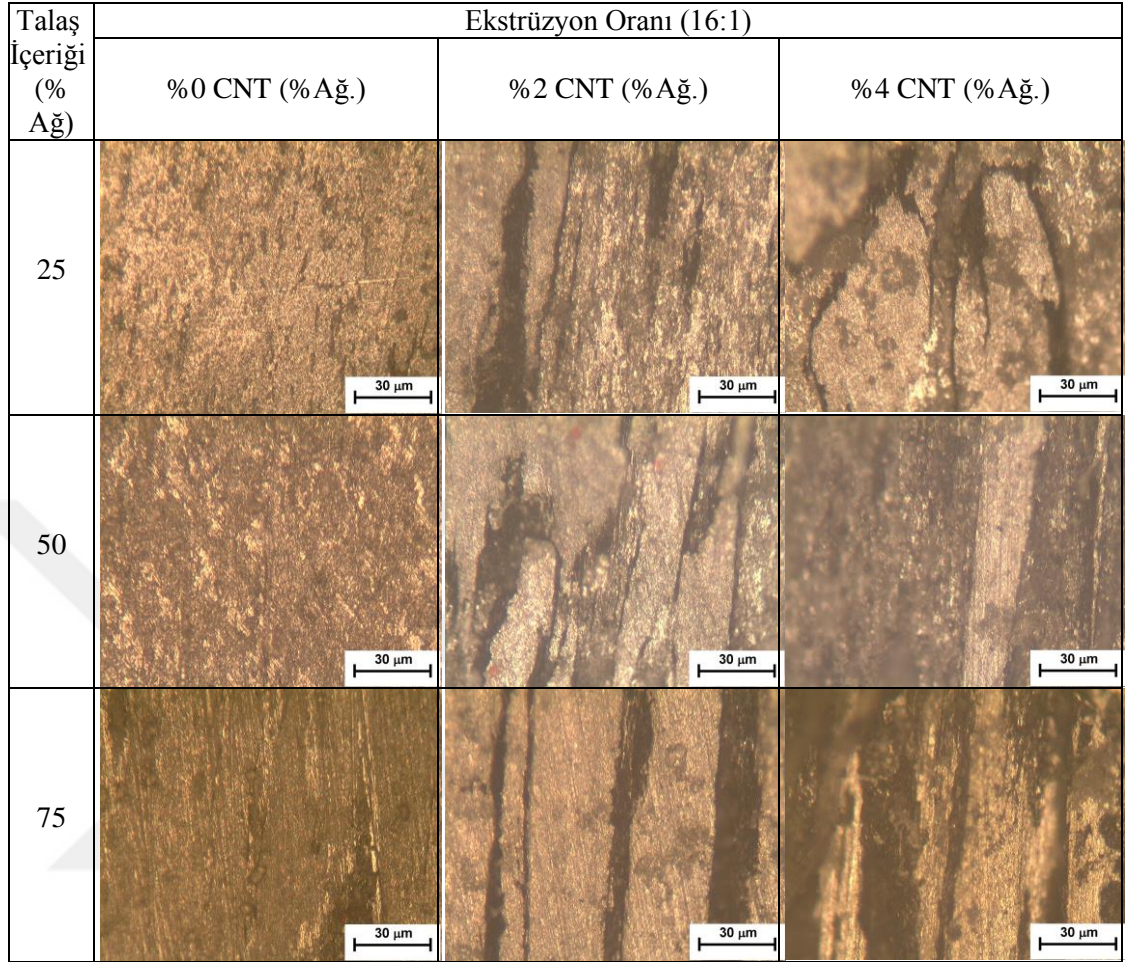
(b)

Şekil 4.23. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin korozyon hızının porozite içeriğine göre değişimi

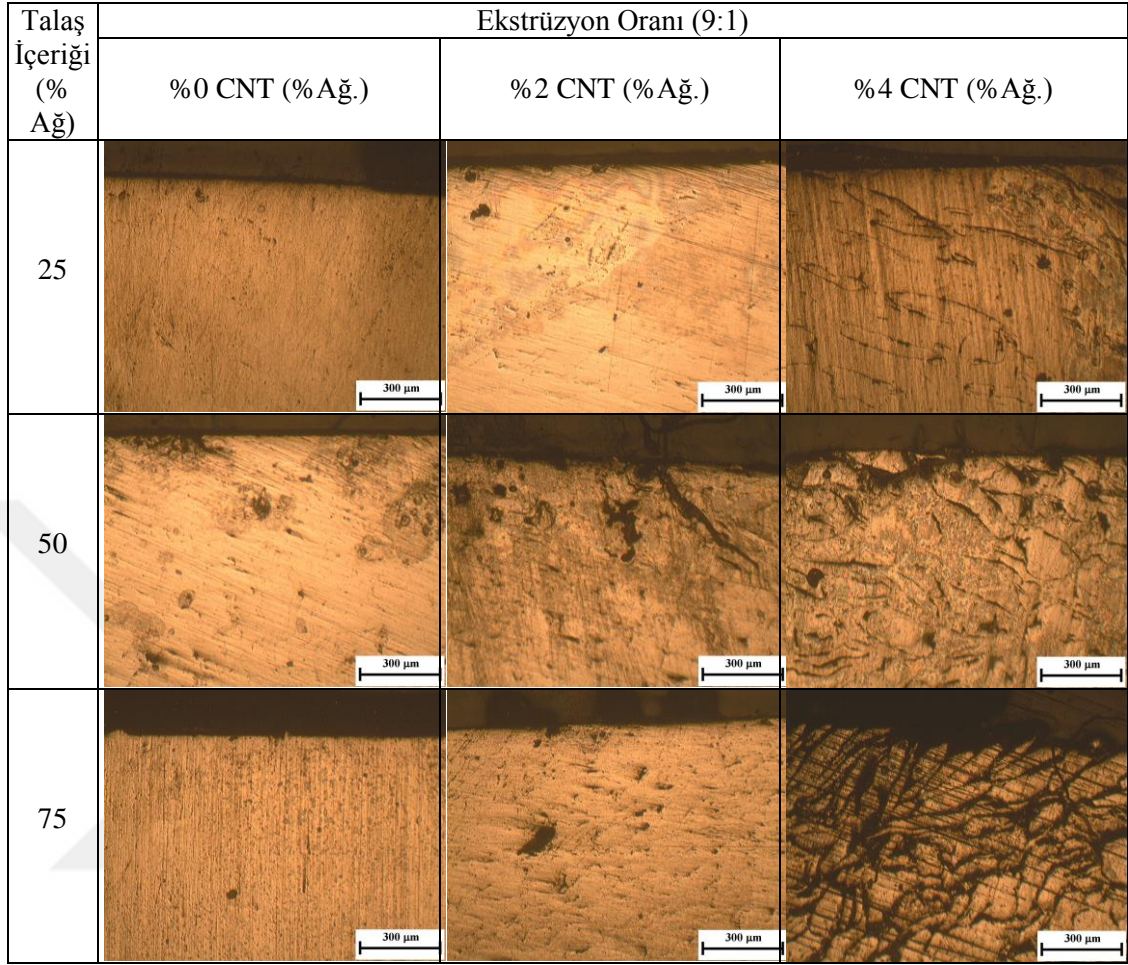
İki farklı ekstrüzyon ve farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin korozyon testi sonrası yüzeylerin OM görüntüleri Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de, kesit görüntüleri ise Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de görülmektedir. Tüm numunelerin yüzeyi ve kesiti korozyona uğramıştır. Ancak CNT içeren kompozitlerdeki hasar boyutu CNT içermeyen Al alaşıma göre daha fazla olduğu görülmektedir.



