

**KARBON NANOTÜP (KNT) VE GRAFEN TAKVİYELİ BAKIR
MATRİSLİ NANOHİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARUN KATMER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
TEMMUZ- 2019**

**KARBON NANOTÜP (KNT) VE GRAFEN TAKVİYELİ BAKIR
MATRİSLİ NANOHİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARUN KATMER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

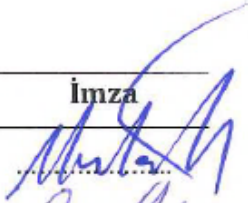

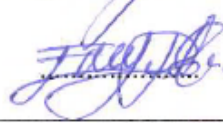
**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Doç. Dr. Ömer GÜLER**

**MERSİN
TEMMUZ - 2019**

ONAY

Harun Katmer tarafından Doç. Dr. Ömer GÜLER danışmanlığında hazırlanan "Karbon Nanotüp (KNT) Ve Grafen Takviyeli Bakır Matrisli Nanohibrit Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi Ve Karşılaştırılması" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 31/07/2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Mustafa TAŞKIN	
Üye	Doç. Dr. Ömer GÜLER	
Üye	Dr.Öğr. Üyesi Ercüment TÜRKOĞLU	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/08/2019 tarih ve 2019.32.125 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

15./08/ 2019

İmza / Signature

Harun KATMER

ÖZET

KARBON NANO TÜP VE GRAFEN TAKVİYELİ BAKIR MATRİSLİ NANO-HİBRİT KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kompozit malzemelerin endüstriyel ürünlerde kullanımının yaygınlaşmasıyla bağlantılı olarak nanokompozit kullanımı da artmıştır. Günümüzde artan sanayileşme ile birlikte elektrik uygulamalarında en uygun verim arayışı her zaman araştırma konusu olmuş ve bu bağlamda elektrik uygulamalarında da üstün elektriksel özellikler sergileyen kompozit malzemeler bilim insanlarının dikkati çekmiştir. Elektrik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kontaktörlerin uzun kullanım ömrüne sahip olması istenmektedir. 3000 A ve tipik olarak 380V şartlarında mekanik olarak 1 milyon kez açıp kapanan kontaktörlerin üstün elektrik ve mekanik özellikler göstermesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında nanokompozitler için en önemli takviye elemanları olarak kabul edilen, karbon nanotüp (KNT) ve grafen takviyeli malzemelerin üretimi ve özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, % 1, %2, %10 hacimsel oranlardaki karbon nanotüp ve grafen konsantrasyonlarına sahip bakır matrisli nanohibrit kompozitler toz metalürjisi metodu ile üretilmiştir. KNT ve grafen takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Karbon nanotüplerin elde edilebilmesi için kimyasal buhar çöktürme (CVD) yönteminden yararlanılmıştır. Grafenin üretimi için sıvı faz eksfolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için başlangıç malzemesi olarak hegzagonal grafit tercih edilmiştir. Hegzagonal grafit bir solvent içerisinde sonike edilmiştir. Sonikasyon işlemi sonunda üst üste istiflenmiş grafen tabakaları birbirlerinden ayrılması sağlanmıştır. Üretilen tozlar bakır tozları ile beraber yüksek enerjili değirmenle homojen olarak karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tozları daha sonra yüksek bir gerilme altında kompaktlanarak ve daha sonra ise 950 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta inert gaz atmosferinde sinterlenmiştir. Üretilen Nanohibrit kompozitlerin aşınma, sertlik, elektrik iletkenliği ve kontak davranışları incelenmiştir. Üretilen numunelerin içyapıları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bu analizlerinin sonucunda değişen karbon nanotüp ve grafen miktarına göre kompozit malzemedeki mekanik, elektriksel özelliklerin nasıl değiştiği ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karbon Nanotüp, Grafen, Bakır, Nanohibrit, Toz Metalürjisi.

Danışman: Doç. Dr. Ömer GÜLER, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION AND COMPARISON OF THE PROPERTIES OF CARBON NANO TUBE AND GRAFEN REINFORCED COPPER MATRIX NANO-HYBRID COMPOSITES

The use of nanocomposites has increased in associate with the widespread use of composite materials in industrial products. Nowadays, with the increasing industrialization, the search for the most appropriate efficiency in electrical applications has always been the research object. And in this context, composite materials exhibiting superior electrical properties in electrical applications have attracted the attention of scientists. It is desirable to have a long service life of contactors commonly used in electrical applications. Contactors that switch on/off 1 million times mechanically under 3000 A and typically 380V conditions must exhibit superior electrical and mechanical properties.

However, in this study, the production and properties of carbon nanotube and graphene reinforced materials, which are considered as the most important reinforcing elements for nanocomposites, are examined. In this connection copper matrix nanohybrid composites having % 1, %2, %10 volume fraction of nanotube and graphene concentrations were produced by using powder metallurgy method. KNT and Graphene were used as reinforcements materials. Carbon nanotubes were produced by Chemical Vapor Deposition, and Graphene was produced by Liquid Phase Exfoliation Process. Hexagonal graphite was preferred as the starting material for this purpose. Hexagonal graphite was sonicated in a solvent. At the end of sonication process, stacked graphene layers were separated from each other. The produced powders were grained homogeneously with copper powders with high energy milling. After that the powders were compacted under high pressure and sintered in an atmosphere of inert gas at a temperature of 950 ° C. Abrasion, hardness, electrical conductivity and contact behavior of the produced Nano Hybrid composites were investigated. Internal structures of the samples were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM). As a result of these analyzes, conclusions were made about how the amount of carbon nanotube and graphene change the mechanical and electrical properties of composite materials..

Keywords: Carbon Nanotube, Graphene, Copper, Nano Hybrid, Powder Metallurgy.

Advisor: Doç. Dr. Ömer GÜLER, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

İlk olarak Yüksek Lisans çalışmalarım boyunca akademik anlamda ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Sn. Doç. Dr. Ömer GÜLER hocama teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım boyunca her alanda bilgi ve deneyimleri ile bana sürekli destek olan Prof. Dr. Mustafa TAŞKIN hocama teşekkürü borç bilirim. Çalışmalarım sırasında her türlü fedakârlığı ve anlayışı gösteren sevgili eşim Nimet Katmer'e teşekkür ederim. Son olarak hayatımın her aşamasında yanımda olan ve bu günlere gelebilmem için maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, bu güne kadar elde ettiğim her başarının, yaşadığım her güzelliğin gizli mimarları olduklarını bildiğim sevgili ailem; babam Ali Naili Katmer'e, annem Nesrin Katmer'e, ayrıca emeği geçen ve bana inanan herkese sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Kompozit Malzemeler	3
2.1.1. Konvansiyonel Kompozitler	4
2.1.2. Nano Kompozitler	5
2.1.3. Matris ve Takviyeler	8
2.1.4. Nanopartikül Üretim Yöntemleri	9
2.2. Bakır ve Alaşımları	10
2.2.1. Bakır Elementinin Temel Özellikleri	10
2.2.2. Bakır Elementinin Kullanım Alanları	11
2.2.3. Nanoparçacıklı Bakır Kompozitlerle İlgili Yapılan Çalışmalar	12
2.2.3.1. Karbon Nanotüp (KNT) Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitler	12
2.2.3.2. Grafen (GPN) Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitler	16
2.3. Elektrik Kontak Malzemeleri	20
2.4. Mekanik Alaşımlama	21
2.4.1. Mekanik Alaşımlama İşleminin Mekanizması	22
2.4.2. Mekanik Alaşımlama İşleminin Parametreleri	24
2.4.3. Mekanik Alaşımlamanın Gelişim Süreci	25
2.4. Mekanik Alaşımlamanın Avantajları	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM	28
3.1. Giriş	28
3.2. Deney Malzemeleri ve Tozların Hazırlanışı	28
3.2.1. Karbon Nanotüp Üretimi	28
3.2.2. Grafen Üretimi	29
3.3. Nano-Hibrit Kompozit Numunelerin Hazırlanması	30
3.3.1. Mekanik Alaşımlama İşlemleri (MA/MÖ)	31
3.3.2. Soğuk Presleme	32
3.3.3. Sinterleme	32
3.4. Nano-Hibrit Kompozit Numunelerin Elektriksel İletkenlik Analizi	33
3.5. Numunelerin Kontak Testi	34
3.6. Mikro-sertlik Testi	35
3.7. Aşınma Testi	35
3.8. SEM Analizi	36
3.9. TEM Analizi	37
3.10. XRD Analizi	37
3.11. Optik Mikroskop İncelemeleri	37
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	38
4.1. Takviye Malzemesi Olarak Üretilen KNT Ve Grafen Nano Tabakaların Karakterizasyonu, Üretilen Kompozitlerin Mikro yapı Sonuçları	38
4.2. Termogravimetrik (TGA) Analiz	41
4.3. Elektriksel İletkenlik Özellikleri	46
4.4. Aşınma Özellikleri	47
4.5. Optik Mikroskop İncelemeleri	48

4.6.Kontak Özellikleri	50
4.7. Kontak Erozyon Yüzeylerinin İncelenmesi	51
4.8.Sertlik Davranışları	55
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	61



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1.Nano Partikül Büyüklüklerinin Özelliklere Etkisi	6
Tablo 2.2.Matris Malzemelerine Göre Kompozit Malzemeler	7
Tablo 2.3.Bakır Elementinin Temel Özellikleri	11
Tablo 2.4.Bakır Elementinin Fiziksel Özellikleri	11
Tablo 2.5. Grafenin Gelişim Süreci	18
Tablo 2.6. Mekanik Alaşımın Malzemeler Katkıları	22
Tablo 2.7.Mekanik Alaşımın Gelişim Süreci	26
Tablo 3.1. Deney Numune Çeşitleri	28
Tablo 3.2. Deneyde Kullanılacak Tozların Oranları	30



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Lignoselülozik Lifler	6
Şekil 2.2. Krizotil ve yanda lifleri	6
Şekil 2.3. Nonopartikül Üretim Yöntemleri	9
Şekil 2.4. Bottom Up ve Top Down Yaklaşımı	9
Şekil 2.5. Nanoyapılı Cu ve Cu-KNT kompozitin gerilme-gerinim eğrileri	13
Şekil 2.6. Yüksek Enerjili değirmenle Bakır Matris İçerisine Gömülü Olan TDKNT'lerin (c) TEM (a) ve SEM (b) görüntüleri	14
Şekil 2.7. (a) Saf Cu'nun aşınmış yüzeyinin SEM görüntüleri, (b) saf Cu'nun aşınmış yüzeyini gösteren şema, (c) KNT / Cu nanokompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin SEM görüntüleri ve (d) KNT'nin aşınmış yüzeyini gösteren şema / Cu nanokompozit	15
Şekil 2.8. (a) KNT / Cu nanokompozitlerin Vickers sertliğinin, karbon nanotüplerin hacimsel oranla değişimi ve (b) KNT / Cu nanokompozitlerin aşınma özelliklerinin, karbon nanotüplerin hacimsel oranla değişimi	15
Şekil 2.9. (a) Elmasın ve (b) grafitin kristal yapısının şematik gösterimi	16
Şekil 2.10. (a) Cu / GNP kompozitlerinin gerilme-gerinim eğrileri, (b) akma dayanımı ve kırılma uzaması grafikleri	19
Şekil 2.11. Saf bakırın ve Cu / GNP'lerin kompozitlerinin kırılma yüzeyi için SEM görüntüleri: (a) saf bakır, (b) Cu-%0,2 v_f GNP, (c) Cu-%0,8 v_f GNP d) Cu- %2 v_f GNP'ler ve (e)% 4.0 v_f GNP	20
Şekil 2.12. Kontakların Açma Kapama Esnasında Ark Oluşumu	21
Şekil 2.13. Mekanik Alaşımlama Yöntemi	22
Şekil 2.14. Mekanik alaşımlamada kullanılan elementel başlangıç tozlarının ve deformasyon evriminin artan süreyle değişimi	23
Şekil 2.15 Mekanik Alaşımlama Sırasında Bilye-Toz-Bilye Çarpışması	24
Şekil 3.1. Grafen Üretim Prosesleri	29
Şekil 3.2. Üretimde Kullanılan Santrifüj Cihazı ve Manyetik Karıştırıcı ve Ultrasonik Cihazı	30
Şekil 3.3. Üretimde Kullanılan Bakır Tozu, Yağlandırıcı ve Hassas Terazi	30
Şekil 3.4. Üretilen Grafen ve PVP'lı KNT	31
Şekil 3.5. Nano tozları Karıştırmak İçin Kullanılan Yüksek Enerjili Değirmen	31
Şekil 3.6. Presleme işlemi	32
Şekil 3.7. Pres ve Kalıplar	32
Şekil 3.8. Sinterleme Fırın	33
Şekil 3.9. Elektrik Şeması	34
Şekil 3.10. Kontak Testi Deney Düzeneği	34
Şekil 3.11. Kontaklar	35
Şekil 3.12. Aşınma Deney Düzeneği	36
Şekil 3.13. Tribolojik Sistemin Şeması	36
Şekil 3.14. TM ile Üretilen Saf Bakırın Tribolojik Olarak SEM Analizi	37
Şekil 3.15. Optik Mikroskop Cihazı	37
Şekil 4.1. CVD ile üretilen KNT'lerin a) SEM görüntüsü, b) TEM görüntüsü, c) XRD spektra analiz	38
Şekil 4.2. Sıvı faz eksfolasyon ile üretilen Grafen'lerin a) TEM görüntüsü, b) Raman spektra analizi	39
Şekil 4.3. a) H1, b) H2, c) H3, d) H4, e) H5, f) H6, g) H7, h) H8 numunelerine ait SEM görüntüleri	40
Şekil 4.4. H ₁ Oksitlenme Grafiği	42
Şekil 4.5. H ₂ Oksitlenme Grafiği	42
Şekil 4.6. H ₃ Oksitlenme Grafiği	43
Şekil 4.7. H ₄ Oksitlenme Grafiği	43
Şekil 4.8. H ₅ Oksitlenme Grafiği	44
Şekil 4.9. H ₆ Oksitlenme Grafiği	44

Şekil 4.10. H ₇ Oksitlenme Grafiği	45
Şekil 4.11. H ₈ Oksitlenme Grafiği	45
Şekil 4.12. Takviye oranı ve takviye türüne göre elektriksel iletkenlikteki değişimi	47
Şekil 4.13. Kompozitlerin farklı yükler ve farklı aşınma mesafeleri için spesifik aşınma oranları	48
Şekil 4.14. a) H ₂ , b) H ₃ , c) H ₄ , d) H ₅ , e) H ₆ , f) H ₇ , g) H ₈ Numunelerinin Aşınma Yüzeylerinin Optik Mikroskop Görüntüleri	49
Şekil 4.15. Kontak Sayısına Göre Kompozit Malzemede Oluşan Madde Kaybı	51
Şekil 4.16. a) H ₂ , b) H ₃ , c) H ₄ , d) H ₅ , e) H ₆ , f) H ₇ , g) H ₈ .	52
Şekil 4.17. Ergimiş Metal Partiküller.	53
Şekil 4.18. Matristen Kopan Partiküller.	54
Şekil 4.19. Numunelerin Mikro sertlik Grafiği	55
Şekil 4.20. KNT Değişiminin Sertliğe Etkisi	56



KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapour Deposition)
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
GPN	Grafen
IACS	International Annealed Copper Standart
KNT	Karbon Nanotüp
MA	Mekanik Alaşım
MÖ	Mekanik Öğütme
NMP	Metil Prolidon
MMNK	Metal Matrisli Nanokompozitler
PMNK	Polimer Matrisli Nanokompozitler
RPM	Devir/Dakika (Revolutions Per Minute)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SMNK	Seramik Matrisli Nanokompozitler
TEM	Geçirim Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscope)
TGA	Termogravimetri Analizi

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde geleneksel malzemeler kullanılarak araç ve gereçlerin tüm gereksinimlerini karşılamak oldukça zordur. Bilim insanları tarafından yapılan araştırmalar, malzemelerin performans ve özelliklerini geliştirmeye yönelik olarak sürekli devam etmektedir.

Bakır alaşımları, iletkenliğin önemli olduğu alanlarda, yüksek iletkenlik performansları nedeniyle tercih edilen önemli alaşımlardır. Otomotiv endüstrisinde kullanımının yanı sıra; akım geçiş hatlarında bağlantı elemanları olarak yüksek elektrik iletkenliklerinden dolayı metro ve raylı sistemlerde de tercih edilmektedir. Bu alaşımlarda en büyük dezavantaj mekanik özelliklerinin (özellikle aşınma dayanımının) düşük olmasıdır. Alaşımlama işlemlerinin yanında, uygulanan ısıl işlemlerle de bu özellikler iyileştirilebilmektedir. Bakır alaşımlarının mekanik ve elektrik iletkenliği özelliklerinin olumlu bir şekilde artmasına neden olan ve en çok kullanılan yöntemlerden birisi yaşlandırma ısıl işlemidir. Yapılan yaşlandırma ile alaşımların mukavemeti artırılarak aşınma dayanımları iyileştirilebilir. Ayrıca son yıllarda bu alaşıma ilave edilen çeşitli takviye elemanları ile Cu matrisli üretilen kompozitlerde yüksek dayanım elde edilmektedir. Özellikle nano parçacıklarla takviye edilen nano-hibrit kompozit malzemelerin mukavemeti, iletkenliği, gaz geçirgenliği, şeffaflık ve yanmazlık gibi özellikleri iyileştirilerek özellikle otomotiv, havacılık ve paketleme endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki önemli gelişmeler; geleneksel termal, mekanik ve termo-mekanik işlem metotları ve kimyasal modifikasyonlarla elde edilmektedir. Bununla beraber geleneksel metotlarla üretilen malzemelerden daha güçlü, daha tok ve daha hafif özelliklere sahip malzemelerin gereksinimi, ileri malzemelerin tasarımına ve geliştirilmesine yol açmıştır [2].

1960'lı yıllarda dikkatleri üzerine çeken nanoteknoloji, 1991 yılında Lijima tarafından keşfedilen karbon nanotüplerin (KNT) yapısı, grafen (GPN) düzlemi olarak bilinen örtülü kafes yapının silindirik bir şekilde sarılması ve uçlarının küresel bir kapak şeklinde kapatılması ile açıklanabilir [3]. KNT'lerin değişik elektronik aygıtlarda kullanılabilmesi, eksenleri boyunca çelikten kat kat dirençli olması, radyal yönde yüksek elastik özelliklere sahip olmaları bu malzemeyi birçok alanda kullanılabilir hale getirmiştir [4].

KNT'lerin çapları ve boylarından kaynaklanan, çok yüksek (yaklaşık 1 TPa) elastisite modülüne (Young Modülü) sahip olması çekme dayanımı değerlerinin yüksek olması mekanik özelliklerin yanı sıra 6000 W m⁻¹ K⁻¹ değerlerine ulaşan termal iletkenlik özellikleri gibi üstün özelliklerinden dolayı malzemelere ilave edilerek kompozitler üretilmeye başlanmıştır. KNT takviyeli kompozitlerin mekanik dayanımları kendi monolitik alaşımlarından daha yükseğe çıkabilmektedir. KNT takviye edilerek üretilen kompozitlerde karşılaşılan en büyük problem yüzey enerjisinin çok yüksek olması ve tane boyutunun çok küçük olmasından dolayı takviye fazının yapı

içerisinde homojen dağıtılamamasıdır. Bu yüzden geleneksel üretim metodu olan döküm yöntemi ile üretilmeleri çok zordur. Son yıllarda KNT takviyeli metal matrisli kompozitler hakkında yapılan çalışmalar incelendiğinde toz metalürjisi yöntemi olan mekanik öğütme yöntemi kullanılarak matris yapı içerisinde takviye fazının dağılımın sağlanabildiği, mekanik özelliklerinin arttırılabildiği başarılı çalışmalar bulunmaktadır [2]

Son yıllarda takviye elamanlarının kompozitler üzerine etkisinin incelenmesi konusunda yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Günümüzde dikkatleri üzerine çeken diğer bir nano malzeme ise grafendir. Grafenin bir atom kalınlığında ve düzlemsel bir yapıda bal peteği kristal kafes yapıda çok büyük spesifik yüzey alanına sahip olması malzemeye sıra dışı özellikler kazandırmaktadır.

Karbon atomunun allotroplarından biri olan grafendeki güçlü karbon bağları sayesinde içerisine takviye olarak eklenen kompozitlere mekanik, termal ve elektriksel özellikler olarak üstün özellikler eklemektedir.

Bu çalışmada bakır matrise mekanik alaşımlama yoluyla iki farklı türde nano parçacık takviyesi yapılarak bakırın mukavemeti arttırılmıştır. Farklı oranlarda takviye edilmiş ve iletkenlikle mukavemet arasındaki değişim incelenmiştir. İyi iletkenlik sonuçlarının elde edildiği numunelerin mekanik özellikleri literatürdeki diğer çalışmalar ile mukayeseli olarak değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit, mikroskobik ölçüde en az iki malzemenin üçüncü bir malzemeyi meydana getirmek için bir araya gelmelerini ifade eder. Çıplak gözle görülmesi, bileşenlerin mikroskobik incelemesi yapılan malzemenin dikkat edilmesi gereken en önemli noktadır. Yani incelendiğinde yapıyı oluşturan bileşenlerin içyapıları çıplak gözle ayırt edilebilmelidir. Elementlerden ve çeşitli parçalardan meydana gelen malzemeleri ifade eden kompozit birçok malzemeyi gurubu içerisine almaktadır. Bir malzemenin kompozit olarak değerlendirilmesi için belli başlı özelliklere sahip olması gerekir.

Bu özellikler :

- Bireyler tarafından üretilmeli,
- Bileşenleri ve kimyasal olarak birbirinden farklı en az iki bileşenin bir araya gelmesinden oluşmalıdır,
- Malzeme, kendisini oluşturan malzemelerle üç boyutlu olarak birleştirilmelidir,
- Malzeme, kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başına sahip olmayacakları özelliklere sahip olmalıdır.

Kompozit malzemeler düşük yoğunlukları, sıcaklık yetenekleri ve artan korozyon gibi özellikleriyle metaller gibi geleneksel malzemelere karşı birtakım avantajlar sunmaktadır. Kompozitler, özellikle spesifik modül (σ/E) yüksek spesifik mukavemet (σ/ρ), düşük yoğunluklarıyla ilgi çekici malzemelerdir. Artan korozyon sıcaklık yetenekleri ve geleneksel malzemelere karşı düşük yoğunlukları gibi özellikleriyle de ayrıca birtakım avantajlar sunmaktadır. Malzemelerin dayanımı, ses yalıtımı, korozyon direnci, sıcaklığa bağlı davranışı, aşınma direnci, ısı yalıtımı estetik özelliği, ısıl iletkenlik, ağırlığı ve yorulma ömrü kompozit malzeme üretimi ile geliştirilebilmektedir.

Aynı anda bu avantajların tamamını gerçekleştirmek imkânsızdır. Uygun matris /takviye elemanı seçiminin, sistemin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde yükün takviye elemanına matris tarafından aktarılmasında takviye elemanı ile matris arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir.

Üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimi de, takviye matris alışımı ve elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımı için önemlidir. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur, bunlar:

- Üretim güçlüğü,
- Üretim pahalı olması,
- Gerekli yüzey pürüzlülüğünün eldesinin güçlüğü ve işlenme problemi,

- Geri dönüşümün olmayışı,
- Kırılma uzayışının az oluşu.

2.1.1. Konvansiyonel Kompozitler

Kompozit malzemelerin yapıları ve özelliklerinin belirlenmesi ile bu malzemeler üzerinde işlerliğini koruyan sınıflandırmalar yapılmaktadır. Matris bileşenine uygun olarak başlıca kompozit çeşitleri

- Metal Matrisli Kompozitler (MMK)
- Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)
- Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilmek istenen yeni malzemelerdir. Bunlar genelde iki bileşenden meydana gelmektedirler. Bunlardan biri, takviye malzemesi iken, diğeri de metal matristir. MMK malzemelerin kullanımı son 30 yılda oldukça yaygınlaşmıştır. Endüstriyel ve mühendislik uygulamalarına önemli katkılar sağlamıştır. Yerlerine kullanıldıkları metal ve alaşımlarına göre MMK malzemelerin üstünlükleri mevcuttur. Metal matrisli kompozitlere takviye malzemesi olarak genellikle oksitler, karbür yada nitrürler, matris malzemesi olarak ise, genellikle, Al, Cu, Fe, Mg, Ti veya Pb gibi metaller kullanılır. Kullanılan takviye malzemeleri sürekli ve süreksiz fiber, partikül veya “whisker” şeklinde olabilir [5].

Metal matrisli kompozitler matris alaşımının metalik özellikleri (süneklik ve tokluk) ile takviye malzemesinin seramik özelliklerini (yüksek dayanım ve yüksek modül) birleştirir. Bu birleşim metal matrisli kompozitlerin bilimsel, teknolojik ve ticari olarak büyük bir öneme sahip olmasını sağlar [6].

Metal matrisli kompozitlerin monolitik malzemelere göre birçok önemli avantajı bulunmaktadır. Bu kompozitlerin yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek spesifik dayanım, yüksek spesifik modül, düşük termal genleşme katsayısı, ve daha iyi aşınma dayanımı göstermesi bu avantajlar içerisinde sayılabilir. Bu özellikleri sayesinde metal matrisli kompozitler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Uçak motorları ve otomobil endüstrisi metal matrisli kompozitlerin kullanıldığı önemli uygulama alanlarından [7].

Metal dışı mineral olarak çeşitli malzemelerin yüksek sıcaklıkta sinterlenmesiyle elde edilen ürünlerin geneline seramik denir. Seramik malzemelerin en önemli özellikleri ısıya karşı dayanıklı olmasıdır. Üstelik aşırı korozif ortamlar için de çok uygundur. Bu malzemelerin üretim sırasında oluşturdukları çatlak kusurları yük taşıma kapasitesini kritik bir biçimde azaltmaktadır [8].

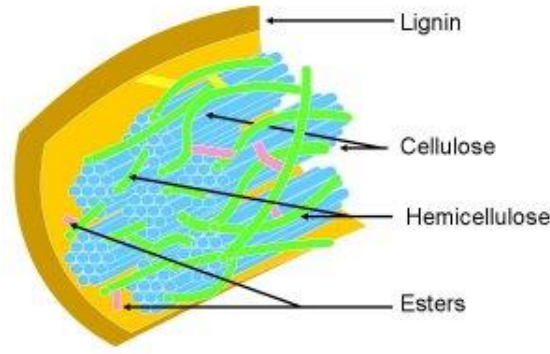
Polimer matrisler genellikle elyaf formundadır. Bu yapılar sert ve dayanımlı malzemelerle takviye edilerek kompozit yapı oluşturulur. İçerisinde bulunana elyaf miktarına, elyaf yönüne ve matrisle oluşturduğu ara yüzey bağına bağlı olarak mukavemeti değişir. Polimer matrisli kompozit malzemelerde kullanılan en önemli fiberler, cam fiber, karbon fiber ve kevlar fiberlerdir.

2.1.2. Nano Kompozitler

Cüce anlamındaki nano kelimesi milyarda bir boyutu ifade eder. Bu boyutun daha anlaşılabilir olması için saç telinin binde birlik oranını yani virüsleri örnek verebiliriz Gelişen teknoloji ile birlikte kompozit malzeme alanında yapılan çalışmalar hızla artmış ve kompozit malzemelere nano teknolojinin katkıları malzeme biliminde nano kompozitler olarak farklı bir sınıflandırma gurubu oluşturmuştur.

Nano-kompozitler, sıra dışı özellikleri ile teknolojiye benzersiz tasarım olanakları sunar. Mühendislikte kullanılan plastik ve elastomerlerde tahminen yıllık % 25 civarında bir büyüme ve talep karşısında ambalajlamadan biyomedikal uygulamalara kadar birçok alanda kullanılan nano-kompozitlere yönelim artmıştır. Özellikle kil bazlı mineraller, Şekil 2.1. ve Şekil 2.2. de gösterilen krizotil ve lignoselülozik lifler gibi doğal malzemelerin nano kompozit alanında olası kullanımları ve çalışmaları mevcuttur. Bu yönüyle çevre dostu olan nano-kompozit uygulamaları, havacılık, otomotiv, elektronik ve biyoteknoloji endüstrilerinin çeşitli sektörleri için yeni teknoloji ve iş olanakları sunmaktadır.

Nano parçacıklar, boyutlarına bağlı olarak, sahip oldukları özellikler bakımından farklılık göstermektedir. En önemli özelliklerinden biri olan hacimsel oranına bağlı olarak çok geniş bir yüzey alanına sahip olmasıdır. Mikro yapıda incelendiğinde atomların bir çoğu tane sınırlarında yer aldığından kristal yapılar daha yüksek dayanım, sertlik ve difüzyon hızı sergiler.



Şekil 2.1. Lignoselülozik Lifler [9].



Şekil 2.2. Krizotil ve lifleri [10].

Nano-kompozitler, malzemeyi oluşturan fazların en az birinin nanometre aralığında olduğunu gösterdiği kompozitlerdir ($1nm = 10^{-9}m$) [11].

Boyutlar nanometre seviyesine ulaştığında, ara yüzey fazında etkileşimler büyük ölçüde iyileşir ve bu, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir faktördür. Tablo 2.1.'de Partikül büyüklüğünün, "kritik büyüklük" olarak da adlandırılan belirli bir seviyeden küçük olduğunda, malzeme özelliklerinde değişikliklerin gözlenebileceği rapor edilmiştir [12].

Tablo 2.3. Nano Partikül Büyüklüklerinin Özelliklere Etkisi [13].

Özellikler	Değişiklik Beklenen
	Nano Ölçüler
Katalitik aktivite	<5
Sert manyetik malzemelerin yumuşak hale getirilmesi	<20
Kırılma indisinde değişiklik	<50
Süper para manyetizma ve diğerleri elektromanyetik olaylar	<100
Güçlendirme ve sertleştirme gerçekleşmesi	<100
Sertlik ve plastisite değerinde değişiklik	<100

Bu özelliklere bakılarak, nano-kompozitlerin hazırlanmasında kullanılan takviye malzemelerinin yüzey alanı / hacim oranı, yapı-özellik ilişkilerinin anlaşılması için çok önemlidir.

Ayrıca, 1991'da nanoteknolojinin en önemli katkı maddelerinden karbon nanotüplerin (KNT) keşfedilmesi [13] ve daha sonra KNT ile ilişkili mekanik, termal ve elektriksel özelliklerin bazılarını sergileyen kompozitlerin imal edilmesinde kullanılması bu alana yeni ve ilginç bir boyut kazandırdı [13-15]. KNT'lerin kompozit ürünlere ve tekstil ürünlerinde kullanılan iplere dönüştürülmesi düşüncesi, KNT içeren nano-malzemelerin işlenmesi ve uygulamaları için ileriye dönük adımların atılmasını da beraberinde getirdi [14]. Nano-kompozitler, çevre dostu olmasının yanı sıra, tüm sanayi sektörleri için yeni teknoloji ve iş olanakları sunmaktadır.

Genel anlamda konvansiyonel kompozitlerde olduğu gibi, nano-kompozit malzemeler de, matris malzemelerine göre Tablo 2.2.'de gösterildiği gibi üç farklı kategoride sınıflandırılabilir.

- Seramik Matris Nano-kompozitler (SMNK),
- Metal Matris Nano-kompozitler (MMNK) ve
- Polimer Matris Nano-kompozitler (PMNK).

Tablo 4.2. Matris Malzemelerine Göre Kompozit Malzemeler.

Sınıf	Örnekler
Metal	Fe-Cr/ Al_2O_3 , Ni/ Al_2O_3 , Co/Cr, Fe/MgO, Al/KNT, Mg/KNT
Seramik	Al_2O_3/SiO_2 , SiO_2/Ni , Al_2O_3/TiO_2 , Al_2O_3/SiC , Al_2O_3/KNT
Polimer	Termoplastik/termoset polimer/tabakalı silikatlar, polyester/ TiO_2 , polimer/KNT, polimer/çift tabakalı hidroksidler.

İletken polimer esaslı kompozitler, on yıldan daha az geçmişe sahip yeni malzemelerdir. Henüz ticari olarak herhangi bir getirisi olmayan iletken polimer esaslı nano-kompozit sistemlerinin tüm kontrolünün ve fiziksel özelliklerinin optimizasyonu ile bu malzemelerin uygun kullanımları sağlanması ve bu alanda ileri doğru atılımların gerçekleşeceği düşünülmektedir [15]. Üstelik biyobozunur polimer bazlı nano-kompozitlerle ilgili olarak, hem matrisin hem de katmanlı (montmorillonit) nano-kompozitlerin kristalleşme davranışı ve eriyik reolojisi de dahil olmak üzere hazırlama, karakterizasyon ve özellikleri de 21.yy. araştırma konusu olarak tartışılmıştır [18-19].

Metal Matris Nano-kompozitler (MMNK) içinde bir miktar nano yapıda takviye malzemesinin eklendiği, sünek bir metal veya alaşım matrisinden oluşan malzemeleri belirtir. Bu malzemeler metal ve seramik özelliklerini, başka bir deyişle süneklilik ve tokluk özelliklerini yüksek mukavemet ve modül ile birleştirir. Bu nedenle, metal matris nano-kompozitler, kesme / sıkıştırma işlemlerinde yüksek mukavemetli ve yüksek sıcaklık uygulamalarına elverişli

malzemelerin üretimi için uygundur. Havacılık ve otomotiv endüstrisi ve yapısal malzemelerin geliştirilmesi gibi birçok alanda uygulama için MMNK yapılar yüksek bir potansiyel göstermektedir [16].

2.1.3. Matris ve Takviyeler

Konvansiyonel kompozitlerde olduğu gibi, SMNK de matris malzemeleri olarak A_2O_3 , SiC , SiN , vb. maddeler içerir. MMNK' de kullanılan metal matrisleri esas olarak Al , Mg , Pb , Sn , W ve Fe ve bir dizi polimer içerir. PMNK 'de ise vinil polimerler, yoğunlaşma polimerleri, poliolefinler, özel polimerler (çeşitli biyolojik olarak parçalanabilen moleküller de dahil) kullanılmaktadır.

Genel olarak, bu malzemelerdeki takviye elemanları nano boyuttadır. Killer ve tabakalı silikatlar en yaygın olmasına rağmen, Fe ve diğer metal tozları, killer, silika, TiO_2 ve diğer metal oksitler gibi hem sentetik hem de doğal kristalli malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılmıştır.

Takviye elemanlarının kompozit malzemedeki temel fonksiyonları şunlardır;

- Yapısal kompozitlerde yükün %70- 90'ını fiberler taşır.
- Kompozit malzemeye mukavemet, tokluk, ısıl kararlılık ve diğer yapısal özellikleri kazandırmak.
- Takviye elemanının kullanım şekline göre yalıtım veya elektrik iletkenliği sağlamak.

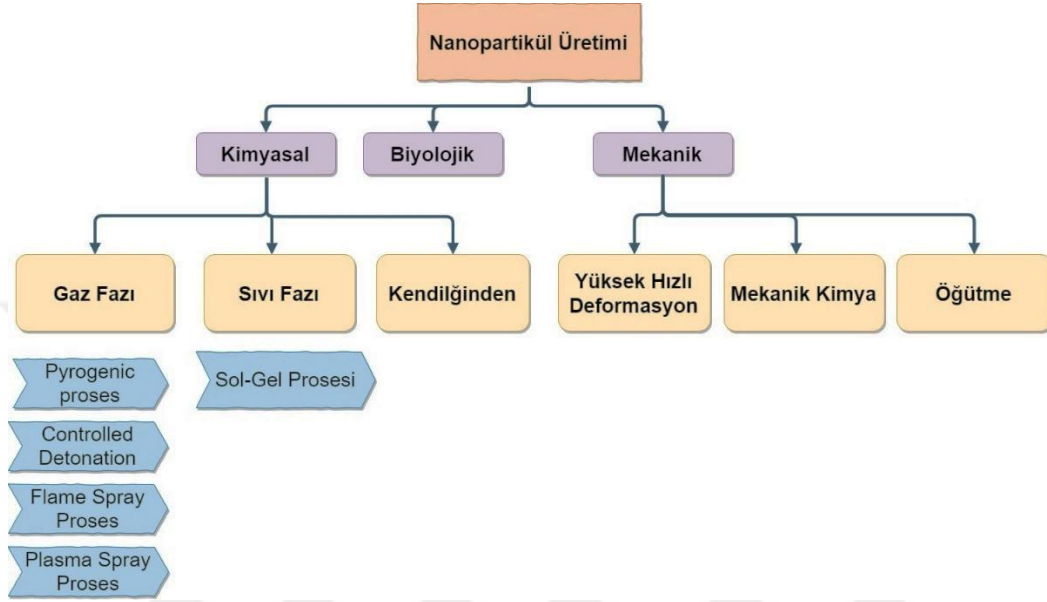
Kompozit malzemesinin yapısında bulunan matris malzemesinin de birçok görevi vardır. Matris malzemesinin bazı fonksiyonlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Takviye elemanlarını bir arada tutan matris malzemesi dışarıdan malzemeye uygulanan yükleri takviye elemanlarına transfer eder.
- Takviye elemanlarının birbirlerinden ayrı durmalarını sağlayan matris malzemedeki çatlak ilerlemesini yavaşlatmak veya durdurmak için takviye elemanlarının serbest olarak hareket edebilmeleri ile gerçekleştirmektedir.
- Matris, nihai ürüne yakın iyi bir yüzey kalitesi sağlayarak nihai parçaların üretimine katkıda bulunur.
- Matris, takviye elemanını mekanik hasarlara (aşınma) ve kimyasal etkilere karşı korur.
- Matris malzemesi oluşturdukları kompozitlerde darbe direnci, süneklilik, vb. alanda performans iyileştirmesi sağlar.

Sonuç olarak, takviye elemanları tek başına diğer malzeme bileşenlerinden daha üstün yapısal özellikler dengesine sahiptir. Kompozit malzeme içerisine homojen olarak dağılmış bulunan takviye elemanlarının çoğu, iyi ısıl ve elektriksel iletkenliğe, matristen daha düşük bir ısıl genleşme katsayısı ve/veya iyi aşınma direncine sahiptir.