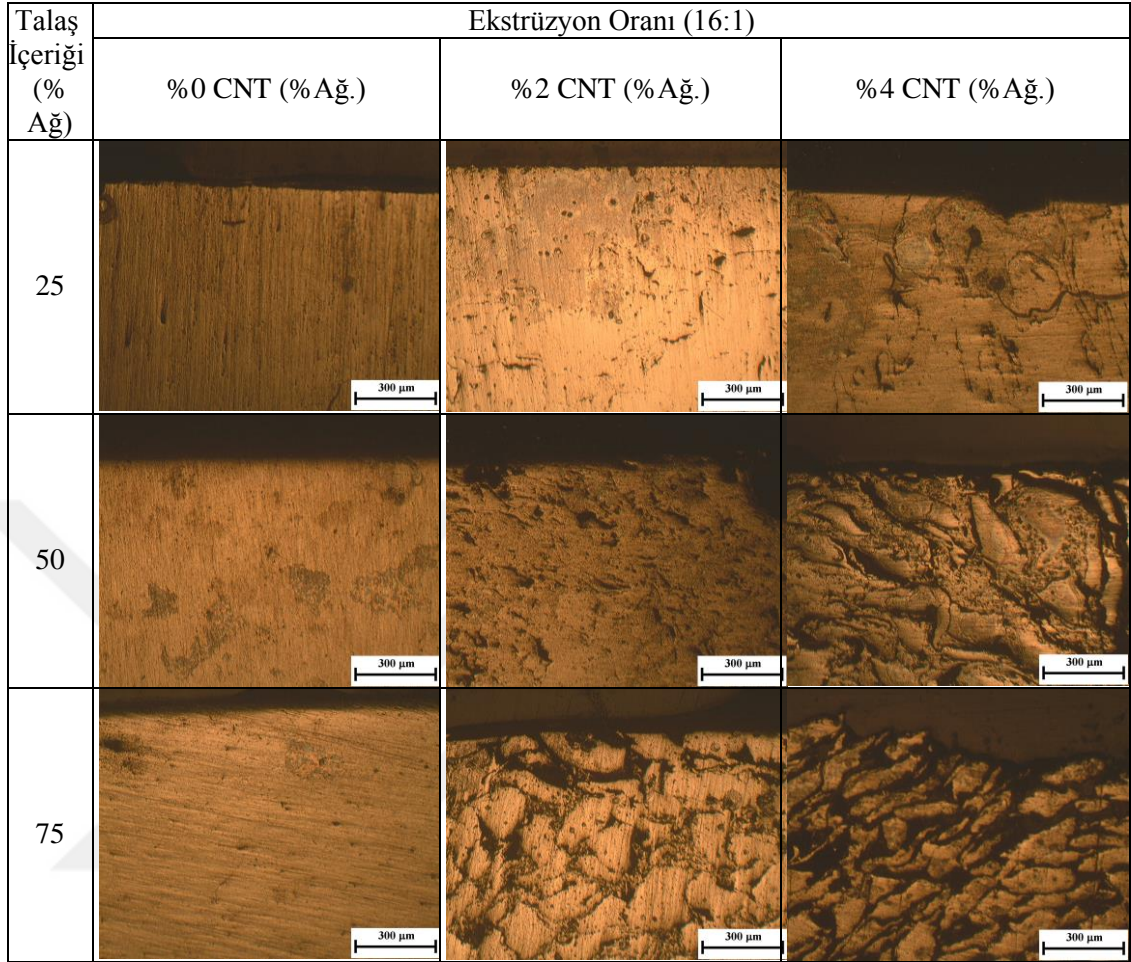
Şekil 4.24. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri



Şekil 4.25. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri



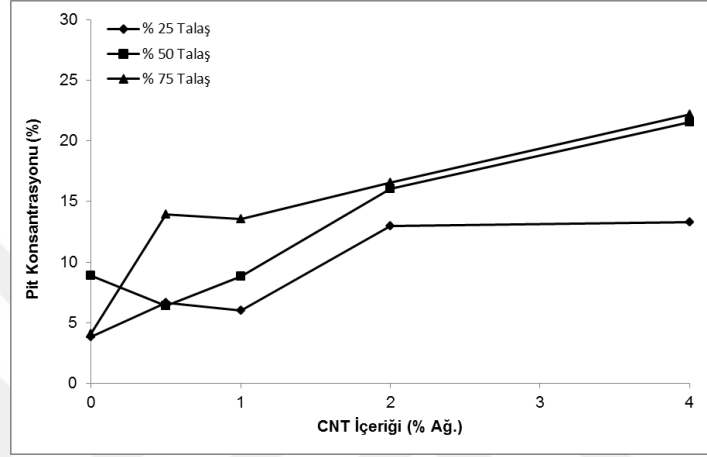
Şekil 4.26. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon deneyi sonrası kesitlerinin OM görüntüleri



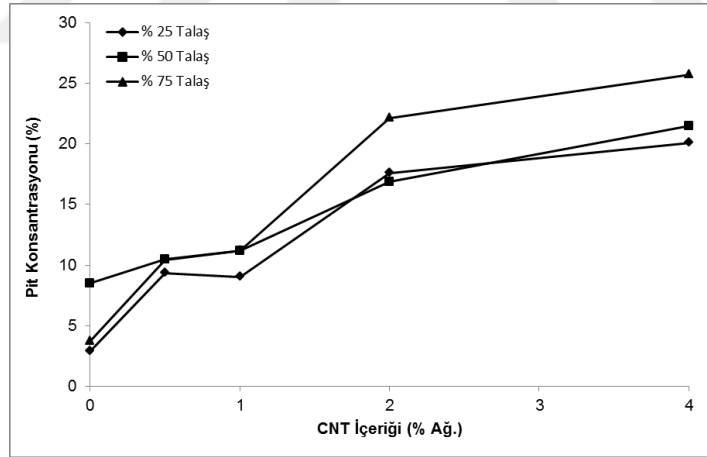
Şekil 4.27. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşımı ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin korozyon deneyi sonrası kesitlerinin OM görüntüleri