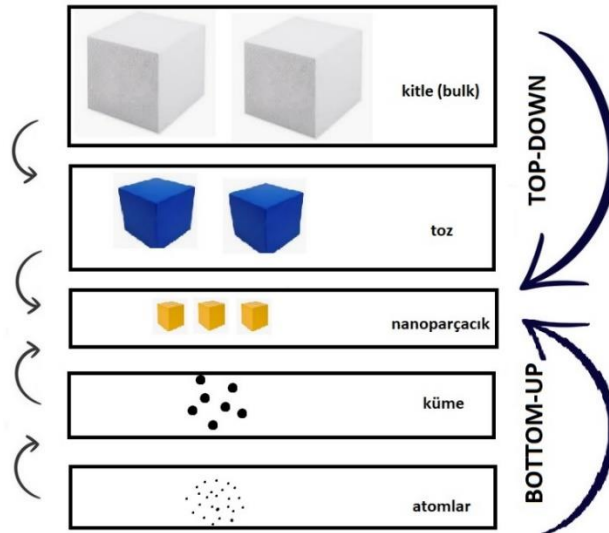
2.1.4. Nanopartikül Üretim Yöntemleri

Nanopartiküller birçok farklı yöntemle üretilmektedir (Şekil 2.3.). Bilimde ve endüstriyel alanda kullanımı mevcut olan bu yöntemler temel olarak iki yaklaşım altında toplanmaktadır.



Şekil 2.3. Nanopartikül Üretim Yöntemleri.

Nanopartikül üretiminde kullanılan yaklaşımlar Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi malzeme boyutundaki indirgenme ve yükseltgenme yaklaşımlarına dayanarak aşağıdan yukarıya "Bottom-Up" ve yukarıdan aşağıya "Top-Down" olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.4. Bottom-Up ve Top-Down Yaklaşımı

2.1.4.1. Yukarıdan Aşağıya (Top-Down) Yaklaşımı

Yukardan aşağıya yaklaşımı dışarıdan malzemeye mekanik veya kimyasal olarak enerji verilerek malzeme yapısının nano boyutlara düşürülmesi esasına dayanır. Bu yaklaşımda kullanılan mekanik yöntemler, nano-malzemeleri yığın (bulk) olarak üretmek için en ucuz yöntemlerdir. Mekanik yöntemler arasında içlerinde en kolay üretim yöntemi olan bilyalı öğütme tekniğidir. Bilyalı öğütme, bir öğütme ortamından bilyelerin sahip olduğu kinetik enerjinin indirgenerek öğütme haznesinde bulunan malzemeye aktarıldığı, mekanik deformasyon yoluyla nanomalzeme üretme tekniğidir. Nanomalzemeleri gelişmiş özelliklere ulaştırmak için sıkıştırma ve konsolidasyon işlemleriyle partiküllerin "bir araya getirildiği" endüstriyel ölçekli bir işlemdir. Bu işleme genel olarak mekanik alaşımlama da denilir. Bu yöntemlerin çoğu sanayi tarafından kullanılır. Bu yöntemlere ek olarak üretim sırasında termal metotlar da uygulayarak spesifik özelliklerde nanomalzemeler üretilebilir [17].

2.1.4.2. Aşağıdan yukarıya (Bottom-Up) yaklaşımı

Aşağıdan yukarı yaklaşımında ise atomik veya moleküler mertebedeki malzemelerin çeşitli kimyasal reaksiyonlar yardımı ile büyütülerek nano boyuta sahip partiküllerin üretimi esas alınmaktadır. Bu yöntemde bir atomun ya da molekülün çekirdeğinden başlayarak istenilen boyuta gelindiğinde işlemi sonlandırmak mümkündür. Bu yaklaşımı ilke edinen yöntemlerde en temel sorun ise partikül büyümesini kontrol etmek ve olası aglomerasyonları engellemektir. Aşağıdan yukarı yöntemi ile çalışan yöntemlere örnek olarak sol-jel, kimyasal buhar yoğunlaştırma, plazma sentezi, kimyasal buhar biriktirme ve sprey piroliz verilebilir [22-23].

2.2. Bakır ve Alaşımları

M.Ö. 5000 yıllarından başlayarak çeşitli amaçlarla kullanılan bakır, günümüzde de sanayinin temel girdileri arasında yer almaktadır [18]. Kırmızımtırak renkte, oda sıcaklığında dahi dövülüp biçim verilebilen önemli metallere biridir. Tabiatta saf olarak bulunabildiği gibi çoğunlukla bileşikleri halinde bulunabilmektedir. Eski çağlarda insanlar tabiatta saf olarak buldukları bakırı dövmek suretiyle sertleştirerek kaplar, ev aletleri, sivri uçlu silahlar yapmışlardır.

2.2.1. Bakır elementinin temel özellikleri

Bakır elementinin temel özellikleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Bakır Elementinin Temel Özellikleri [19].

Atom numarası	29
Element Serisi	Geçiş metalleri
Grup, periyot, blok	11, 4, d
Görünüş	Metalik Kahverengi
Atom ağırlığı	63,546 g/mol
Elektron dizilimi	Ar 3 $d^{10}4s^1$

Bakır elementinin fiziksel özellikleri Tablo 2.4.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Bakır Elementinin Fiziksel Özellikleri [19].

Maddenin Hali	Katı
Yoğunluk	8,96 g/cm ³
Sıvı Haldeki Yoğunluğu	8,02 g/cm ³
Ergime Noktası	1084,62 °C
Kaynama Noktası	2562 °C
Ergime Isısı	13,26 kJ/mol
Isıl Kapasitesi	24,440 J/(mol-K)

2.2.2. Bakır Elementinin Kullanım Alanları

Bakır, geçmişte olduğu gibi modern teknolojilerde de kullanılan en önemli metallere birisidir. Günümüzde altın ve gümüş en iyi elektriksel iletkenliğe sahip metaller olarak bilinmektedir. Fakat bakır, altın ve gümüşe göre daha düşük maliyetli iyi bir iletkenidir. Bu nedenle bakır, altın ve gümüşe iyi bir alternatif olarak kullanılmaktadır.

En çok kullanılan üçüncü metal olan bakırın tüketimi yılda 15 milyon tonun üzerindedir. Teknolojideki gelişmelere bağlı olarak, bakıra olan talep artmaktadır. Ülkedeki bakır kullanımı ülkenin gelişmişlik seviyesiyle doğrudan orantılıdır. Az gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen yıllık bakır kullanımı yaklaşık 1-2 kg iken, gelişmiş ülkelerde ise yaklaşık 10 kg'dır [20].

Yüksek elektrik iletkenliği sayesinde enerji ve telekomünikasyon kabloları, mıknatıslı teller gibi çok sayıda elektriksel uygulamalarda bakır tercih edilmektedir. Bakır 100°C civarında yeniden kristalleşmeden dolayı mukavemeti ve sertliğini kaybetmektedir. Daha yüksek sıcaklık uygulamaları için daha yüksek mekanik özelliklere sahip olmalı aynı zamanda yüksek işlem sıcaklıklarında elektriksel özellikleri ile birlikte mukavemetini de korumalıdır [21]. Bundan dolayı

bilim insanları bakıra farklı katkı maddeleri ekleyerek yüksek sıcaklık uygulamalarında elektriksel özelliklerini ve mukavemetini arttırmaya çalışmışlardır.

Saf bakırın başlıca kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

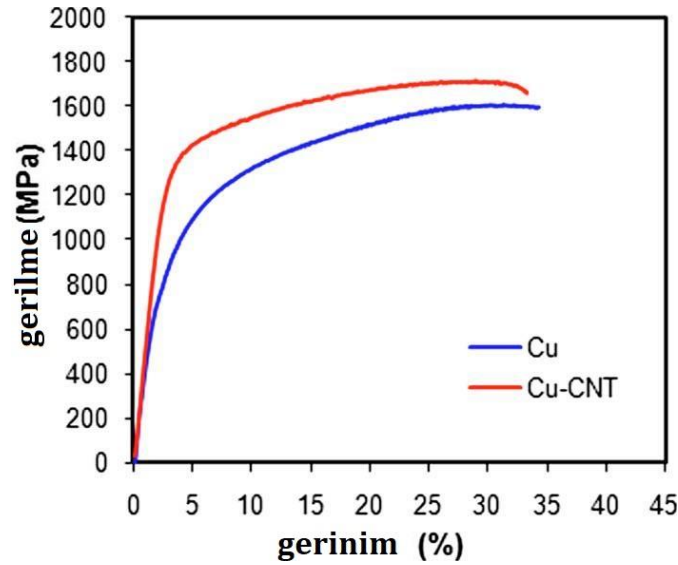
- Bakır tel,
- Motor bobini,
- Jeneratörler,
- Transformatörler,
- Elektrikli trenlerin havai hatları,
- Trolleybüs baraları ve
- Endüstrilere ve evlere elektrik enerjisi nakleden iletim hatlarında.

2.2.3. Nanoparçacıklı Bakır Matrisli Kompozitlerle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bilim dünyasında bakırın kullanım alanlarını genişletmek amacıyla yapılan çalışmalar 2.2.3.X başlıkları altında bahsedilmiştir.

2.2.3.1. Karbon Nanotüp Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitler

Bilim dünyasında yapılan çalışmaları incelediğimizde KNT'lerin benzersiz bir yapıya ve olağanüstü mekanik özelliklere sahip olduğunu görmekteyiz. Süper yüksek elastik modülü ve güce sahiptirler. Ayrıca hafif, yüksek en boy oranı ve mükemmel kimyasal düzenlilik gibi önemli özellikleri barındırırlar. Bu üstün özellikleri ile takviye elemanı olarak kullanılan KNT'ler fonksiyonelleştirildikten sonra içlerine eklendikleri matrisleri en iyi özelliklere ve üstün performansa çıkararak ideal bir nano kompozit oluşumu sağlar. Geçmişteki araştırma çalışmalarının çoğu polimer / seramik bazlı KNT takviyeli kompozitlerden oluşmaktadır. Metal-KNT takviyeli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bununla birlikte, yapısal uygulamalar ışığında, KNT metalik matris kompozitlerine yönelik araştırma ilgisi son beş yıldır hızla artmaktadır. Yüksek basınçla preslenmiş nanoyapılı Cu ve Cu-KNT takviyeli kompozitin gerilme-gerilim eğrileri Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Nanoyapılı Cu ve Cu-KNT kompozitin gerilme-gerinim eğrileri [22].

Firkowska ve ark. KNT yüzey modifikasyonunun bakır-KNT kompozitlerinin termal özelliklerine etkisini incelemiştir [22].

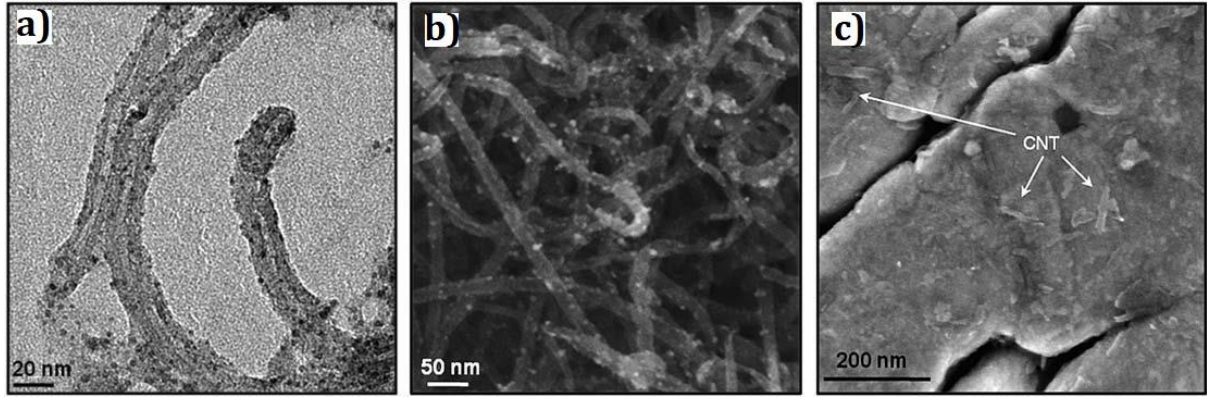
Takviye malzemesi olarak kullanılan KNT'ler, çeşitli karışımlar veya asitlere maruz bırakılır. Böylelikle KNT yan duvarlarına karboksil ve amin grupları oluşturarak matris ile reaksiyon verimini artırır.

Karbon nano-tüpler ve bakır matris arasında bulunan arayüzey, termal temas direnç ve elektriksel iletkenlik, hacimsel olarak çok düşük oranda eklenen KNT ile birlikte azalır. Termal iletkenlikte bir gelişme gözlenemese de, kovalent olarak işlevselleştirilmiş KNT'lerin tanecikler arası iletimi polimer olarak işlevselleştirilmiş KNT'lere göre daha iyidir. Nanotüplere kovalent olarak bağlanmış bakır nanopartiküller, nanotüp-matris arayüzü arasında güçlü bir bağlantı sağlar ve bu da tüpün iç iletkenliğinin bozulmasına rağmen arayüzey termal iletkenliğini geliştirir.

DeneySEL çalışmalar sonucunda bir kompozitin termal iletkenliği kritik bir şekilde bileşenler arasındaki takviye elemanlarına bağlı olduğunu ispatlar. Kompozit bir malzemedeki ısı aktarımı, bu nedenle ara yüzey ısıl direnci, kapasitansı Denklem (1)'e göre tanımlanır.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_x} \quad (1)$$

Burada Q-ısı akısı ΔT -arayüzey boyunca sıcaklık değişimini ifade etmektedir [23].



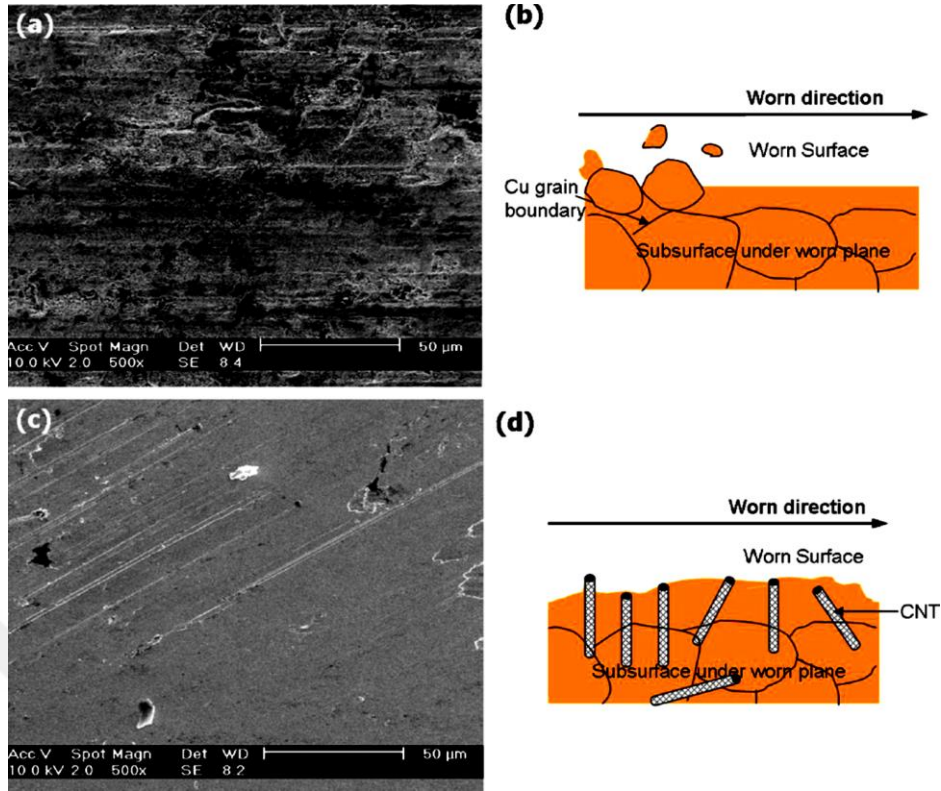
Şekil 2.6. Yüksek Enerjili değirmenle Bakır Matris İçerisine Gömülü Olan TDKNT'lerin (c) TEM (a) ve SEM (b) görüntüleri [22].

KNT-Cu'nun başarılı bir şekilde sentezlendiği Şekil 2.6.'de bulunan TEM ve SEM görüntülerinde görülmektedir. Hem polimer (Şekil 2.6.a) hem de asitle işlenmiş KNT'ler (Şekil 2.6.b) ortalama 5 µm çapa sahip küresel bakır nanoparçacıklar ile düzgün şekilde kaplamıştır [22].

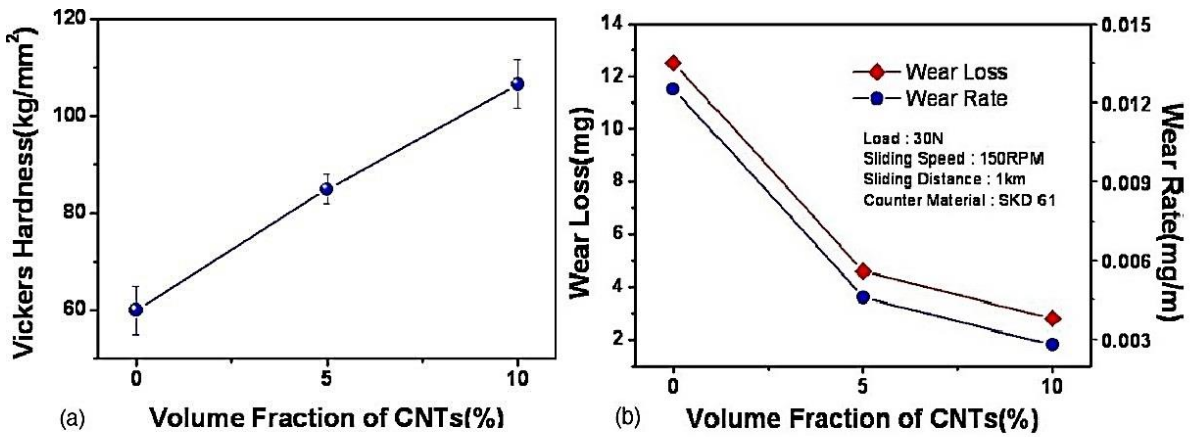
Kyung Tae Kim ve ark. [24] KNT takviyeli Cu matris nanokompozitlerin sertlik ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir.

Üretilen KNT / Cu nanokompozitin sertliği ve aşınmaya karşı direnci, KNT'lerin hacimsel oranının artırılmasıyla önemli ölçüde artmaktadır. Sertliğin önemli ölçüde artması, Cu matrisindeki homojen dağılmış KNT'lerden, KNT / Cu yüksek arayüzey kuvvetinden ve yüksek nispi yoğunluklu nano-kompozitlerden kaynaklanmaktadır. Arayüzey ve matris içerisinde homojen olarak dağılmış KNT'ler Şekil 2.7.'de SEM görüntülerinde daha iyi görülmektedir. Cu-matris nanokompozit içindeki dağınık olarak bulunan KNT'ler, kayma aşınması işlemi sırasında Cu tanelerinin soyulmasını geciktirir [24]. KNT / Cu nanokompozitlerin Vickers sertliğinin ve aşınma direncinin, KNT'lerin hacimsel oranla nasıl değiştiği Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.

Cu matris arayüzü ile KNT'lerin homojen dağılımının, KNT / Cu nanokompozitin mekanik davranışını ve aşınma direncini arttırmada önemli bir teknolojik konu olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.7. (a) Saf Cu'nun aşınmış yüzeyinin SEM görüntüleri, (b) saf Cu'nun aşınmış yüzeyini gösteren şema, (c) KNT / Cu nanokompozit malzemesinin aşınmış yüzeyinin SEM görüntüleri ve (d) KNT'nin aşınmış yüzeyini gösteren şema / Cu nanokompozit [24].



Şekil 2.8. (a) KNT / Cu nanokompozitlerin Vickers sertliğinin, KNT'lerin hacimsel oranla değişimi ve (b) KNT / Cu nanokompozitlerin aşınma özelliklerinin, KNT'lerin hacimsel oranla değişimi [24].

Özet olarak, 25°C sıcaklığında üretilen yaklaşık 22 µm'lik bir tane büyüklüğüne sahip nanoyapılı Cu-KNT kompozitler incelenmiştir. Mikro-yapı analizi, ağırlıkça % 1 oranında ÇDKNT eklenmesinin, tanecik inceltme ve daha dar tane büyüklüğü dağılımına neden olabileceğini

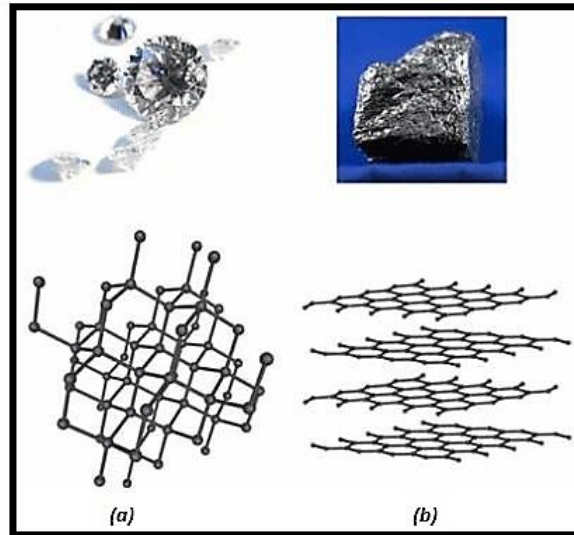
göstermektedir. Mekanik testlerin sonucuna bakılacak olursa, nanoyapılı Cu-KNT kompozitin yüksek mukavemet ve iyi süneklik sergilediği gözlemlenmektedir. Takviye edilen KNT'lerin miktarının artmasıyla süneklikte bir kayıp olmadan orantılı bir şekilde kuvvet, sertlik ve toklukta önemli bir artışa meydana gelmektedir [25].

2.2.3.2. Grafen(GPN) Takviyeli Bakır Matrisli Kompozitler

Karbon, bilinen sp , sp^2 ve sp^3 hibridizasyonları ile birlikte sigma ve pi bağları oluşturma kapasitesi nedeniyle birçok farklı allotropa sahip iyi bilinen bir elementtir. Bu karbon formlarından bazıları doğada mevcuttur ve elmas ile grafit gibi yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.9.'da da görüldüğü gibi elmas, 3 boyutta organize olmuş karbon atomlarından oluşurken, grafit, üst üste dizilmiş karbon atomları tabakalarından oluşur [26].

Grafitin X-ışını difraksiyonu (XRD) yöntemi kullanılarak incelenmesinin ardından milyonlarca karbon atomu katmanından oluştuğu görülür [27].

Yeni ortaya çıkan yapısı karbon malzeme olan grafen, üstün mekanik, termal ve elektriksel özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür [28]. KNT'lerle karşılaştırıldığında grafen, daha büyük yüzey alanına ve çok daha düşük üretim maliyetine sahip iki boyutlu bir atom kalınlığında bir yapıya sahiptir ve bu da kompozitler için iyi bir alternatif takviye malzemesidir.



Şekil 2.9. (a) Elmasın ve (b) grafitin kristal yapısının şematik gösterimi.

Bakır / GPN kompozit, grafen tarafından güçlendirilmiş metal matris kompozit alanında çalışma oldukça azdır. Grafenin bakır matrisine takviye olarak eklenmesi, mekanik, elektriksel ve

termal performansı daha da iyileştirmesi beklenmektedir. Ancak, Van der Waals bağ kuvvetlerinden dolayı grafen nano-plakalar imalat işlemi sırasında topaklanma meydana getirmektedir. Ek olarak grafenin bakırla zayıf ilişkisi nedeniyle etkili bir ara yüz bağı elde edilemez. Bu nedenle, yüksek performans elde edebilmek için bakır / grafen kompozitlerinin iki ana gereksinimi karşılaması gerekir. Bunlar:

- Grafenin matris içerisinde homojen dağılımı ve
- Bakır ve grafen arasında yeterli ara yüz dayanımıdır.

Topaklanma ve karbon dolgunun yapısal olarak yıkımı genellikle klasik toz metalurjisi yönteminin bilyalı öğütme işlemi sırasında meydana gelir [29]. Bunun önüne geçmek için son yıllarda farklı katkı maddeleri kullanarak yeni imalat yöntemleri geliştirilmiştir. Tablo 2.5.'de Grafenin tarihsel gelişimi gösterilmektedir.

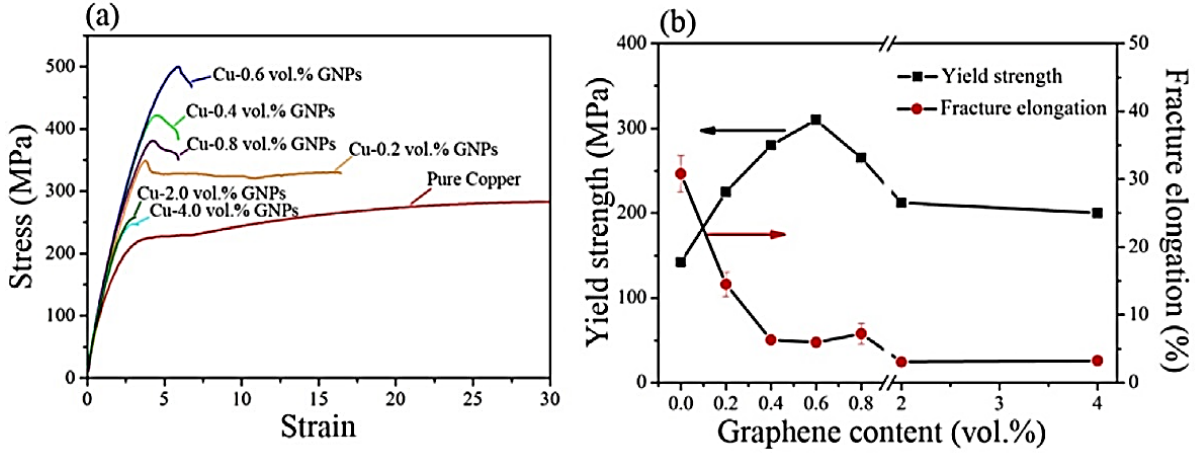
Tablo 2.5. Grafenin Gelişim Süreci.

Yıl	Gelişmeler
1859	<ul style="list-style-type: none"> Termal olarak indirgenmiş grafit oksidin yapraklı bir yapıya sahip olduğu gösterilmiştir [30].
1916	<ul style="list-style-type: none"> Grafit yapısının bir atom kalınlığındaki karbon atomlarının milyonlarca katmanından oluştuğu bulunmuştur [27].
1924	<ul style="list-style-type: none"> Katmanların dizilimi ortaya koyulmuştur [31].
1947	<ul style="list-style-type: none"> Grafitin elektronik özelliklerinin teorik olarak hesaplanması ve anlaşılması için temel teşkil etmiştir [32].
1948	<ul style="list-style-type: none"> Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ile ilk kez birkaç katlı grafit yığınları incelenmiştir.
1994	<ul style="list-style-type: none"> Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC), bir atom kalınlığında karbon tabakasına hitaben grafen teriminin kullanımını resmi olarak kabul etmiştir.
2004	<ul style="list-style-type: none"> Columbia Üniversitesi'nden Philip Kim'in grubu tarafından [33] yine pirolitik grafit yüzeyinden mikro manipülatör yöntemiyle grafit katmanlarını ayırmış ve elde edilen parçaların 10 katman ve üstünde olduğu görülmüştür. Manchester Üniversitesi'nden Konstantin Novoselov ve Andre Geim şaşırtıcı bir yaklaşımla pirolitik grafit yüzeyinden tek katmanlı yapıları soymayı ilk kez başarmıştır [34].

Grafenin gelişimi ile birlikte sahip olduğu üstün özellikleri günümüz bilim insanlarının da dikkatini çekmiştir. Toz metalürji yöntemi kullanılarak üretilen nano kompozit malzemelerin özellikleri merak konusu olmuştur.

Fanyan Chen ve ark. Grafen içeriğinin bakır matrisli kompozitlerin mikro-yapı ve özelliklerine etkisini incelemiştir. Cu / GPN kompozit tozları, moleküler seviyede homojen olarak karıştırılarak üretilir. Cu / GPN nano-kompozitlerinin mekanik, elektrik ve termal özellikleri grafenin belirlenen hacimsel oranlarında değişken etkiler oluşturduğu gözlenmiştir. Şekil 2.10.a'da Cu / GNP'ler için stress-strain gösterilmiştir. Karşılaştırma için, aynı işlemle hazırlanan "pure copper" stress-strain eğrisi de gösterilmiştir. Şekil 2.10.(b) 'de grafik incelendiğinde, grafen içeriğinin % 0,8'den az olan kompozitlerde saf bakıra benzer boyun verme davranışı sergilemiştir. Grafen içeriğinin % 2 ve daha fazla olan kompozit numunelerin boyun vermeye geçmeden direk

kırılgan davranış sergilediği görülmüştür. Saf bakır için ortalama akma dayanımı 142 MPa ve kırılma uzaması yaklaşık % 30'dur. Grafen içeriği eklenmesi ile akma dayanımı önce 310 MPa a kadar artar, %0,6 hacimsel orandan sonra 200MPa a düşer. Kırılma uzaması ise, sürekli olarak, % 30'dan % 3,5'a düşer.



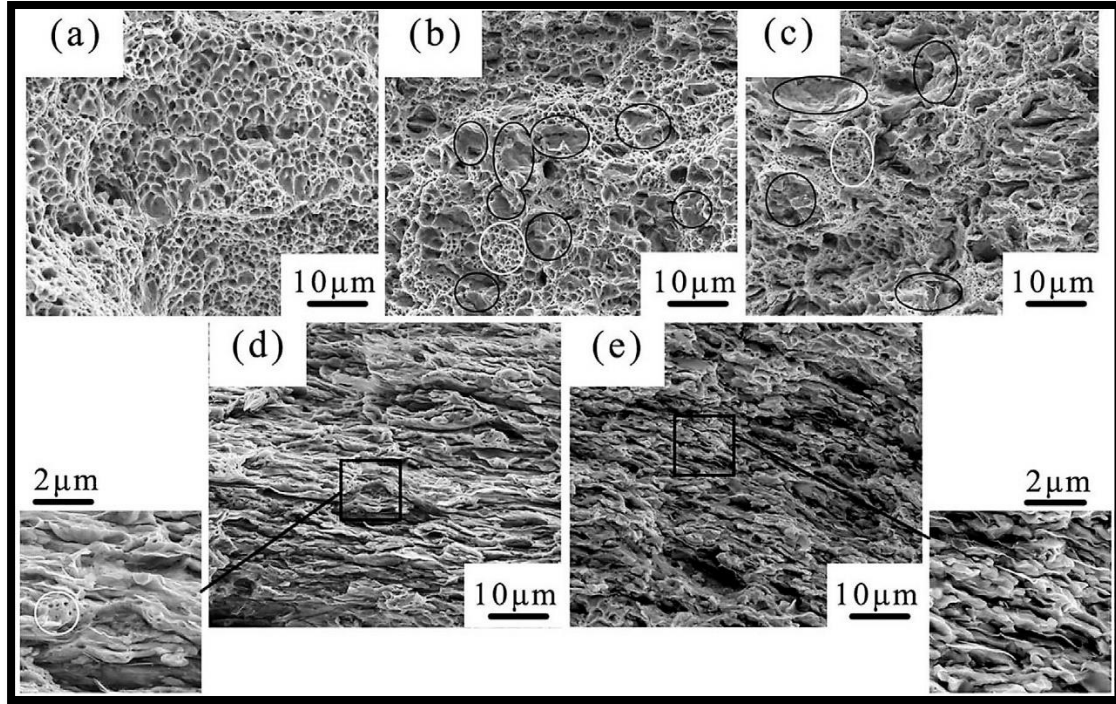
Şekil 2.10. (a) Cu / GNP kompozitlerinin gerilme-gerinim eğrileri, (b) akma dayanımı ve kırılma uzaması grafikleri [1].

Cu/GPN nano kompozitin mekanik gücünü hesaplamak için denklem (2) kullanılabilir.

$$\sigma_{MMC} = \left[\sigma_{mu} \cdot \frac{S}{4} + \Delta\sigma_{dis} + \frac{(S+4R^2)}{4} + \Delta\sigma_{SG} \right] \cdot V_f + \sigma_{mu} + \Delta\sigma_{SG} - \Delta\sigma_{int} \quad (2)$$

σ_{MMC} , σ_{mu} , $\Delta\sigma_{dis}$, $\Delta\sigma_{SG}$ ve $\Delta\sigma_{int}$ sırasıyla kompozitin gücünü, takviye edilmemiş matrisin gücünü, mukavemet değişimini, tanecik büyüklüğü inceltmesini ve iç gerilme nedeniyle güçlenme artışını ifade eder. S, R ve V_f sırasıyla en-boy oranı, plastik bölgenin boyutunun takviye malzemesine oranı ve takviye malzemesinin hacimsel oranıdır [35].

Şekil 2.11.'de "pure copper" ve Cu / GNP bileşiklerinin kırılma yüzeylerini göstermektedir. Şekil 2.11.(a)'da saf bakırın kırılma yüzeyi incelendiğinde çukur desen oluşumu görülür. Grafenin hacimsel oranı % 4.0'e ulaştığında, GPN nano parçacıkların bakır matris içinde homojen bir şekilde dağıldığı görülür. Grafen içeriği arttıkça, kompozitin tokluğunu olumsuz yöne etkileyen dislokasyonların (beyaz daire alanlarının) hem büyüklüğünü hem de derinliğini azaltır. GNP'nin homojen dağılması, grafen topaklanma oluşumunun Cu / GNP kompozitlerinin özellikleri üzerindeki olumsuz etkisini etkili bir şekilde önler.



Şekil 2.11. Saf bakırın ve Cu / GNP'lerin kompozitlerinin kırılma yüzeyi için SEM görüntüleri: (a) saf bakır, (b) Cu-%0,2 v_f GNP, (c) Cu-%0,8 v_f GNP d) Cu- %2 v_f GNP'ler ve (e)% 4.0' v_f GNP [1]

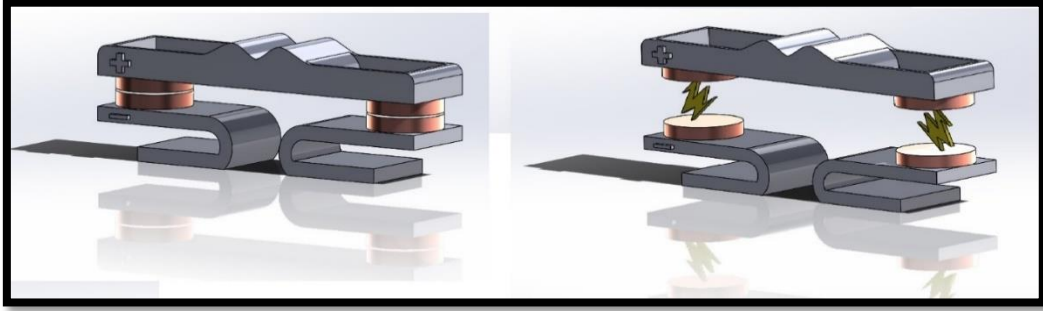
Özet olarak; grafen içeriğinin artmasıyla, güçlendirme etkisi önce iyileştirildi ve sonra bozuldu. Hem termal hem de elektrik iletkenliği, grafen içeriği arttığında hafifçe azaldı. Tribolojik performans için, grafen ilavesi aşınma direnci ve sürtünme azaltmada faydalı olmuştur [1].

2.3.Elektrik Kontak Malzemeleri

Elektrik kontak malzemeleri, elektrik devrelerini açıp kapatan ve taşıma görevini gerçekleştiren elektrik malzemesidir. Temaslar elementel metaller, kompozitler veya alaşımlar tarafından yapılabilir. İdeal metal veya metal kombinasyonu bulunmamakla beraber, elektriksel temas bölümlerinin çalışma sırasında durumlarının anlaşılması en uygun temas malzemelerinin seçilmesi için önemlidir [36].

Bakır veya gümüş esaslı kontaklara refrakter karakterli metaller infiltrasyon metodu ile ilave edilerek kompozit malzeme elde edilir. Böylece tek bir malzeme elektrik iletkenliği ile aşınmaya ve ark erozyonuna direnç birleştirilebilir. Kontakların açılıp kapanma işlemi sırasında (Şekil 2.12.) kaynak yapması ve akım geçişi esnasında yumuşama ve yapışma ile bir kontak diğerine malzeme taşınımıyla oluşan elektriksel aşınma (ark erozyonu) da kontakların kullanım ömrü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Leung ve arkadaşları toz boyutunun ark erozyonunda etkili olduğunu tespit etmişlerdir. İnce toz boyutları erozyon hızını azaltmaktadır. Ancak geleneksel toz metalürjisi işleminde, ince toz (<20 μm) boyutuna sahip tozlar yaygın olarak kullanılmaz. Çünkü

bu tozlardaki topaklaşma, karıştırma ve diğer işlemler esnasında dağıtılamadığından yüksek sinter yoğunluklarına ulaşmayı sınırlandırır [36].



Şekil 2.12. Kontakların Açma Kapama Esnasında Ark Oluşumu.

2.4. Mekanik Alaşımlama

Mekanik alaşımlama(MA), 1960'lı yılların ortalarında John Benjamin ve Paul D. Merica Uluslararası Nikel Şirketi (INCO) Araştırma Laboratuvarı'nda geliştirilen bir toz işleme tekniğidir. Benjamin ve ark. [37] gaz türbini uygulamaları için nikel bazlı oksit dağılımı ile güçlendirilmiş (OSD) süper alaşımları üretmek üzere bu teknik üzerinde çalışmıştır. Bu teknikle, özellikle oda sıcaklığında harmanlanmış element tozlarından başlayarak kararlı veya kararsız durumdaki malzeme çeşitliliğini sentezlemek için kullanmıştır.