Korozyon hasar boyutu olarak pit konsantrasyonu dikkate alındığında, gerek 9:1 gerekse 16:1 ekstrüzyon oranlarında korozyon, matris alaşımının çözünmesi ile gerçekleşmektedir ve yapılan analizlerin sonucunda kompozitlerin yüzeylerinde pitler oluşturduğu görülmüştür (Şekil 4.24-Şekil 4.25). Daldırma korozyon deneyi sonrası elde edilen pit konsantrasyonu grafiklerinde (Şekil 4.28) CNT içeriği arttıkça pit konsantrasyonunun arttığı gözlenmektedir. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça %25 talaş içeren kompozitlerde ağırlıkça %1 CNT içeriğine kadar pit konsantrasyonu azalırken, CNT içeriği %1'in üzerinde olduğu zaman pit konsantrasyonunda önce artış daha sonra değişme gözlenmemiştir. Ancak ağırlıkça %50 ve %75 talaş içeriğinde artan CNT içeriği ile pit konsantrasyonunda artış söz konusudur. 16:1 ekstrüzyon oranında üretilen

kompozitlerde tüm talaş içeriklerinde artan CNT içeriği ile pit konsantrasyonu artmaktadır. Korozyon çözeltisi içerisinde 48 saat tutulan kompozitlerde korozyon hızı değerleri ile pit konsantrasyonu arasındaki ilişki Şekil 4.29’da görülmektedir. Korozyon hızının artması ile incelenen kompozitlerde pit konsantrasyonu artmaktadır.

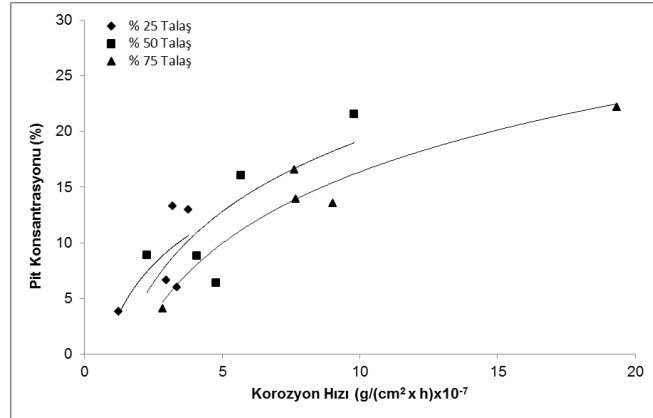


(a)

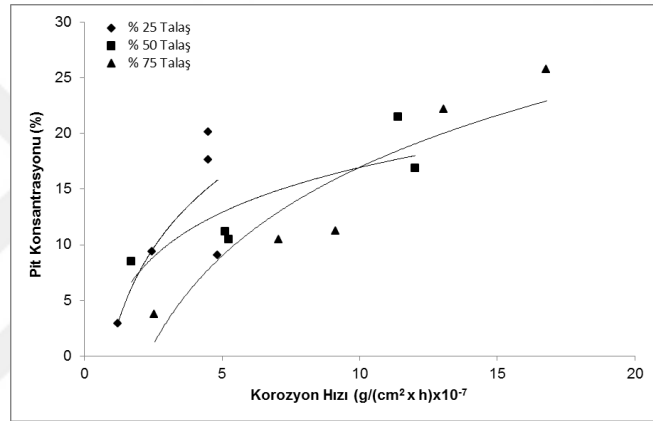


(b)

Şekil 4.28. (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında farklı talaş içeriklerinde üretilen kompozitlerin pit konsantrasyonunun CNT içeriğine göre değişimi



(a)



(b)

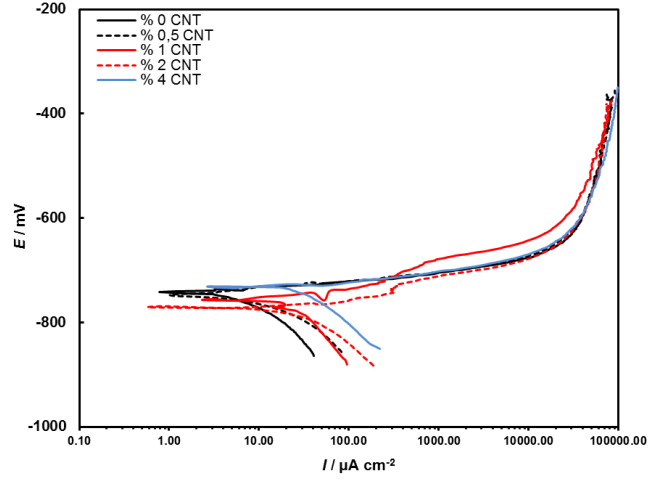
Şekil 4.29. İncelenen numunelerin (a) 9:1 ve (b) 16:1 ekstrüzyon oranlarında korozyon hızına bağlı olarak pit konsantrasyonunun değişimi

4.3.2. Elektrokimyasal polarizasyon korozyon deney sonuçları ve değerlendirilmesi

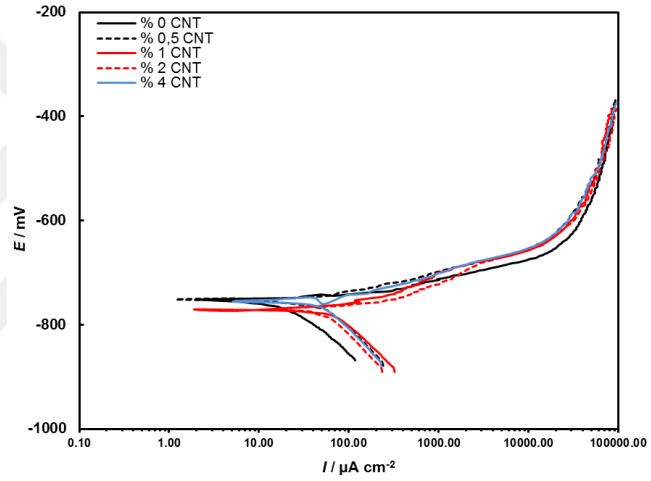
Elektrolitik korozyon deneylerinden elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. Polarizasyon eğrileri 9:1 ve 16:1 ekstrüzyon oranlarında numunelerin birbirine benzer korozyon davranışı sergilediklerini gösterse de 16:1 ekstrüzyon oranında üretilen numunelerde korozyon hasarının daha büyük olduğu bu eğrilerden elde edilen korozyon potansiyeli (E_{kor}) ve akım yoğunluğu (I_{kor}) değerlerinden anlaşılmaktadır. Kompozitler ile takviyesiz Al alaşımının korozyon davranışları kıyaslandığında iki farklı ekstrüzyon oranında tüm talaş içeriklerinde takviyesiz Al alaşımının bütün kompozitlerden daha yüksek potansiyele sahip olduğu

saptanmıştır. Akım yoğunlukları karşılaştırıldığında ise bazı kompozitlerin takviyesiz Al alaşımından daha düşük akım yoğunluklarına sahip oldukları görülmüştür. Bu gözlemler sonucunda CNT içeren kompozitlerin takviyesiz Al alaşımına göre daha kolay bir şekilde korozyona uğradığı ancak korozyonun ilerleme hızının bazı kompozitlerde daha düşük seviyelerde olduğu sonucu çıkarılabilir.

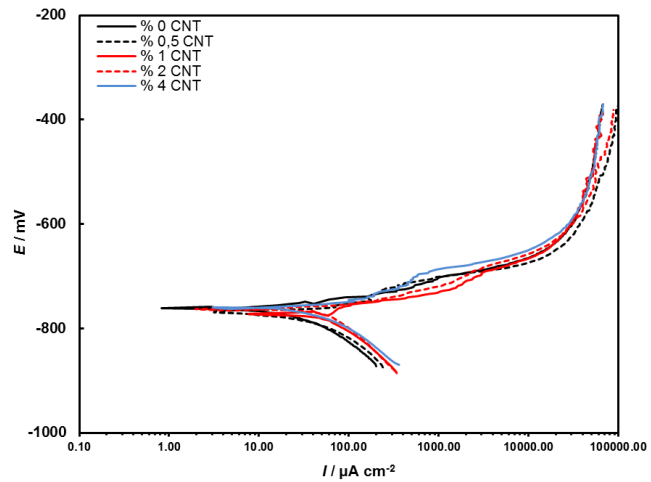




(a)

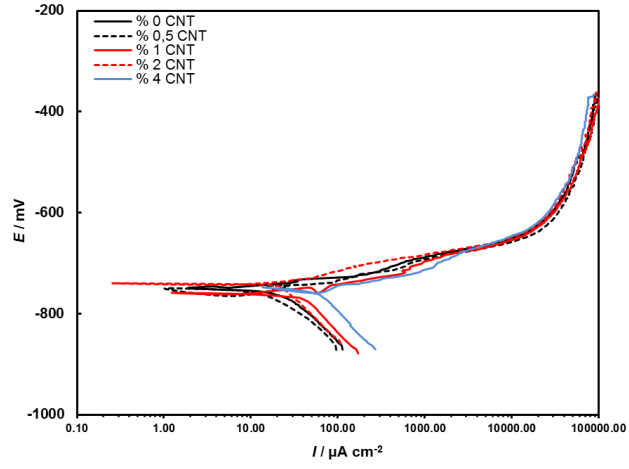


(b)

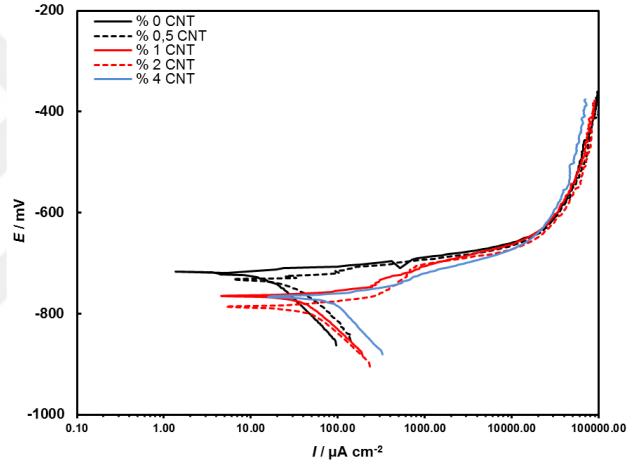


(c)

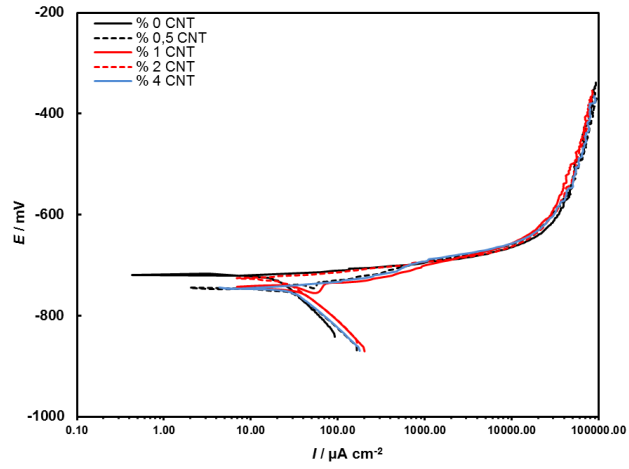
Şekil 4.30. 9:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin polarizasyon eğrileri



(a)



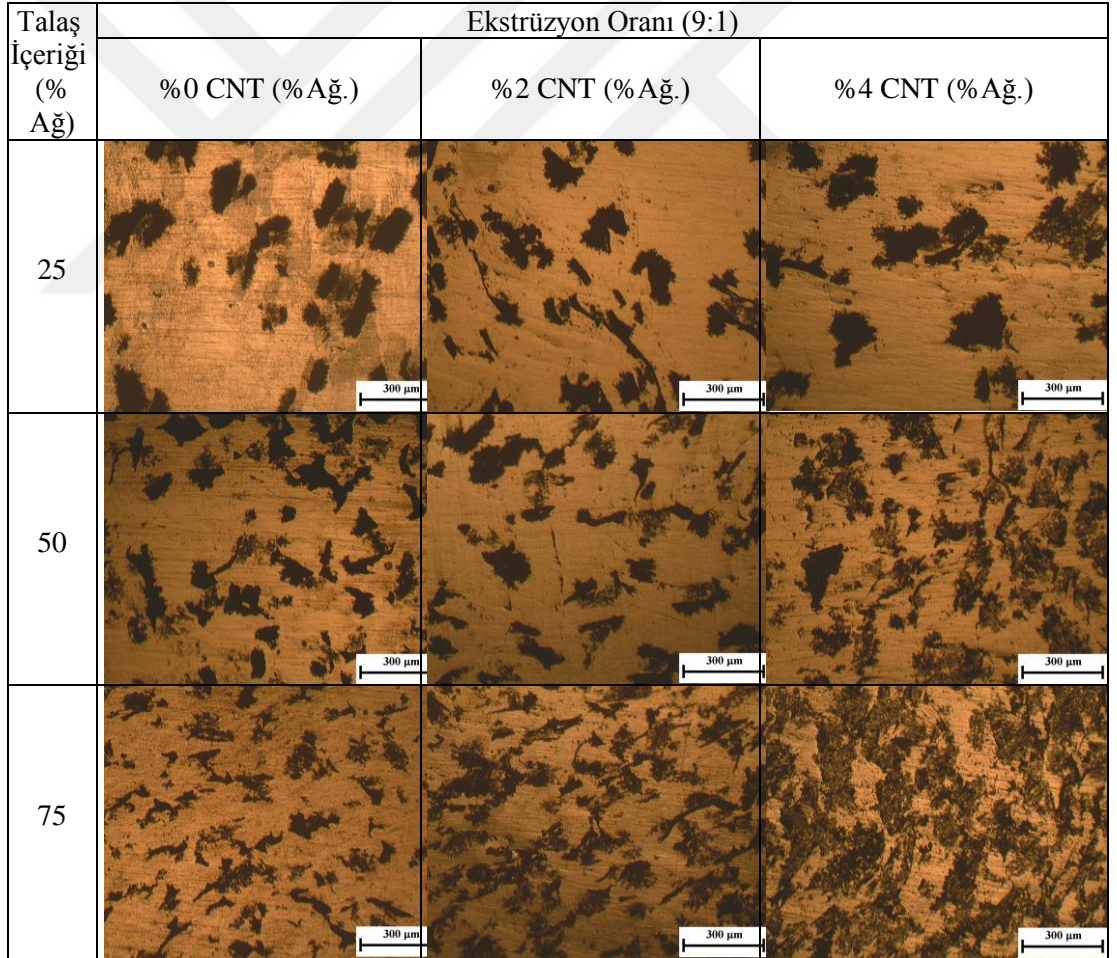
(b)