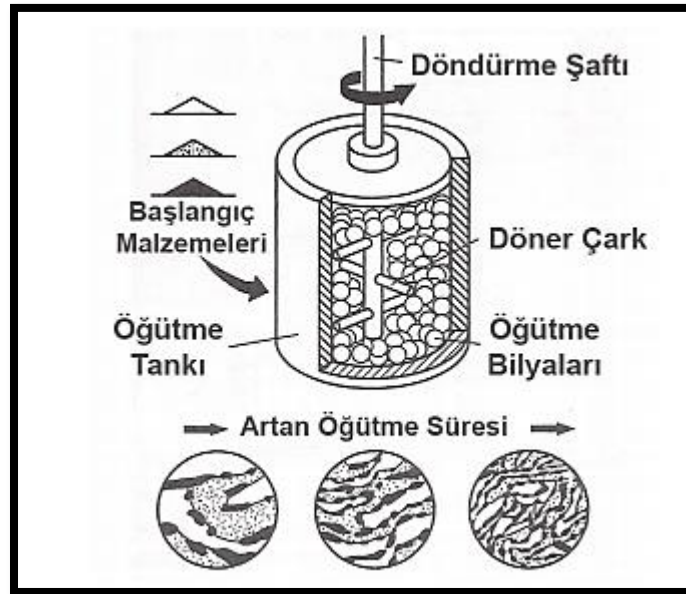
Bu teknik, yüksek enerjili bilyalı değirmende tekrar tekrar soğuk kaynak yapılması, malzemelerin kırılması ve toz parçacıklarının oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Ayrıca, önceden bilinen tozlardan başlayarak çeşitli kararlı veya kararsız alaşım fazlarını sentezleme yeteneğine de sahiptir. Bu özel niteliklerden dolayı bu basit fakat etkili işleme tekniği metallere, seramiklere, polimerlere ve kompozit malzemelere uygulanmıştır. Mekanik alaşımlamanın malzemelere katkıları Tablo 2.6.'de verilmiştir.

Tablo 2.6. Mekanik Alaşımlamanın Malzemeler Katkıları.

İkinci fazın ultra ince ayrımı (genellikle oksit) parçacıklar.
Katı çözünürlük sınırlarının genişletilmesi.
Tane büyüklüklerinin nanometre aralığına indirgenmesi.
Kristal ve yarı-kristal fazların sentezi.
Amorf (camsı) fazların gelişimi.
Sıralı iç metal bozukluğu.
Alaşımli elemanların zor alaşımlarını alaşımlama imkanı.
Düşük sıcaklıklarda kimyasal (yer değiştirme) reaksiyonlarının uyarılması.
Ölçeklenebilir işlem.

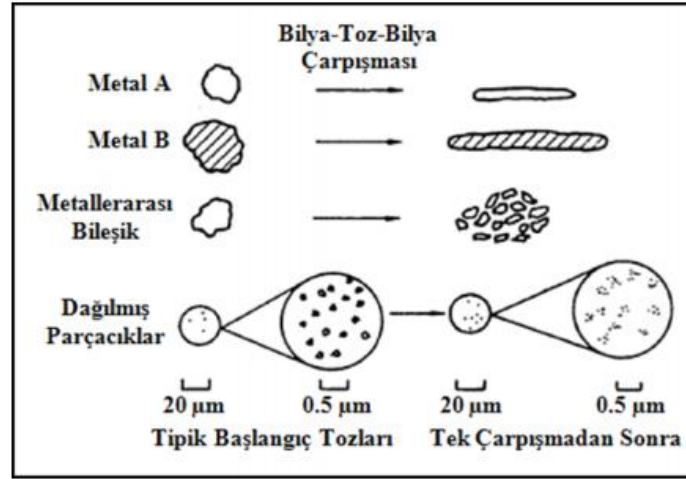
2.4.1. Mekanik Alaşımlama İşleminin Mekanizması

Şekil 2.13'te gösterildiği gibi tahrik mili aracılığı ile yüksek enerjili öğütme gerçekleşir. Bu işlem sırasında toz parçacıklarında sürekli olarak ezilme, soğuk kaynaklanma, deformasyon sertleşmesi, kırılma ve yeniden kaynaklanma meydana gelmektedir. Böylelikle daha ince ve homojen, mikro yapıya sahip yüksek dayanımlı kompozit malzemelerin üretilmesine olanak sağlar. Parçacık büyüklüğü kırılma sebebiyle düşer fakat parçacığın kimyasal yapısında bir değişiklik olmaz. Alaşımlamak istenilen toz birleşği hazırlanarak değişik büyüklüklerdeki bilyeler ile birlikte yüksek enerjili değirmene konulur ve belirlenen sürelerde alaşımlanır [38].



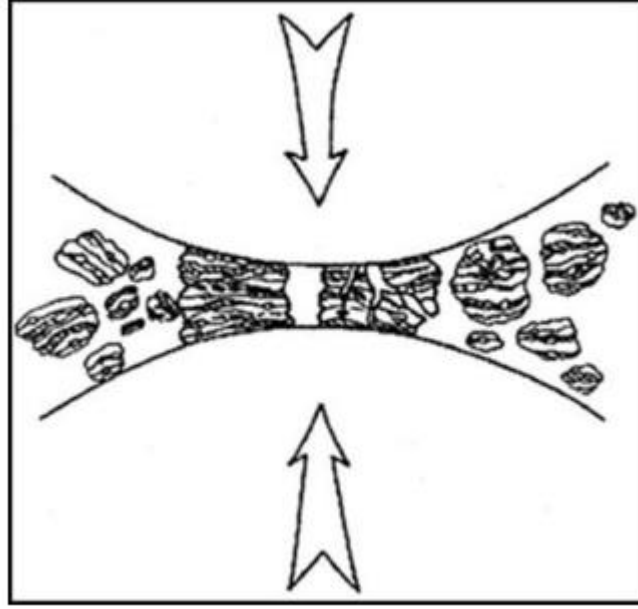
Şekil 2.13. Mekanik Alaşımlama Yöntemi [37].

Şekil 2.14.'de şematik olarak, mekanik olarak alaşımlanacak başlangıç tozları ve maruz kalınan çarpışma sonrası aldıkları form gösterilmektedir. Yüksek enerjili öğütme esnasında, toz parçacıklar hızlıca yassılaşıp, soğuk kaynaklanır, kırılır ve tekrardan kaynaklanır. İki adet yüksek enerjili çelik bilyenin teması esnasında aralarında bir miktar toz sıkışır.



Şekil 2.14. Mekanik alaşımlamada kullanılan elemental başlangıç tozlarının ve deformasyon evriminin artan süreyle değişimi [38].

Yüksek enerjili öğütme sırasında öğütme hücresi içerisindeki bilye-toz-bilye ve bilye-toz-kap duvarı arasında meydana gelen çarpışmaların etkisiyle, toz parçacıklarında plastik deformasyon (deformasyon sertleşmesi ve kırılma şeklinde) meydana gelmektedir (Şekil 2.15). Kararlı aşamaya gelinceye kadar mekanik alaşımlama sırasında toz parçacıkları ağır bir deformasyona maruz kalırlar. Toz parçacıklarındaki dislokasyonlar, boşluklar ve tane sınırlarındaki artma gibi pek çok kristal hatalarının varlığı bu durumu açıklamaktadır.



Şekil 2.15. Mekanik Alaşım Sırasında Bilye-Toz-Bilye Çarpışması [28].

Bu tip dislokasyonlar katı hal çözeltisini oluşturacak olan element veya elementlerin matris içerisindeki difüzyonunu artırır. Devam eden mekanik alışımlamayla birlikte, homojen ve incelen mikro yapı sebebiyle difüzyon mesafeleri azalır. Bununla beraber, öğütme sırasındaki çok az sıcaklık artışı difüzyona yardımcı olur ve sonuçta bileşenler arasında gerçek alaşımlama ortaya çıkar [36].

2.4.2. Mekanik Alaşımlama İşleminin Parametreleri

- Başlangıç toz boyutu,
- Bilye toz ağırlık oranı,
- Tozun kaptaki dağılımı,
- İşlem kontrol elemanları,
- Öğütme atmosferi,
- Öğütme sıcaklığı,
- Öğütme tipi,
- Öğütücü içeriği,
- Öğütme hızı ve
- Öğütme süresi.

Öğütme işlemi için kullanılan öğütme hücreleri önemlidir. Öğütme sırasında öğütücü malzemelerin kabın duvarına çarpması sonucu, çatlaklar ve kırılmalar meydana gelebilmektedir. Kırılan ve kopan bu parçalar kap içerisinde bulunan toza karışarak, üretilmek istenen alaşımın/kompozitin kimyasal bileşimini değiştirmekte ve kirlenmelere yol açmaktadır. Bu nedenle, öğütme yapılacak kapların dayanıklı malzemelerden yapılmış olması gerekmektedir.

MA işlemlerinde bilye toz oranı 1:1-1:220 aralığındadır. Bilye-toz oranı (BTO) öğütme sırasında tozların istenen boyuta gelmesi için gereken zamana önemli bir etki etmektedir. BTO arttıkça, homojen bir yapı üretmek için gereken süre de azalmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda, BTO ve öğütme süresinin, faz dönüşümü ve kristal boyutu gibi parametreler üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Öğütme kabında, toz ve bilyelerin rahat hareket edebilmesi için, kabın doluluk oranı önemlidir. Bilyelerin ve tozun daha rahat hareket edebilmesi ve öğütmenin gerçekleşebilmesi için genellikle kabın doluluk oranı % 50 yi geçmemelidir.

Mekanik alaşımlama yönteminde, öğütme atmosferi diğer önemli bir değişkendir. Korozyon ve oksitlenme gibi problemlerin önlenmesi amacıyla, MA işlemi vakumlu veya argon gibi inert gaz ortamlarında yapılmaktadır.

Mekanik alaşımlamada etkili başka bir değişken de, öğütme süresidir. Çoğu durumda, parçacık boyutu, kristal boyutu, lameller yerleşimi ile incelme oranı işlem süresi ile logaritmik olarak artmaktadır.

2.4.3. Mekanik Alaşımlamanın Gelişim Süreci

Mekanik alaşımlamanın son 60 yıldaki gelişim süreci Tablo 2.7.'de verilmiştir. Uluslararası nikel firması olan INCO, malzemenin oksit çökelti sertleşmesi ile gaz türbin kanadı uygulamalarında nikel bazlı süper alaşımların kullanılması ile literatürde yerini almaya başlamıştır. 80'li yılların ortalarından başlayarak MA yöntemi malzemenin mikro yapısında çok çeşitli kararlı ve yarı-kararlı fazların, aşırı doymuş katı eriyiklerin, nanokristal ve yarı-kristal ara fazların ve amorf alaşımların sentezlenmesinde kullanılmıştır. Diğer taraftan "Mekanik Alaşımlama" ilk olarak Amerikan Patenti olarak Ewan C. Mac Queen tarafından literatüre geçmiştir ve bu terimin patentine INCO firması sahiptir [39].

Tablo 2.7. Mekanik Alaşımlamanın Gelişim Süreci.

Yıl	Gelişmeler
1950	<ul style="list-style-type: none"> • İlk dispersoid sertleştirilmesi ile alüminyum parçacıklarının sinterlenmesi (SAP).
1960	<ul style="list-style-type: none"> • ThO₂-Disperse edilmiş. • İlk ODS alaşımlarının mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmesi.
1970	<ul style="list-style-type: none"> • İlk mekanik alaşımlama prosesinin gerçekleşmesi.
1980	<ul style="list-style-type: none"> • Ticari ölçekte mekanik alaşımlama prosedürünün kullanılması. • Y-Co intermetalik bileşimlerinin amorfizasyonu için mekanik öğütme. • Elementel Nb-Ni intermetalik verinin amorfizasyonu için mekanik alaşımlama. • Nano kristal intermetalikleri ve saf metalik tozların üretimi. • Birbirine karıştırılmayacak amorf bileşiklerin üretilmesi.
1990	<ul style="list-style-type: none"> • Refrakter Ta bazlı bileşiklerin mekanik alaşımlama yöntemi ile amorfizasyonu. • Alüminyum bazlı bileşik tozlarının çubuklu kırıcı ile amorfizasyonu. • Metal oksitlerin mekanik olarak katı faz redüksiyonu. • Tepkimeli bilye öğütme. • Isı yardımı ile katı faz amorfizasyon reaksiyonu. • Nano kristal metal karbürlerin üretimi. • Amorf kristallerin çevrimsel faz dönüşümleri. • Al/SiC nano kompozit tozlarının üretimi.
2000	<ul style="list-style-type: none"> • Nano katolizörlerin bilyeli öğütme yöntemi ile üretimi. • Elektriksel deşarj ile mekanik öğütme. • Geniş süper soğutma sıvı rejimlerinde metalik camsı bileşiklerin öğütülmesi. • Metalik camsı bileşik tozlarının mekanik olarak kristallenmesi. • Grafit tozlarından bilyeli öğütme yöntemi ile karbon nano tüplerin üretilmesi. • Birbirine bulaşmış nano partiküllerin iyileştirilme işlemlerinin fabrikasyonları.

2.4.4. Mekanik Alaşımlamanın Avantajları

Uzay sanayi için geliştirilmiş olan mekanik alaşımlanmış malzemeler yüksek sıcaklık ortamlarında olağanüstü dayanım gösterirler. Dayanım birden fazla mekanizma ile gerçekleşir. Bu metodun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [36]:

- Mekanik alaşımlama ile elde edilen tozların yapısı tamamen homojen olarak elde edilebilir. Böylece segregasyon problemi tamamen ortadan kaldırılmış olur.
- Dış etkilere karşı dayanıklı malzeme üretmek mümkündür.
- Bir seferde oldukça fazla miktarda toz üretmek alaşımlamak mümkündür.
- Fabrikasyonu kolaydır.
- Malzemelerin ve alaşımların üretim maliyetini azaltarak direkt olarak üretilmesini sağlar.
- Performans /Birim fiyat dikkate alındığında ucuz malzeme üretimini mümkün kılmaktadır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Birçok kontak uygulamalarında yüksek iletkenlik değerine sahip olmasından dolayı Cu kullanılmaktadır. Fakat saf Cu'nun yeterli mukavemete sahip olmamasından dolayı bu malzemeye çeşitli takviye elemanları ekleyerek iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada bakır matrisli kompozit malzeme üretimi için takviye malzemesi olarak KNT ve grafen kullanılmıştır. Grafen üretimi için sıvı faz eksfolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bunun için başlangıç malzemesi olarak hegzagonal grafit tercih edilmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan karbon nanotüpler ise CVD yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen grafen ve KNT'ler, bakır matrisi içerisine % 1, %2, %10 hacimsel oranlarında eklenmiştir. Homojen karışımın sağlanması için bilyeli bir öğütücüde karıştırılmıştır. Elde edilen karışım tozlar daha sonra yüksek bir gerilme altında kompaktlanarak ve daha sonra ise 950 °C gibi yüksek sıcaklıkta inert gaz atmosferinde sinterlenmiştir. Numunelere uygulanan mekanik ve fiziksel testler sonucunda bakır matrise KNT-Grafen'in birlikte takviyesinin etkisi ortaya konulmuştur. Bu çalışmadaki deneysel metodun detayları takip eden 3.1-3.4 bölümlerde verilmiştir.

3.2. Deney Malzemeleri ve Tozların Hazırlanışı

Bu çalışmada birden çok deney gerçekleştirildiği için her takviye oranında 50 gr'ın üzerinde kompozit tozu üretilerek toplam 14 mm çapında 9 adet silindirik kompozit numune üretilmiştir. Çalışmada belirlenen deneyler için gereken numunelerin adetleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney Numune Çeşitleri

Numune Çeşidi	Adet
Kontak Numunesi	6 adet
Hadde Numunesi	1 adet
Aşınma Numunesi	1 adet
SEM-Sertlik Numunesi	1 adet

3.2.1. Karbon Nanotüp Üretimi

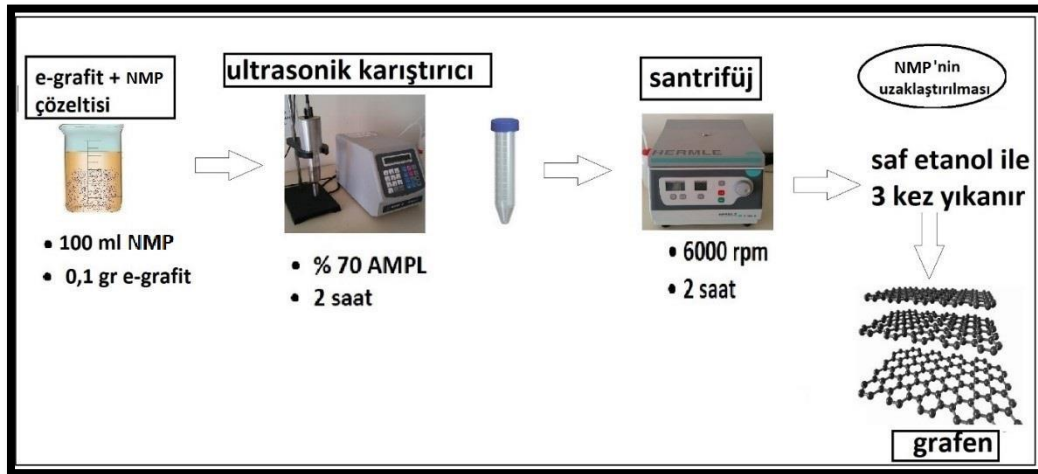
Fırın orta noktasına yerleştirilen Si altlık 10^{-3} Torr'luk bir vakum ile 4 kez arındırıldı. 1 l/dak'lık akış hızı ile akan Ar gazı atmosfer altında 650 °C e ısıtıldı. Fırına 1 saat süre ile dakikada 1 litre olacak şekilde Asetile ($C_2 H_2$) gazı ve Ar gazı verildi. Daha sonra Asetilen gaz akışı kesilerek sistem Ar gazı altında soğumaya bırakıldı.

Elde edilen toz içerisinde bulunan amorf karbon yapıların ortadan kaldırılması için nitrik asit (Sigma-Aldrich 438073) ve Hidroklorik asit (Sigma-Aldrich 258148) karışımı içerisinde 3 saat bekletilmiştir. Ardından tozlar saf su ile yıkanmış ve 150 °C sıcaklıktaki bir etüv içerisinde 10 saat kurutulmuştur. Sonuç olarak KNT'ler başarılı bir şekilde CVD yöntemi ile üretilmiştir.

3.2.2 Grafen Üretimi

Başlangıç malzemesi olarak kullanılan tabakalar arası yüzeyi genişletilmiş hegzagonal grafit tozu sıvı faz eksfolasyon yöntemi kullanılarak istenilen grafen nanotabakalar haline getirilmiştir. Van der Waals bağlarıyla birbirlerine bağlanan tabakaların birbirinden ayrılması için metil prolidon (NMP) solvent olarak kullanılmıştır. NMP, grafit nano yapıların arasına girerek Waals bağının kopmasına sebep olur ve böylece grafen nano yapılar tabakalar halinde elde edilmiş olur.

Bu çalışmadaki Grafen Üretim Prosesi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu üretim için 0.01 gram expanded grafit 100 ml NMP içerisinde "Sonix-Vibra Cell" marka ultrasonik homojenizatörde (Şekil 3.2) % 70 genlikte 2,5 saat boyunca karıştırıldı. Karıştırılan çözelti "Hermle" marka santrifüjde 6000 RMP hızla döndürülerek 2 saat boyunca ayrıştırılmıştır. Çöken grafen tabakaları İsolab marka saf etanol ile 3 kez yıkanarak NMP'den temizlenmiştir. Şekil 3.2.'de gösterilen manyetik karıştırıcıda alkol uçurularak grafen nanotabakalar elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Grafen Üretim Prosesleri.



Şekil 3.2. Üretimde Kullanılan Santrifüj Cihazı, Manyetik Karıştırıcı ve Ultrasonik Cihazı.