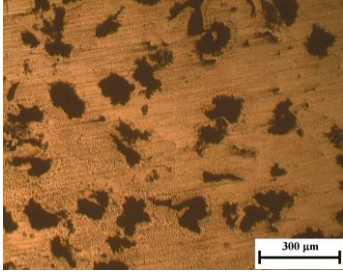
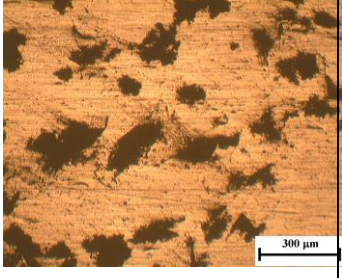
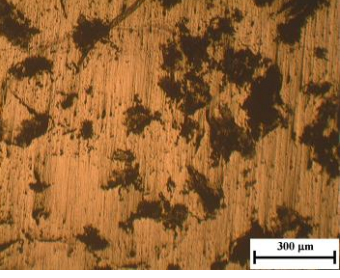
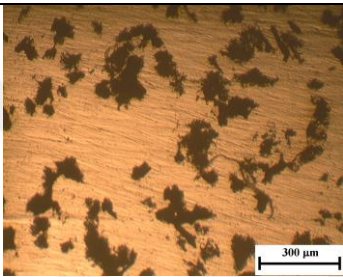
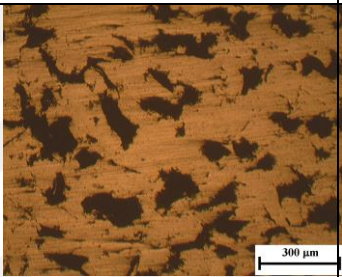
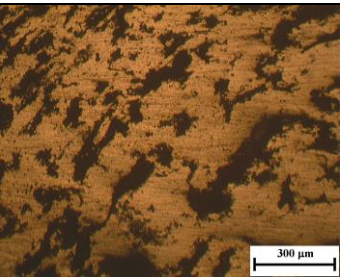
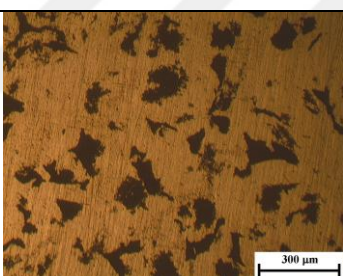
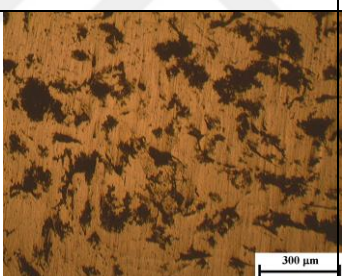
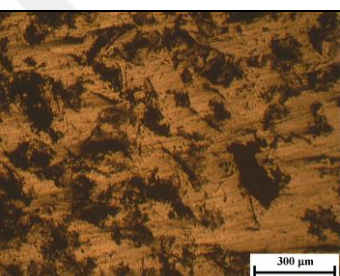
(c)

Şekil 4.31. 16:1 ekstrüzyon oranında ağırlıkça (a) %25, (b) %50 ve (c) %75 talas içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile kompozitlerin polarizasyon eğrileri

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrası numunelerin OM korozyon yüzeyleri verilmektedir. Mikroskobik incelemeler, artan talaş ve CNT içeriği ile yüzeylerde pit miktarının arttığını açığa çıkarmıştır. Katot/anot alan oranlarının korozyonun gelişimini belirleyen önemli bir parametre olduğu bilinmektedir (Jia *et al.* 2009; Mindivan *et al.* 2014). Bu çalışmada ise talaş ve tozun anot olarak davrandığı ve talaş yüzeylerinde biriken CNT’ün katot olduğu düşünülmektedir. Talaş içeriği arttıkça talaş yüzeyinde biriken CNT içeriği daha yüksek olup katot alanındaki artış aynı zamanda anot görevi gören talaş/toz temas bölgelerinin daha fazla çözülmesi ile korozyonun geliştiği önerilmektedir.



Şekil 4.32. 9:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrası korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri

Talaş İçeriği (% Ağ)	Ekstrüzyon Oranı (16:1)		
	%0 CNT (% Ağ.)	%2 CNT (% Ağ.)	%4 CNT (% Ağ.)
25			
50			
75			

Şekil 4.33. 16:1 ekstrüzyon oranında farklı talaş içeriğinde üretilen takviyesiz Al alaşım ile ağırlıkça %2 ve %4 CNT içeren kompozitlerin potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonrası korozyon yüzeylerine ait OM görüntüleri