3.3. Nano-Hibrit Kompozit Numunelerin Hazırlanması

Numunelerin hazırlanması için gerekli olan tozların (Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.) karışım oranları ve numunelere verilen kodlar Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Deneyde Kullanılacak Tozların Oranları.

Numune Adı	KNT(V _i)	GPN(V _i)	CU(V _i)
H1	-%0	-%0	%100
H2	%0.5	%0.5	%99
H3	%1	%1	%98
H4	%5	%5	%90
H5	%2	-	%98
H6	-	%2	%98
H7	%1.5	%0.5	%98
H8	%0.5	%1.5	%98



Şekil 3.3. Üretimde Kullanılan Bakır Tozu, Yağlandırıcı ve Hassas Terazi.



Şekil 3.4 Üretilen Grafen ve PVP'li KNT.

3.3.1. Mekanik Alaşımlama İşlemleri (MA/MÖ)

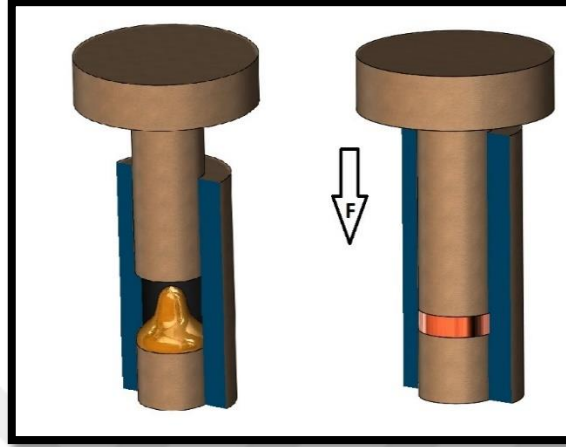
Üretilen grafen ve ÇDKNT partiküllerinden hacimce % 1, %2, %10 oranlarında ana matris olarak kullanılan bakır tozuna katılarak hazırlanan kompozisyonlara mekanik alaşımlama işlemi uygulanmıştır. Tablo 3.2.'deki oranlara göre 250 ml kapasiteli paslanmaz çelik öğütme kabına eklenen numuneler 1.1 gr çinko stearat (Şekil 3.3.) yağlayıcı ile beraber 15:1 toz bilye oranına sahip 12mm ve 50mm çapında bilye kullanılarak iki rota belirlenip Şekil 3.5.'de gösterilen "Retsch" marka yüksek hızlı mekanik öğütücü ile numunelerin homojen olarak 3 saat aralıklarla toplamda 12 saat boyunca karışması sağlanmıştır.



Şekil 3.5. Nano tozları Karıştırmak İçin Kullanılan Yüksek Enerjili Değirmen.

3.3.2. Soğuk Presleme

Elde edilen kompozit toz numuneleri, Şekil 3.7.'de belirtildiği şekle göre hazırlanan pres kalıpları kullanılarak preste (Şekil 3.8.) 500 Mpa basınçta kompaktlanarak 14 mm çapında ve 5 mm kalınlığında birleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Presleme işlemi.



Şekil 3.7. Pres ve Kalıplar.

3.3.3.Sinterleme

Soğuk presten geçirilen numuneler Mersin Üniversitesi Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Laboratuvar'ında bulunan Şekil 3.9. da gösterilen "Protherm" marka tüp fırında 0,5 l/d Argon gazı geçirilerek 950 °C de 1 saat süreyle sinterlenmiştir.



Şekil 3.8. Sinterleme Fırını.

Elde edilen sinterlenmiş numunelerin tam yoğunluğa ulaşmak için soğuk olarak 500 MPa'da tekrar preslenip, 1000 °C'de ikinci kez sinterlenmişlerdir.

3.4. Nano-Hibrit Kompozit Numunelerin Elektriksel İletkenlik Analizi

Üretilen nano-hibrit kompozit numunelerin elektriksel iletkenlik değerlerini belirlemek için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan "AGILENT 34401A" modelindeki iletkenlik testi cihazıyla kül fırınının içine kurulan düzenek yardımıyla doğru akım kullanılmış ve numunelerin oda sıcaklıklarında elektriksel iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Elektrik iletkenliği ölçme işlemi için dört uçlu iletkenlik ölçüm yöntemi kullanılmıştır. İletkenlik değeri doğrudan ölçüm sonucunda verilmemektedir. Cihaz, malzemenin direncini ölçüldükten sonra öz direnç ve öz iletkenlik değerleri denklem (4)'e göre hesaplanmıştır.

$$\rho = Rx \left(\frac{A}{L} \right) \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

ρ = Öz direnç [ohm.cm]

σ = Öz iletkenlik [ohm.cm]⁻¹

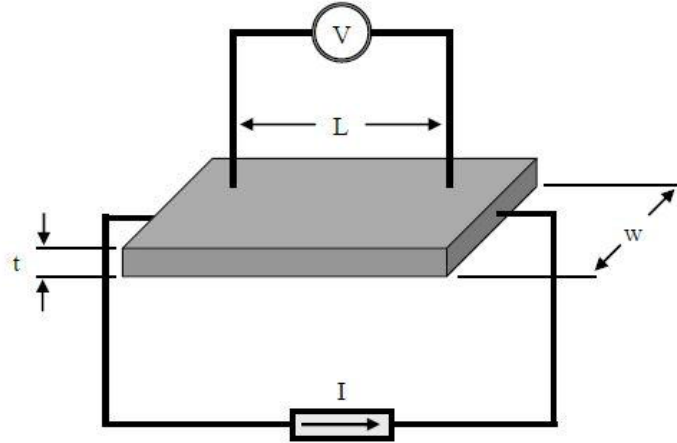
V = Ölçülen gerilim değeri

I = Akım kaynağından uygulanan akım

R = Direnç [Ω]

$A = \text{Kesit alanı } (w \times t) \text{ [cm}^2\text{]}$

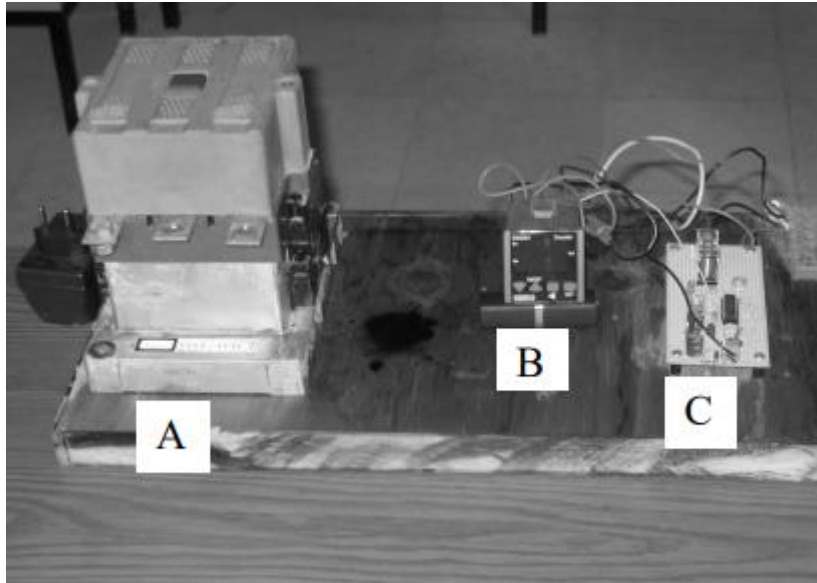
$L = \text{Problar arasındaki mesafe [cm]}$



Şekil 3.9. Elektrik Şeması [40]

3.5. Numunelerin Kontakt Testi

Numunelerin elektrik kontak özelliklerini tespit etmek üzere açma kapama deneylerini yapılması için hazırlanan Şekil 3.12. de gösterilen deney düzeneğine numuneler Şekil 3.13.'de gösterilen kontaklara gümüş kaynak teli yardımı ile kaynatıldı. Deney düzeneği belli sayıda dalga osilatörü yardımıyla toplamda 2 saniye açma kapama süresi belirlenmiştir. 220 V gerilim altında çalışan deney düzeneği istenilen kontak sayısına ulaştığında işlemi durdurmaktadır.



Şekil 3.10. Kontakt Testi Deney Düzeneği.

A-Kontaktör üst kapağı açıldıktan sonra Şekil 3.13.'de gösterilen kontaklar yerlerine yerleştirilir. 5000, 10000, 15000, 20000 açma-kapama sonrası kontaklarda meydana gelen madde kayıpları tespit edildi ve 20000 kontak sonunda yüzeyde meydana gelen hasar SEM incelemesi ile ortaya konuldu.



Şekil 3.11. Kontaklar.

3.6. Mikro-sertlik Testi

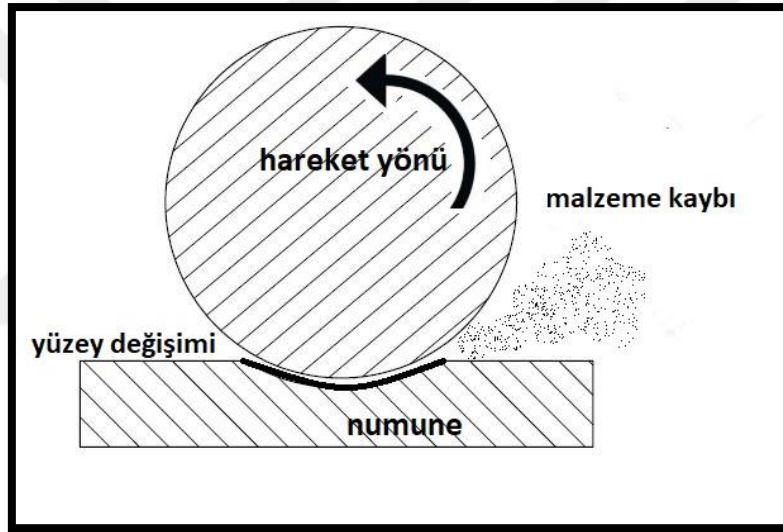
Fırat Üniversitesi merkezi araştırma laboratuvarında “Anton Paar” marka mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Yöntem olarak Vickers yöntemi, yük olarak 10 gr ve bekleme süresi olarak da 10 sn seçilmiştir. Temizlenen numuneler tablaya yerleştirildikten sonra. Batıcı uca değme noktasına gelene kadar yükseltilir. Lensler kullanılarak numune üzerine bırakılmış olan iz analiz edilecektir. Analiz sonunda oluşan izin köşegen uzunlukları belirlenerek malzemenin VHN değeri bulunmuştur.

3.7. Aşınma Testi

Hazırlanan numunelerin Tribolojik davranışlarının incelenmesi için Şekil.3.14.'de görülen aşınma test cihazı kullanılmıştır. Test cihazı; yükleme sistemi, hız kontrol ünitesi, motor, dengeleyici ve numune sabitleme bölmesinden oluşmaktadır. Numuneler belirlenen mesafelerde (500m-1000m-1500m) farklı yüklere (5N-10N-15N) maruz bırakılarak adhesif aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşındırıcı olarak rulman çeliği kullanılmıştır. Şekil 3.15.'de sertleştirilmiş çeliğin hareket yönü, numunede oluşturduğu yüzey değişikliği ve malzeme kaybı şematik olarak gösterilmiştir. Yük ve mesafeye göre numunelerde oluşan madde kayıpları tespit edilip, spesifik aşınma oranları hesaplanmıştır. Aşınan yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.12. Aşınma Deney Düzenegi.



Şekil 3.13. Tribolojik Sistemin Şeması.

3.8. SEM Analizi

Nano-hibrit kompozit numunelerin yan kesit yüzeylerinden alınan numunelerde, takviye elemanların bakır matris içerisindeki dağılımlarını incelemek ve ara yüzey bağının nasıl olduğunu incelemek için Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan “FEI Quanta” 650 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) (Şekil 3.16.) kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler KNT ve Grafenin Bakır matris içerisindeki miktarı ve dağılım şekilleri detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3.14. Kullanılan SEM cihazının görüntüsü.

3.9. TEM Analizi

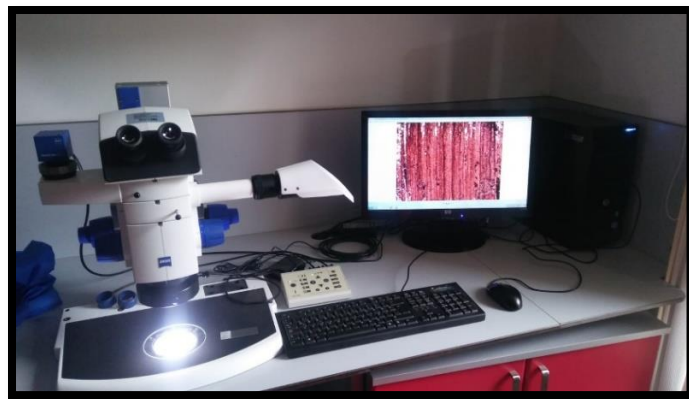
Üretilen takviye numuneleri üzerinde Fırat Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvar'ında "JEOL-JEM 2100F" markalı cihazla 200 kV gerilim altında HR-TEM incelemeleri yapılmıştır.

3.10. XRD Analizi

Çalışma kapsamında yapılan XRD analizleri Mersin Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvar'ında bulunan "Rigaku smartlab" marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Üretilen KNT'lerin karakterizasyonu için XRD kullanılmıştır.

3.11. Optik Mikroskop İncelemeleri

"Zeiss" marka optik mikroskop ile aşınma numunelerinin görüntü incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler, lamel üzerine konularak tabla üzerine yerleştirilir. Sırasıyla 4X-6,3X-8X büyüklüklerde mercek altında aşınma yüzeyleri incelenmiştir.

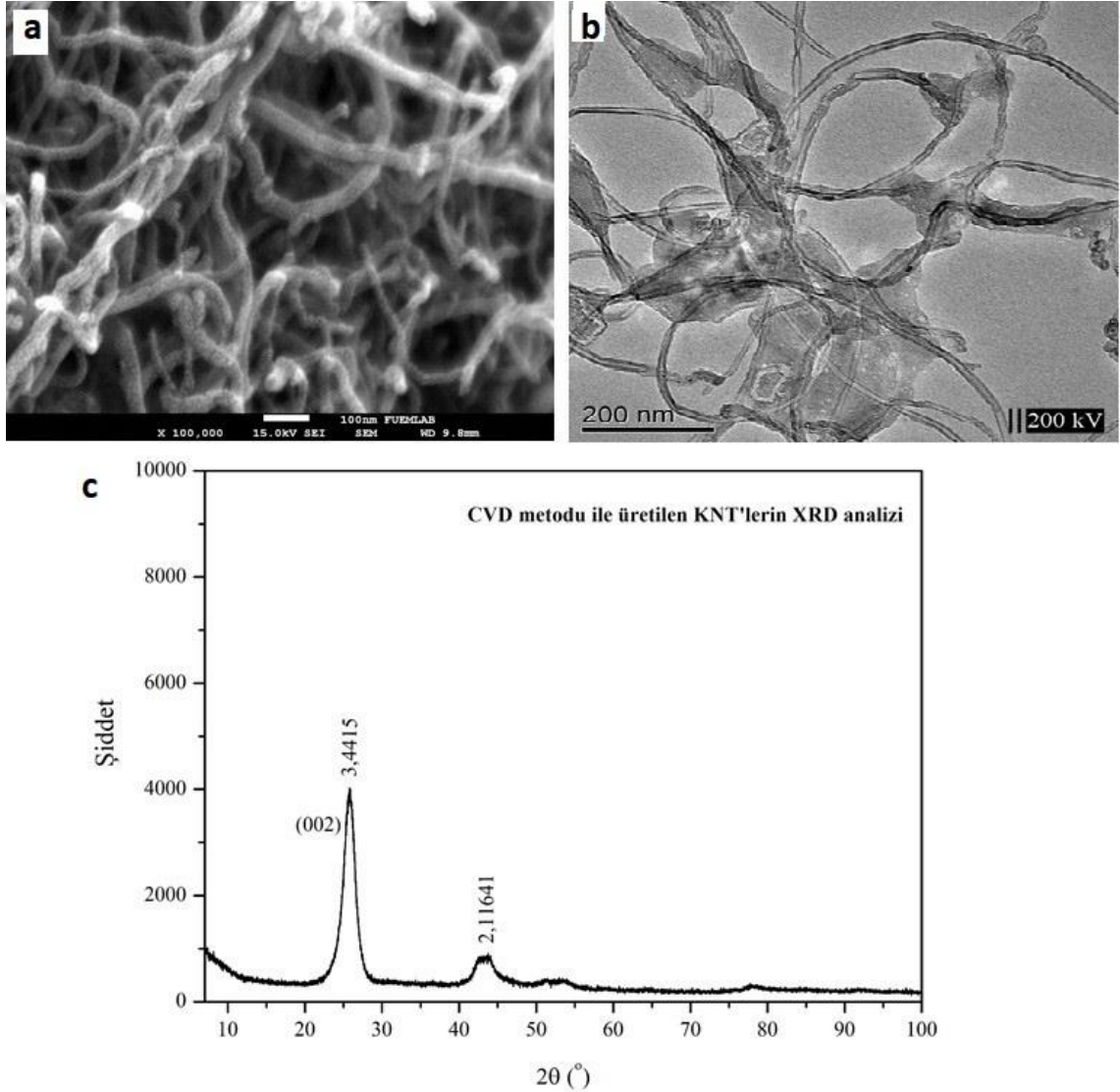


Şekil 3.15. Optik Mikroskop Cihazı.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Takviye Malzemesi Olarak Üretilen KNT Ve Grafen Nano Tabakaların Karakterizasyonu, Üretilen Kompozitlerin Mikroyapı Sonuçları

DeneySEL metot kısmında da değinildiği gibi KNT'ler CVD metodu ile üretilmiştir. Elde edilen KNT'lerin SEM ve TEM görüntüleri ile XRD analizi, Şekil 4.1.'de verilmiştir.



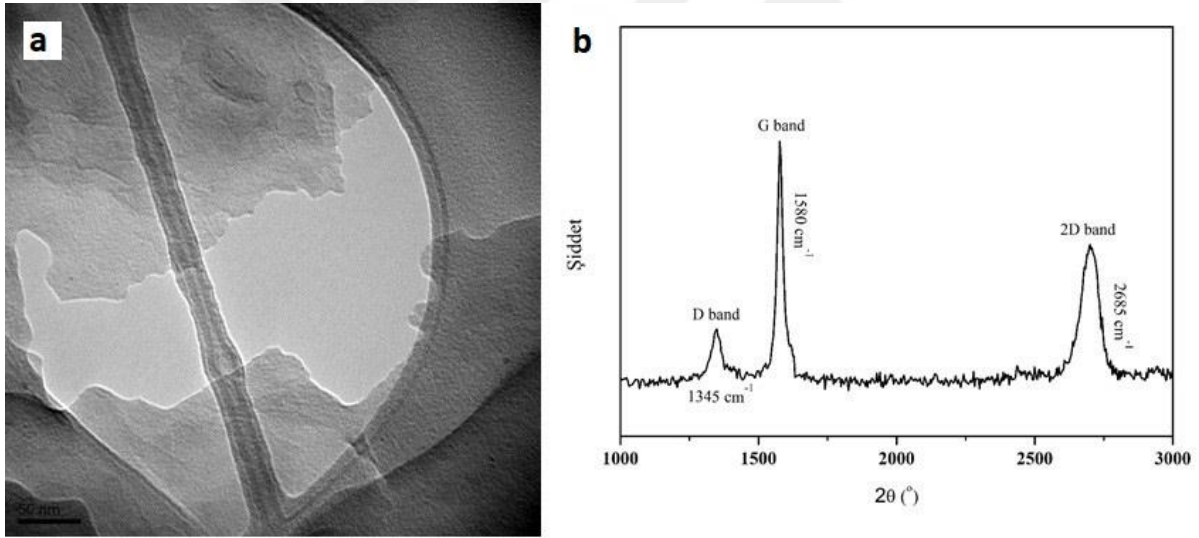
Şekil 4.1. CVD ile üretilen KNT'lerin a) SEM görüntüsü, b) TEM görüntüsü, c) XRD spektra analizi.