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, geleneksel geri kazanım yöntemine alternatif olarak düşük maliyetle ve ergitme olmaksızın alüminyum talaşlarının kırılarak koruyucu atmosferde mekanik öğütme ve ardından sıcak ekstrüzyon işlemi ile alüminyum talaşının geri kazanımı ve CNT takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretimi ve değişen mekanik, korozyon özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, ticari kalitede 6061 alüminyum talaşı, saf alüminyum tozu ve CNT, alüminyum talaşının geri kazanımı ve alüminyum matrisli kompozit üretimi için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar ve değerlendirmeler ışığında aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Mikroyapı incelemesi sonucunda, talaşların ekstrüzyon yönünde uzadığını ve talaşların etrafını CNT ile çevrelendiği, tüm talaş içeriklerinde aynı oranda CNT içeriği kullanılmasına rağmen talaş içeriği arttıkça ekstrüzyon yönünde uzayan talaşların etrafında daha yoğun CNT gözlenmiştir. Düşük talaş içeriğinde artan CNT içeriği ile yoğunluk ve elektrik iletkenliğin pek fazla değişmediği ancak talaş içeriği ağırlıkça %50 ve %75 olan kompozitlerde ise artan CNT içeriği ile yoğunluk ve elektrik iletkenliğinde azalma eğilimi elde edilmiştir. Ekstrüzyon oranı yüksek olan tüm talaş içeriklerinde kompozitlerin yoğunluk değerleri az miktarda düşük iken elektrik iletkenliği ise hemen hemen aynı kalmaktadır. Elde edilen kompozitlerde ekstrüzyon oranı, talaş ve CNT içeriği arttıkça porozite oranı sürekli olarak artmaktadır.
2. Ağırlıkça %25 talaş içeren kompozitlerde genel eğilim olarak artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı 686°C'den 678°C'ye azalmaktadır. Ağırlıkça %2 CNT içeriğine kadar entalpi 102,4 J/mg'den 202,5 J/mg'ye artarak termal kararlılık artma eğilimi göstermektedir. Ancak CNT içeriği ağırlıkça %2'in üzerinde olduğu zaman entalpi değeri 122,9 J/mg'ye azalarak termal kararlılık azalmaktadır. Ağırlıkça %50 talaş içeren kompozitlerde artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı yaklaşık 680,4°C'den 686°C'ye artarken, entalpi değeri ise 261,8 J/mg'den 172,6 J/mg'ye azalmasıyla termal kararlılığın azaldığı görülmüştür. Ağırlıkça %75 talaş içeren

kompozitlerde ise artan CNT içeriğine bağlı olarak ergime sıcaklığı 658,3°C'den 680,6°C'ye artarken termal kararlılık ise hemen hemen aynı kalmıştır.

3. Argon gazı atmosferinde öğütme ve ardından iki farklı ekstrüzyon oranında (9:1 ve 16:1) 350°C'de ekstrüde edilerek üretilen alüminyum alaşımları ve CNT takviyeli kompozitler üzerinde yapılan XRD ve DSC analizlerinde ara yüzey reaksiyon oluşumuna rastlanmamıştır.

4. Talaş ve CNT içeriğine bağlı olarak kompozitlerin sertlikleri hemen hemen aynı olup, basma mukavemeti ise azalma eğilimi göstermektedir. Ekstrüzyon oranı yüksek olan tüm talaş içeriklerinde kompozitlerin mikrosertliği yüksek iken basma mukavemeti ise nispeten düşüktür. Tüm talaş içeriklerinde genel eğilim olarak CNT içeriğindeki artış ile aşınma direnci artmıştır.

5. Alüminyum alaşımları ve kompozitlerin birim alan başına ağırlık kaybı değerlerinin süreye göre değişiminden elde edilen korozyon hızının artması ile yüzeydeki pit konsantrasyonu artmaktadır. Genel eğilim olarak ekstrüzyon oranı, talaş ve CNT içeriği arttıkça korozyon hızı artmaktadır. Talaş içeriği yüksek olan kompozitlerde artan porozite içeriği ile korozyon hızı şiddetli olarak artmaktadır.

6. Korozyon potansiyeli ve akım yoğunluğu ölçülerek yapılan korozyon deney sonuçları neticesinde, hem düşük hem de yüksek ekstrüzyon oranında tüm talaş içeriklerinde CNT içeren kompozitlerin takviyesiz Al alaşımına göre daha kolay bir şekilde korozyona uğradığı ancak korozyonun ilerleme hızının bazı kompozitlerde daha düşük seviyelerde olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ab Rahim, S. N., Lajis, M.A., Ariffin, S., 2015. A Review on Recycling Aluminum Chips by Hot Extrusion Process. *Procedia CIRP* 26, 761 – 766
- Abdizadeh, H., Ashuri, M., Moghadam, P.T., Nouribahadory, A., Baharvandi, H.R., 2011. Improvement in physical and mechanical properties of aluminum/zircon composites fabricated by powder metallurgy method. *Materials and Desing*, 32, 4417-4423.
- Akdoğan, E. A., 2009. Demirdışı metal ve alaşımlarının korozyonu ders notları. Yıldız Teknik Üniversitesi
- Akyıl, C., 2010. İkiz merdane ve direk soğutma döküm yöntemleri ile üretilmiş AA 5754 alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Antolak-Dudka, A., Krasnowski, M., Gierlotka, S., Kulik, T., 2016. Nanocrystalline Ni₃Al-based alloys obtained by recycling of aluminium scraps via mechanical alloying and consolidation. *Advanced Powder Technology*, Baskıda.
- Askeland, R.D., 1990. *The Science and Engineering of Materials*, Chapman and Hall Publishing Company, UK
- ASM Handbook., 1990. *Corrosion/ASM Engineered Materials Reference Book*, 13: 584-609
- Bakkar, A., Neubert, V., 2007. Corrosion characterisation of alumina–magnesium metal matrix composites. *Corrosion Science*, 49, 1110–1130. P. Bala Srinivasan, C. Blawert, W. Dietzel.
- Bakshi, S.R., D. Lahiri and A. Agarwal. 2010. Carbon nanotube reinforced metal matrix composites – a review. *International Materials Reviews* ,55, (1), 41-64.
- Başer, T. A., 2012. Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı, *Mühendis ve Makina*, 53 (635), 51-58.
- Bostan, B., 2007. Mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al₄C₃ oluşumunun incelenmesi. Metal Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Teknikokullar, Ankara
- Buytoz, S., Eren, H., 2007. Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elamanlarının Etkisi. *Science and Eng. J of Fırat Univ*, 19(2), 209-216
- Chawla, N., Deng X Schnell D.R.M., 2006. Thermal Expansion Anisotropy in Extruded SiC Particle Reinforced 2080 Aluminum Alloy Matrix Composites. *Materials Science and Engineering A*, 426, 314-322.
- Chawla, N., Hubel U., Shen Y.L., Andres C., Jones J.W., Allison J.E., 2000. The Effect of Matrix Microstructure on the Tensile and Fatigue Behavior of SiC Reinforced 2080 Al Matrix Composites. *Metallurgical Transactions A*, 31A, 531-539.
- Chino, Y., Mabuchi, M., Iwasaki, H., Yamamoto, A., Tsubakino, H., 2004. Tensile Properties and Blow Forming of 5083 Aluminum Alloy Recycled by Solid-State Recycling. *Materials Transactions*, 45, 2509-2515.
- Chino, Y., Mabuchi, M., Otsuka, S., Shimojima, K., Hosokawa, H., Yamada, Y., Wen, C., Iwasaki, H., 2003. Corrosion and Mechanical Properties of Recycled 5083

- Aluminum Alloy by Solid State Recycling. *Materials Transactions*, 44, 1284-1289.
- Cui, J., Roven, H.J., 2010. Recycling of automotive aluminum, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 2057–2063.
- Çavuşoğlu, Ü., 2013. Magnezyum matrisli B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çubukçu, M., Anık, Ü., 2010. Karbon Nanotüp ve Altın Nanopartikül Modifiye Ksantin Biyosensörü. 24. Ulusal Kimya kongresi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Zonguldak.
- Dhanasekar B., Ramamoorthy B., 2010. Restoration of blurred images for surface roughness evaluation using machine vision. *Tribology International*, 43, 268-276
- Ekinci V.Ş., 2007. Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Ellis, M.B.D., 1996. Joining of Alüminyum Based Metal Matrix Composites, *International Materials Reviews*, 41, 42-57
- Endo M., Hayashi, T., Itoh, I., Kim, Y. A., Shimamoto, D., Muramatsu, H., Shimizu, Y., Morimoto, S., Terrones, M., Iino, S., Koide, S., 2008. An anticorrosive magnesium/carbon nanotube composite. *Applied Physics Letters*, 92, 063105.
- Evlen, H., Demirci H. İ., 2009. Ekstrüzyon Oranının Al-Mg Alasımının Asınma Davranışı Üzerine Etkisi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Karabük, Türkiye
- Fogagnolo, J. B., Ruiz-Navas, E.M., Simón, M.A., Martinez M.A., 2003. Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion, *Journal of Materials Processing Technology*, 143–144, 792-795.
- Goh C.S., Wei J., Lee L.C., Gupta, M., 2006. Simultaneous enhancement in strength and ductility by reinforcing magnesium with carbon nanotubes. *Materials Science and Engineering A*, 423, 153-156.
- Gronostajski, J., Marciniak, H., Matuszak, A., 2000. New methods of aluminium and aluminium-alloy chips recycling, *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 34-39.
- Gronostajski, J., Matuszak, A., 1999. The recycling of metals by plastic deformation: an example of recycling of aluminium and its alloys chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 35-41.
- Guluzade, R., Avcı, A., Demirci, M.T., Erkendirici, O.F., 2013. Fracture toughness of recycled AISI 1040 steel chip reinforced AlMg1SiCu aluminum chip composites, *Materials and Design*, 52, 345–352.
- Güleryüz K., R. Kaçar., 2011. Deformasyon yaşlanmasının AA 7075 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ Türkiye.
- Güley, V., Güzel, A., Jäger, A., Ben Khalifa, N., Tekkaya, A.E., Misiolak W.Z., 2013. Effect of die design on the welding quality during solid state recycling of AA6060 chips by hot extrusion. *Materials Science & Engineering A*, 574, 163–175.
- Haase, M., Tekkaya, A.E., 2015. Cold extrusion of hot extruded aluminum chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 217, 356–367.

- Javadi A. H., Sh. Mirdamadi., M.A, Faghihisani., S. Shakhesi., R. Soltani., 2012. Fabrication of well-dispersed, multiwalled carbon nanotubes-reinforced aluminum matrix composites. *New Carbon Materials*, 27(3),161-165.
- Jia,R., Yan, C., Wang, F., 2009. Influence of Al content on the atmospheric corrosion behaviour of magnesium-aluminum alloys, *Journal of Materials Science and Technology*, 25 (2), 225-229.
- Joanna Lipecka., Mariusz Andrzejczuk., Małgorzata Lewandowska., Jolanta Janczak-Rusch., Krzysztof J. Kurzydłowski. 2011. Evaluation of thermal stability of ultrafine grained aluminium matrix composites reinforced with carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 71, 1881-1885
- Karabay S, Yılmaz M., Zeren M. 2005. Investigation of extrusion ratio effect on mechanical behaviour of extruded alloy AA-6101 from the billets homogenisedrapid quenched and as-cast conditions. *Journal of Materials Processing Technology* 160, 138–147.
- Karacif K. 2005. Alüminyumun polianilin iletken polimeri ile kaplanması, kaplamanın karakterizasyonu ve korozyon özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Khamis, S.S., Lajis, M.A., Albert, R.A.O., 2015. A sustainable direct recycling of aluminum chip (AA6061) in hot press forging employing response surface methodology, *Procedia CIRP* 26, 477 – 481.
- Küçükkara H., Acarer M., Ahlatcı H., Türen Y., 2009. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Al-SiC_p kompozitlerin difüzyon kaynak kabiliyetlerinin incelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük , Türkiye.
- Kwon, H and Leparoux, M., 2012. Hot extruded carbon nanotube reinforced aluminum matrix composite materials. *Nanotechnology*, 23, 1-10.
- Liao, J., Tan, M. J., 2011. Mixing of carbon nanotubes (CNTs) and aluminum powder for powder metallurgy use. *Powder Technology*, 208, 42–48.
- Liu, Z.Y., B.L. Xiao., W.G. Wang., Z.Y. Ma. 2012. Elevated temperature tensile properties and thermal expansion of CNT/2009Al composites. *Composites Science and Technology*, 72, 1826-1833.
- Liu, Z.Y., S. J. Xu., B. L. Xiao., P. Xue., W. G. Wang., Z. Y. Ma. 2012. Effect of ball-milling time on mechanical properties of carbon nanotubes reinforced aluminum matrix composites. *Composites: Part A*, 43, 2161–2168.
- Luo, A., A., Balogh, M., P., Powell, B., R., 2002. Creep and microstructure of magnesium-aluminum-calcium based alloy. *Metallurgical and Materials and Transactions A*, 33, 567
- Madhu Kumar YC., Shankar, U.,2012. Evaluation of Mechanical Properties of Aluminum Alloy 6061-Glass Particulates reinforced Metal Matrix Composites. *International Journal of Modern Engineering Research* ISSN: 2249-6645.
- Mahagundappa M. Benal, H. K. Shivanand., 2006. Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites. Sir M. Visvesvaraya Institute of Technology, Bangalore 562157.
- Meriç, C., Tokdemir, M. ve Köksal, N., 1999. Alüminyumun hurdanın geri kazanılması. Makine İmalat Teknolojileri Sempozyumu, Konya, 88-98.
- Mindivan, H., 2007. Silisyum karbür takviyeli alüminyum matris kompozitlerin tribolojik davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Mindivan, H., Efe, A., Kosatepe, H., Kayalı, E.S., 2014. "Fabrication and Characterization of Carbon Nanotube Reinforced Magnesium Matrix Composites", *Applied Surface Science*, 18, 234-243.
- Misiolek, W. Z., Haase, M., Khalifa, N.B., Tekkaya, A.E., Kleiner, M., 2012. High quality extrudates from aluminum chips by new billet compaction and deformation routes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 239–242.
- Mol J. M C, Van De Langkruis J, De Wit J H W and Van Der Zwaag S., 2005. An integrated study on the effect of pre- and post-extrusion heat treatments and surface treatment on the filiform corrosion properties of an aluminium extrusion alloy. *Corrosion Science*, 47, 2711-2730.
- Moon K. I., Lee K. S., 1999. A study of the microstructure of nanocrystalline Al-Ti alloys synthesized by ball milling in a hydrogen atmosphere and hot extrusion, *Journal of Alloys and Compounds*, 291, 312-321.
- Nagarajan D., Chakkingal U., Venugopal P., 2007. Influence of cold extrusion on the microstructure and mechanical properties of an aluminium alloy previously subjected to equal channel angular pressing. *Journal of Materials Processing Technology*, 182, 363–368.
- Nayan, N., Murty, S.V.S.N., Sharma, S.C., Kumar, K.S., Sinha P.P., 2011. Calorimetric study on mechanically milled aluminum and multiwall carbon nanotube composites. *Materials Characterization* 62, 1087-1093.
- Nie, X. and Matthews, A., 2000. Deposition of duplex Al₂O₃ DLC coatings on Al alloys for tribological applications using a combined micro arc oxidation, *Surface And Coatings Technology*, 121: 506-513
- Paramsothy, M., Tan, X.H., Chan, J., Kwok, R., Gupta, M., 2013. Carbon nanotube addition to concentrated magnesium alloy AZ81: Enhanced ductility with occasional significant increase in strength. *Materials and Design* 45, 15-23.
- Puchy, V., Hvizdos, P., Dusza, J., Kovac, F., Inam, F., Reece, M.J., 2013. Wear resistance of Al₂O₃-CNT ceramic nanocomposites at room and high temperatures. *Ceramics International*, 39, 5821–5826
- Sağlam, U., Baydoğan, M., Mindivan, H., Kayalı, E.S., Çimenoglu, H., 2004. Influence of Retrogression and Reageing on Mechanical and Corrosion Properties of 7039 Aluminium Alloy, *Zeitschrift für Metallkunde*, 95, 14-17.
- Samoshina, M., Aksenov, A., Kaevitser, E., 2008. Structure and properties of mechanically alloyed composite materials from hard-recycling scrap of Al alloys, *Reviews on Advanced Materials Science*, 18, 305-311.
- Saraloğlu, C., 2010. Nano partiküller ile kuvvetlendirilmiş alüminyum metal matris kompozitlerin korozyon özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü
- Senthil Saravanan, M.S., Kumaresh Babu, S.P., Sivaprasad. K., 2011. Mechanical Properties and Corrosion Behavior of Carbon Nanotubes Reinforced AA 4032 Nanocomposites. *Experimental Techniques*, 1-5.
- Shakesheff, A. J. ve Purdue, G., 1998. Designing Metal Matrix Composites to Meet Their Target: Particulate Reinforced Aluminium Alloys for Missile Applications *Materials Science and Technology*, 14(9–10):851–856.
- Shakesheff, A. J., 1998. DERA takes aim at MMC advances, *Metal Powder Report*, 53 (5), 28-30.