Şekil 4.1.a)'daki SEM görüntüsünden görüldüğü gibi karbon nanotüpler topaklanmış halde bulunmaktadır. Bir birlerine yakın çaplara sahip olan nanotüplerin çapları 20-30 nm arasındadır. Şekil 4.1.b)'deki TEM görüntüsünden, sentezlenen KNT'lerin içlerinin boş olduğu ve yaklaşık 15 nm'lik bir iç boşluğa sahip oldukları görülmektedir. KNT'leri ile birlikte bulunan ve koyu renkli olan

tabakalı yapılar ise üretim sırasında oluşmuş amorf karbonlardır. Şekil 1.c)'de verilen XRD spektrasında tek bir pik görülmektedir ve bu pik KNT'lere atfedilen ve yaklaşık 27°C 'de bulunan (002) pikidir. Şekilden de görüldüğü gibi bu pik geniş bir piktir.

Şekil 4.2.'de ise sıvı faz eksfolasyon yöntemi ile üretilen Grafen nanotabakalara ait TEM görüntüsü ve Raman spektrası verilmiştir. TEM görüntüsünden görüldüğü gibi oluşan tabaka ince bir tabaka olup, şeffaflığı da bunun göstergesidir. Tabakaların kenar kısımlarında kusurların olduğundan söz edilebilir. Bu durumun sebebi; sonikasyon işlemi sırasında tabakaların hasar görmesidir. Şekil 4.2.b)'de verilen Raman spektrası, oluşan yapının grafen nanotabaka olduğunu göstermektedir. Grafitik malzemelerde C-C bağının varlığını gösteren G band'ı bu çalışmada üretilen grafen nanotabakalarda da görülmektedir. 2D pikinin 2685 cm^{-1} olması, elde edilen grafen nanotabakaların 3-6 tabaka arasında olduğunu gösterir.

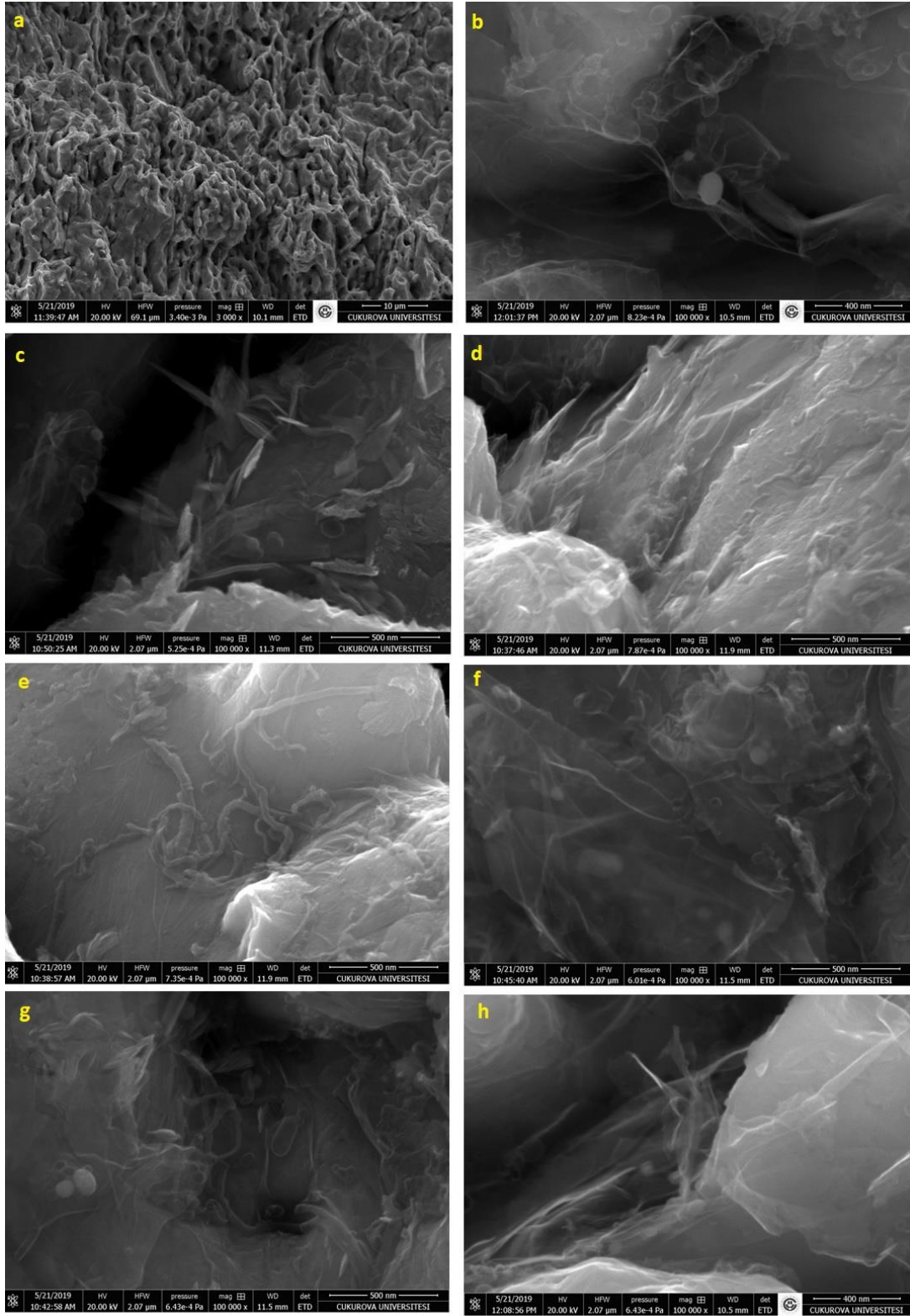
Ferrari ve ark. [41] grafen ve grafen tabakalarındaki raman spektrum incelemelerinde bulk halindeki grafit ve grafen için spektrumların 514nm 'de kıyaslanması sonucunda 2D pik tepe yüksekliğini yaklaşık 2700 cm^{-1} tespit etmişlerdir bu sonuç literatür ile uyumludur.



Şekil 4.2. Sıvı faz eksfolasyon ile üretilen Grafen'lerin a) TEM görüntüsü, b) Raman spektra analizi.

Üretilen kompozitlerin mikro yapı incelemeleri SEM'de yapılmıştır. Bunun sebebi optik mikroskop altında takviye elemanı olarak kullanılan KNT'lerin ve grafen nanotabakaların yapı içerisindeki görüntülerinin tespit edilmesinin imkansız olmasıdır. Ayrıca, 14 mm çapa sahip bir silindir haline getirilmiş olan parçanın yüzeyinden klasik metalografik işlemler ile KNT ve grafenlerin görüntüsünün alınması mümkün değildir. Çünkü parlatma işlemi sırasında takviyelerin yüzeyden parçalanıp gitmesi söz konusudur. Bu nedenle, numunelerin kesitlerinden SEM

görüntüleri alınmıştır. Şekil 4.3.a), b), c), d), e), f), g), h)'de sırasıyla H₁, H₂, H₃, H₄, H₅, H₆, H₇, H₈'e ait SEM görüntüleri verilmiştir.



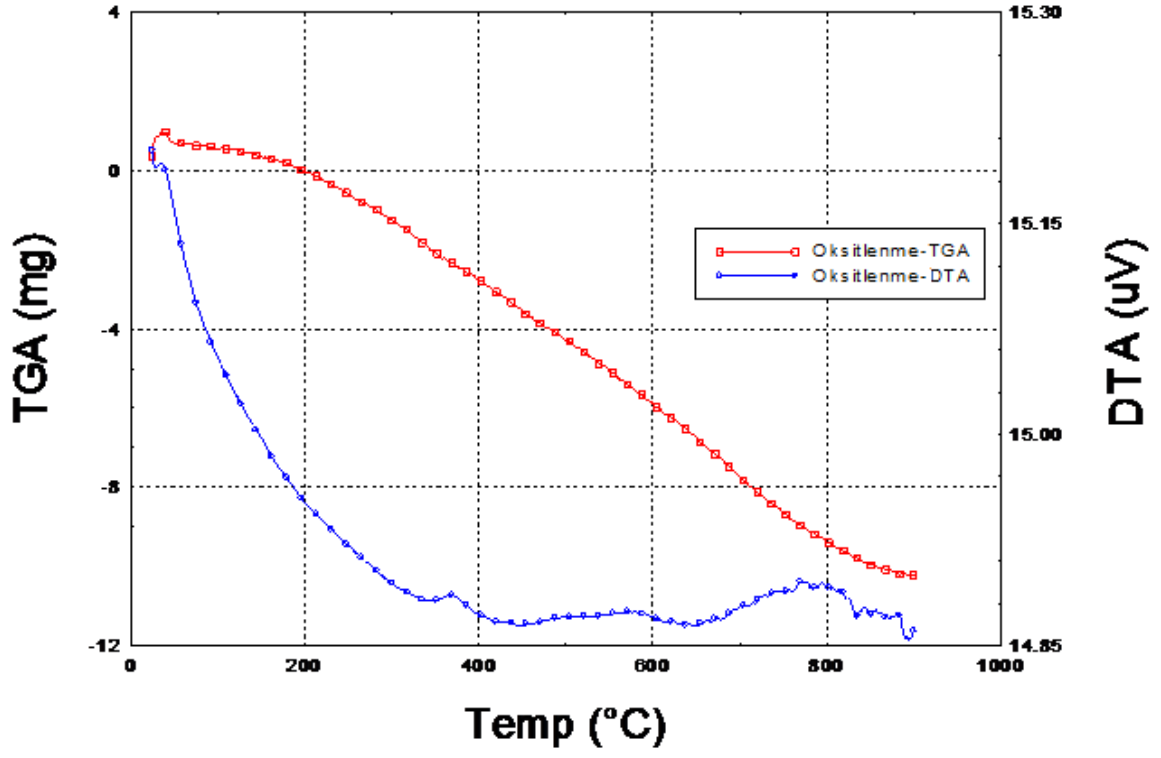
Şekil 4.3. a) H₁, b) H₂, c) H₃, d) H₄, e) H₅, f) H₆, g) H₇, h) H₈ numunelerine ait SEM görüntüleri.

Şekil 4.3.a)'da verilen saf bakıra ait SEM görüntüsü yapının dövme işleminden sonra nispeten yüksek yoğunluğa ulaştığını göstermektedir. Yapı içerisinde hala boşluklar olmasına karşın bunların miktarları azdır. Yapının içerisine hem KNT'ler hem de grafen nanotabakalar homojen bir şekilde dağılmışlardır. SEM görüntüleri üzerinde KNT'ler ve grafen nanotabakalar gösterilmiştir. Gerek KNT'lerin gerekse de grafen nanotabakaların boyutları çok küçük olduğu için kompozitlerin SEM görüntüleri 100.000x büyütülerek alınmıştır. İlave edilen katkılardan bazıları partiküllerin üzerinde dururken bazıları ise öğütme işleminin veya dövme işleminin etkisi ile bakır partiküllerinin, başka bir deyişle, bakır matrisin içerisine gömülmüşlerdir. Bazı numunelerde KNT'lerden dolayı homojen dağılmayan kısımlara rastlanmıştır. Başka bir deyişle üst üste gelmiş KNT-KNT veya üst üste gelmiş KNT-Grafen nanotabaka çiftlerine rastlanmıştır. KNT'lerin esnek yapılarından ve boylarının uzun olmasından dolayı düz bir çubuk şeklinde dağılmak yerine kıvrımlı bir şekilde kompozit içinde dağılırlar. Bu da takviyelerin bazı bölgelerde birbirine temas etmesi olasılığını arttırır.

4.2. Termogravimetrik (TGA) Analiz

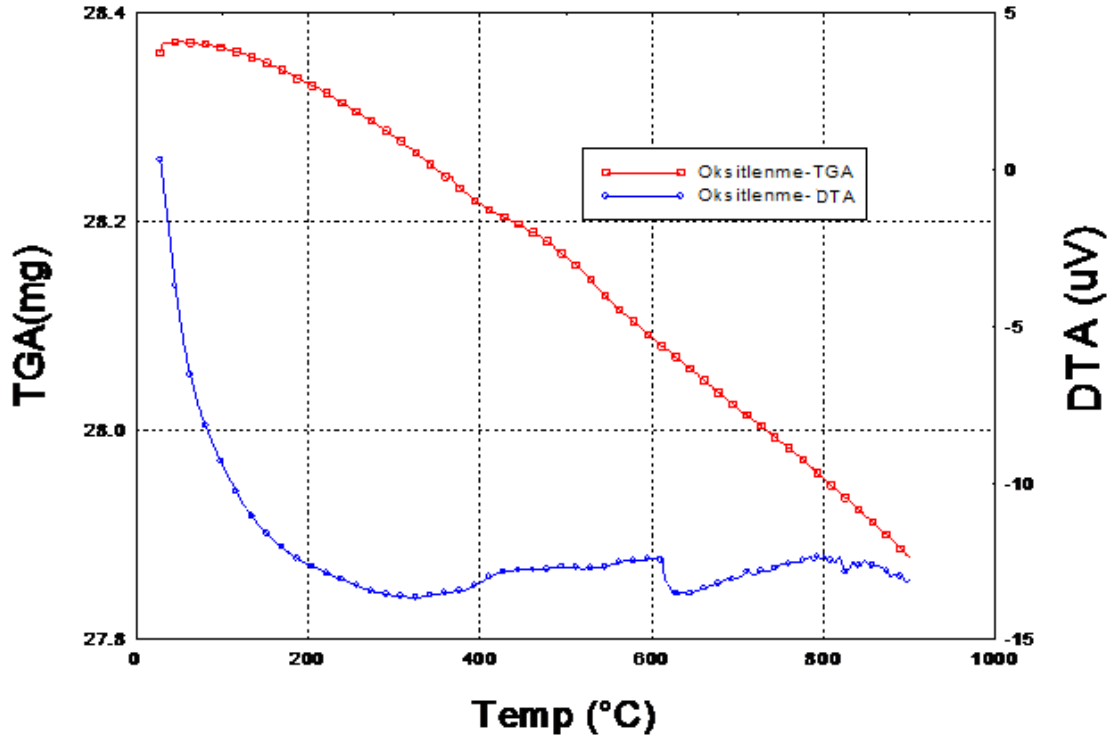
Kompozitlerin üretim aşamasında oksitlenmemesi oldukça önemlidir. Zira, yüzeyde veya iç bölgelerde meydana gelen oksitler; hem malzemenin mekanik özelliklerini, hem de elektriksel iletkenlik, kontak davranışı gibi diğer özelliklerini olumsuz etkiler. Bu nedenle, üretilen tozların sinterlemeden önceki oksitlenme davranışlarının tespiti TGA analizi ile yapılmıştır. Şekil 4.4.-4.11.'de görüldüğü gibi, hemen hemen tüm numunelerin TGA davranışları benzerdir. Tüm numunelerde yaklaşık % 2 oranında bir madde kaybı meydana gelmektedir. Bu da, üretim sırasında tozlara eklenen yağlayıcıdan kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıkla beraber yapı içerisinde bulunan çinko setearat yapıdan gaz halinde uzaklaşmaktadır. Başlangıçta, yapıya % 2 kadar setearat ilave edilmiş olması ve TGA'da madde kaybının % 2 kadar olması yağlayıcıdan dolayıdır. Yapıda herhangi bir madde kazancının olmaması, oksitlenmenin meydana gelmediğini göstermektedir. Bu da, inert gaz atmosferi altında numunelerin sinterlenmesi sırasında tozların oksitlenme eğiliminin veya başka bir reaksiyonun olmadığını gösterir.

H1



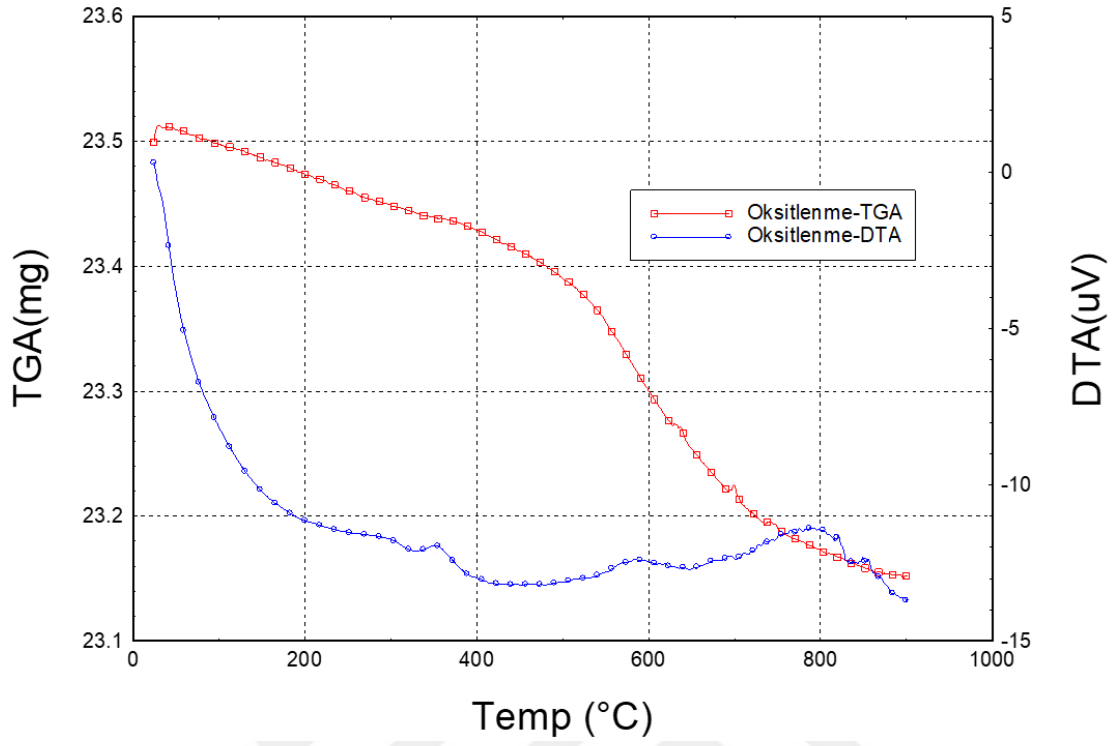
Şekil 4.4. H₁ Oksitlenme Grafiği.