- Singla, M., Dwivedi, D. D., Singhi, L., Chawla, V., 2009. Development of aluminium based silicon carbide particulate metal matrix composite. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 8, 6, 455-467.
- Srivasta, A.K., Xu, C.L., Wei, B.Q., Kishore, R., Sood, K.N., 2008. Microstructure features and mechanical properties of carbon nanotubes reinforced aluminum-based metal matrix composites. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 15, 247-255.
- Stein, J., Lenczowski, B., Frety, N., Anglaret, E., 2012. Mechanical reinforcement of a high-performance aluminium alloy AA5083 with homogeneously dispersed multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*, 50, 2264–2272.
- Surappa, M.K., 2003. Aluminum Matrix Composites: Challenges and Opportunities. *Sadhana*, vol.28, Parts 1 & 2, pp.319-334.
- Suryanarayana, C., 2001. Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*, 46: 1-184.
- Tekkaya, A. E., Schikorra, M., Becker, D., Biermann, D., Hammer, N., Pantke, K., 2009. Hot profile extrusion of AA-6060 aluminum chips, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 3343-3350.
- Thakur, S. K., Kwee, G. T., Gupta, M., 2007. Development and characterization of magnesium composites containing nano-sized silicon carbide and carbon nanotubes as hybrid reinforcements. *Journal of Materials Science*, 42, 10040–10046.
- Toptan, F., Kilicarslan, A., I.Kerti., 2010. The effect of Ti addition on the properties of Al–B₄C interface: a microstructural study, *Materials Science Forum* 636–637, 192–197.
- Toptan, F., A.C.Alves., I.Kerti., E. Ariza., L. A.Rocha., 2013. Corrosion and tribocorrosion behaviour of Al–Si–Cu–Mg alloy and its composites reinforced with B₄C particles in 0.05M NaCl solution. *Wear*, 306, 27–35.
- Trzaskoma, P.P., 1990. Pit morphology of aluminum alloy and silicon carbide/aluminum alloy metal matrix composites. *Corrosion science*, 46(5): 402-409.
- Uygur, İ., Saruhan, H., 2004. Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 8.Cilt, 1.Sayı
- Üneri, S., 1988. *Elektrokimya* Cilt 1 No:138 Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.
- Vatansever, R., Mindivan, H., Kayalı, E.S., 2011. Uçucu kül takviyeli alüminyum matrisli kompozitin mekanik ve korozyon davranışı.1. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu.
- Yağcıgil, H., 1997. Alüminyum Mamulleri Sanayi Türkiye İş Bankası A.Ş Genel Müdürlük, İktisadi Araştırma ve Planlama Müdürlüğü.
- Yoo, S.J., Han, S.H., Kim, W.J., 2012. Magnesium matrix composites fabricated by using accumulative roll bonding of magnesium sheets coated with carbon-nanotube containing aluminum powders. *Scripta Materials*, 67, 129–132
- Yufeng Wu., Gap-Yong Kim, 2011. Carbon nanotube reinforced aluminum composite fabricated by semi-solid powder processing. *Journal of Materials Processing Technology* 211, 1341–1347
- Yurdakul, M., Özbay, O. ve Tansel, Y., 2002. İç havacılık alanında kullanılan alüminyum alaşımlarının seçimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 17, 1-23

Zhang, H., Ramesha, K.T., Chin, E.S.C., 2004. High strain rate response of aluminum 6092/B4C composites. *Materials Science and Engineering*, 384 26–34



ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzurum’da doğdu. Lise eğitimini Şükrüpaşa Lisesinde tamamladı. 2011 yılında Lisans eğitimini Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimine 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Nano Malzeme bölümünde başladı. 2012 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme lisans programına devam etti. 2015 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak mezun oldu.