H2



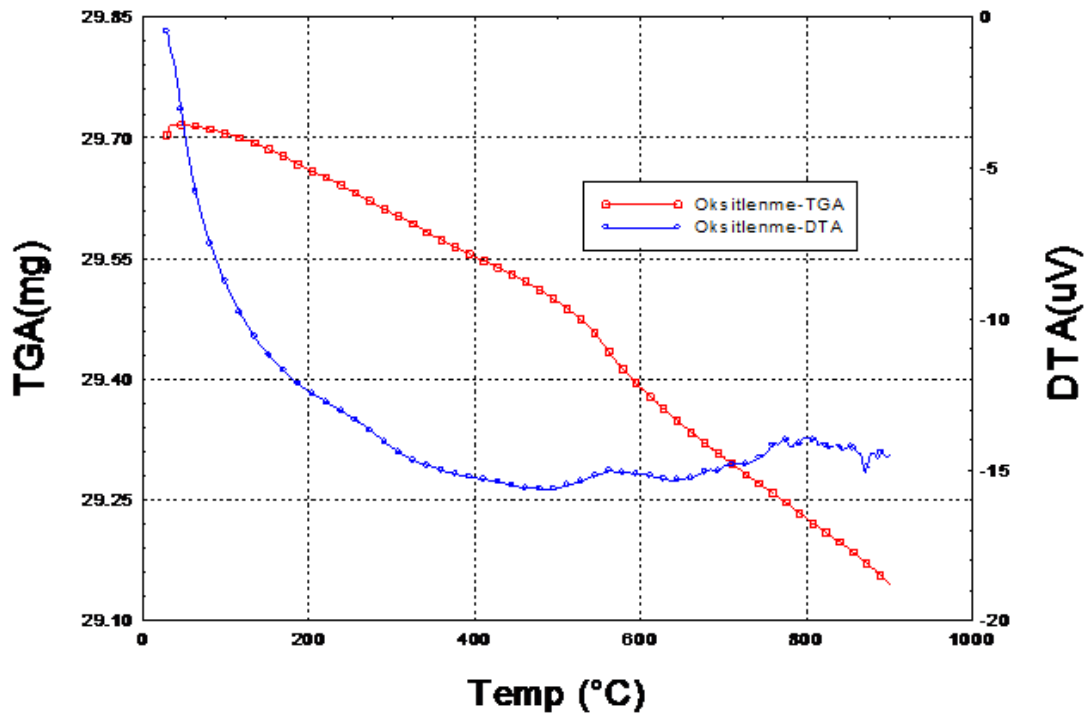
Şekil 4.5. H₂ Oksitlenme Grafiği.

H3



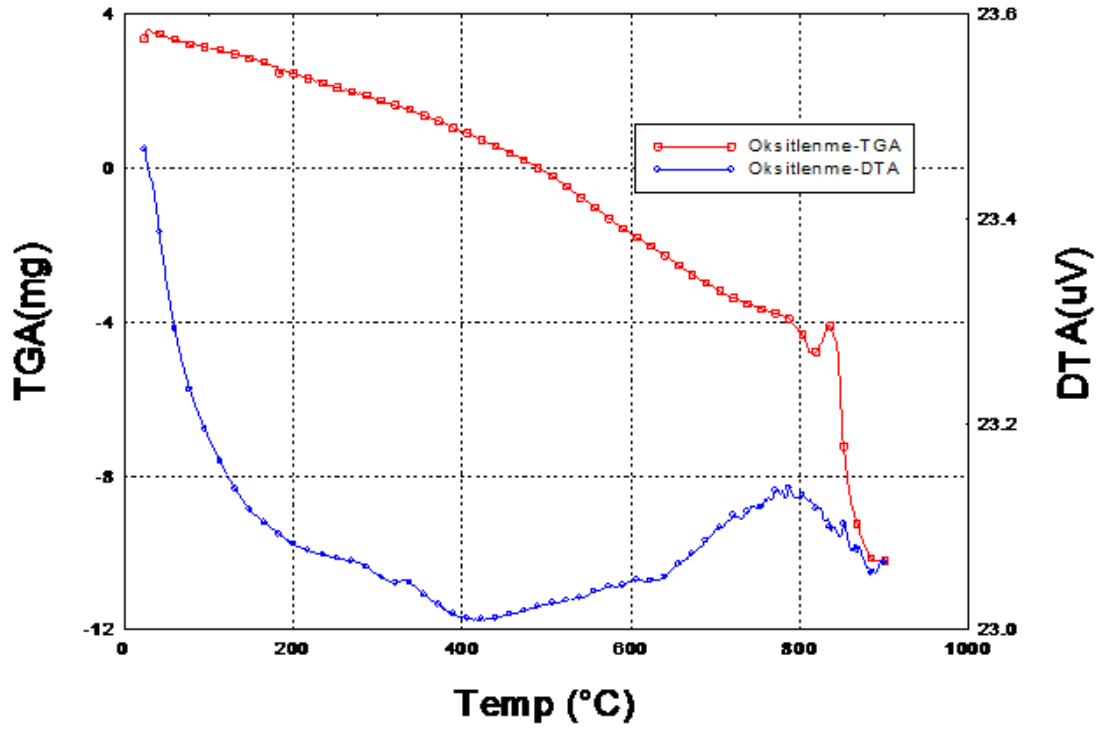
Şekil 4.6. H₃ Oksitlenme Grafiği.

H4



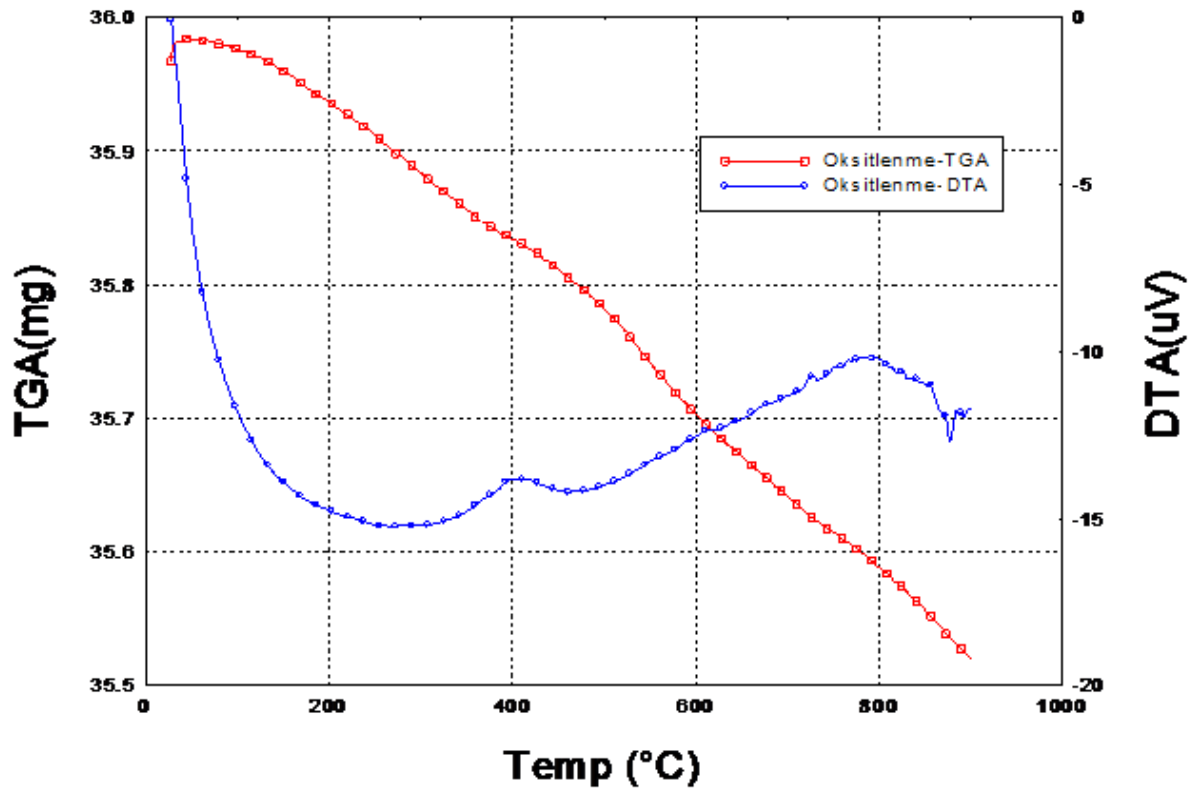
Şekil 4.7. H₄ Oksitlenme Grafiği.

H5



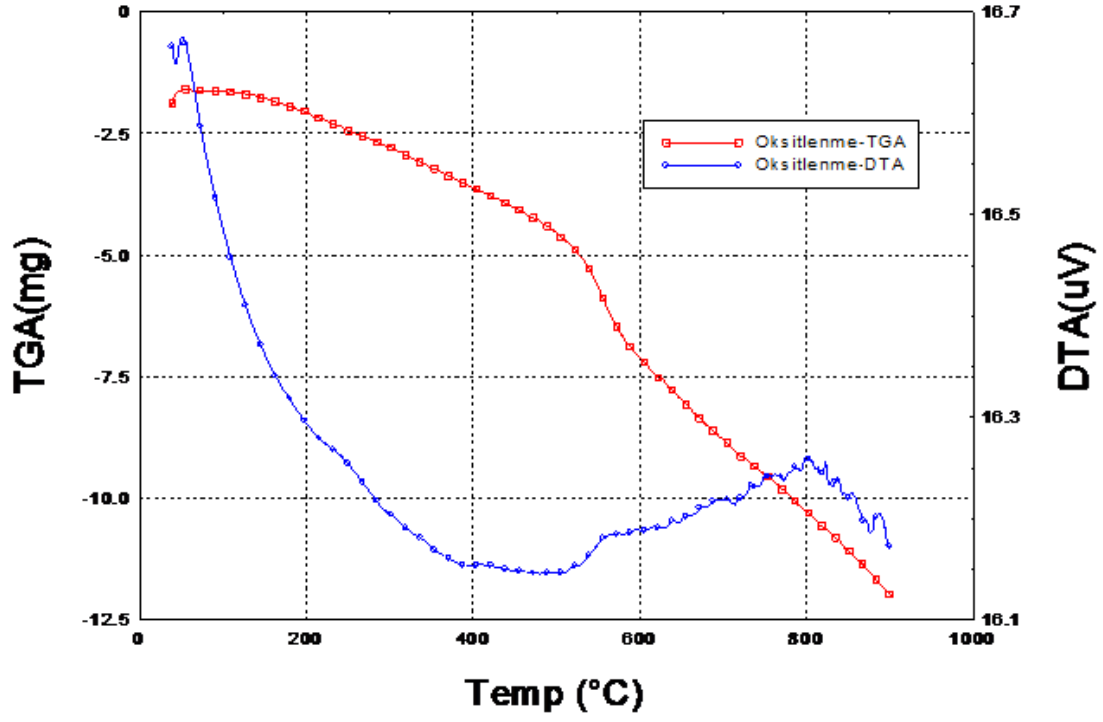
Şekil 4.8. H₅ Oksitlenme Grafiği.

H6



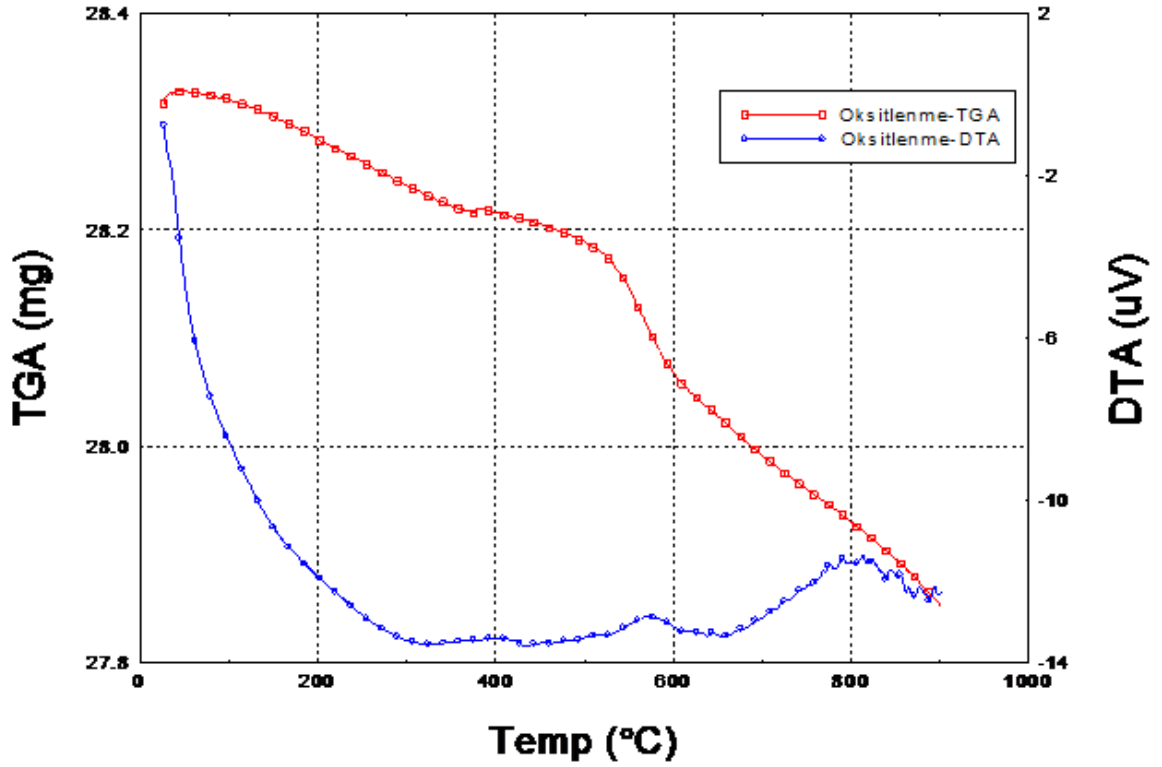
Şekil 4.9. H₆ Oksitlenme Grafiği .

H7



Şekil 4.10. H₇ Oksitlenme Grafiği.

H8



Şekil 4.11. H₈ Oksitlenme Grafiği.

4.3. Elektriksel İletkenlik Özellikleri

Şekil 4.4.'de H₁, H₂, H₃, H₄, H₅, H₆, H₇, H₈ numunelerine ait elektriksel iletkenlik değerleri % IACS olarak verilmiştir. % IACS (International Annealed Copper Standart) tam yoğun tavlanmış saf bakırın öz-iletkenliğinin % 100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup % 100 IACS = 58 MSiemens/m' dir [30].

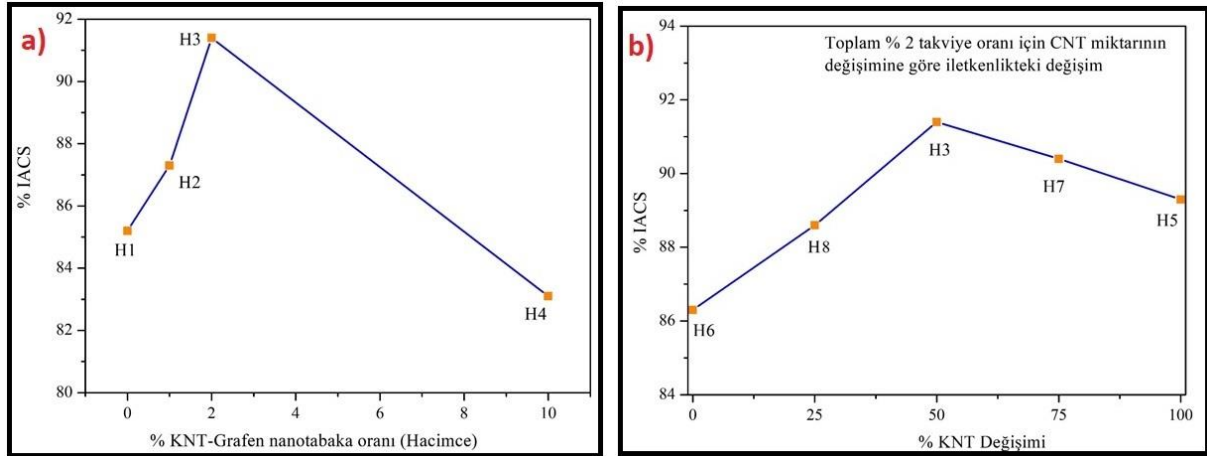
Üretilen numunelerin önce dirençleri ölçülmüş ve denklem (5)'de verilen eşitlik ile öz-iletkenlik değerleri bulunmuştur.

$$\rho = Rx \left(\frac{A}{L} \right) \quad (5)$$

Denklemde, R Direnci (ohm), σ Öz-iletkenliği (MS/m), L Numunenin kalınlığı (m), A tesir kesit alanını (m²) temsil etmektedir.

Elde edilen öziletkenik değerleri % IACS'e dönüştürülmüştür. Şekil 4.12.a)'da KNT-Grafen nanotabaka oranına göre iletkenlikteki değişim verilmiştir. Artan takviye oranı ile elektriksel iletkenlik değeri önce artmıştır ve hacimce % 1 takviye içeren kompozitte maksimum değere ulaşmıştır. Daha sonra, artan takviye oranı ile kompozitin elektriksel iletkenlik değeri saf bakırın elektriksel iletkenlik değerinin dahada altında bir değere düşmüştür. Ürettiğimiz saf bakırın % IACS değeri % 85,2 iken hacimce % 1 takviye içeren numunede bu değer 87,3'e çıkmış; % 2 takviye oranında % 91,4 seviyesine; % 10 takviye oranında ise % 83,1'e düşmüştür. Normal şartlar altında beklenen; artan takviye oranı ile kompozitin elektriksel iletkenliğinin artmasıdır. Takviye elemanı olarak kullanılan KNT'lerin ve grafen nanotabakaların elektriksel iletkenlikleri oldukça yüksektir. Fakat, artan takviye miktarı ile elektriksel iletkenlikte önce bir artış daha sonra ise azalış meydana gelmiştir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir; 1) gerek saf bakır gerekse de kompozitler toz metalürji yöntemi ile üretilmekte olup, sinterleme işleminden sonra uygulanan dövme işleminden sonra dahi tam yoğunluğa ulaşılamamış ve yapıda hala porozitelerin mevcudiyeti söz konusudur. 2) üretim sırasında toz partiküllerinin yüzeyinde çok az da olsa oksitlerin mevcudiyeti söz konusudur. 3) artan KNT-Grafen nanotabaka oranı, yapı içerisinde homojen dağılımı zorlaştırmıştır. Yüksek takviye oranlarında KNT'ler aglomere halde bulunmaktadır ve bu da kompozitin elektriksel iletkenliğinde azalmaya sebep olmaktadır. 4) grafen üretim yöntemlerinden dolayı tabakaların iç kısımlarında kusurların bulunduğu bu olumsuz durumlar literatürde de belirtilmiştir [42]. KNT takviyeli-metal matris kompozitlerinin imalatındaki en büyük problem takviye malzemesinin matris içerisindeki homojenliğidir. KNT'lerin ilk önce metal bir matris içinde homojen olarak dağılmasını sağlamaktır. Bakır matris KNT ve grafen nanotabakalar arasındaki termal genleşme uyumsuzluğu sinterleme sırasında bakır matrisinde artık gerilme yaratır. Artık gerilme,

kompozitlerde istenmeyen dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olur [43]. Bu da iletkenliğin azalmasına neden olur.



Şekil 4.12. Takviye oranı ve takviye türüne göre elektriksel iletkenlikteki değişimi

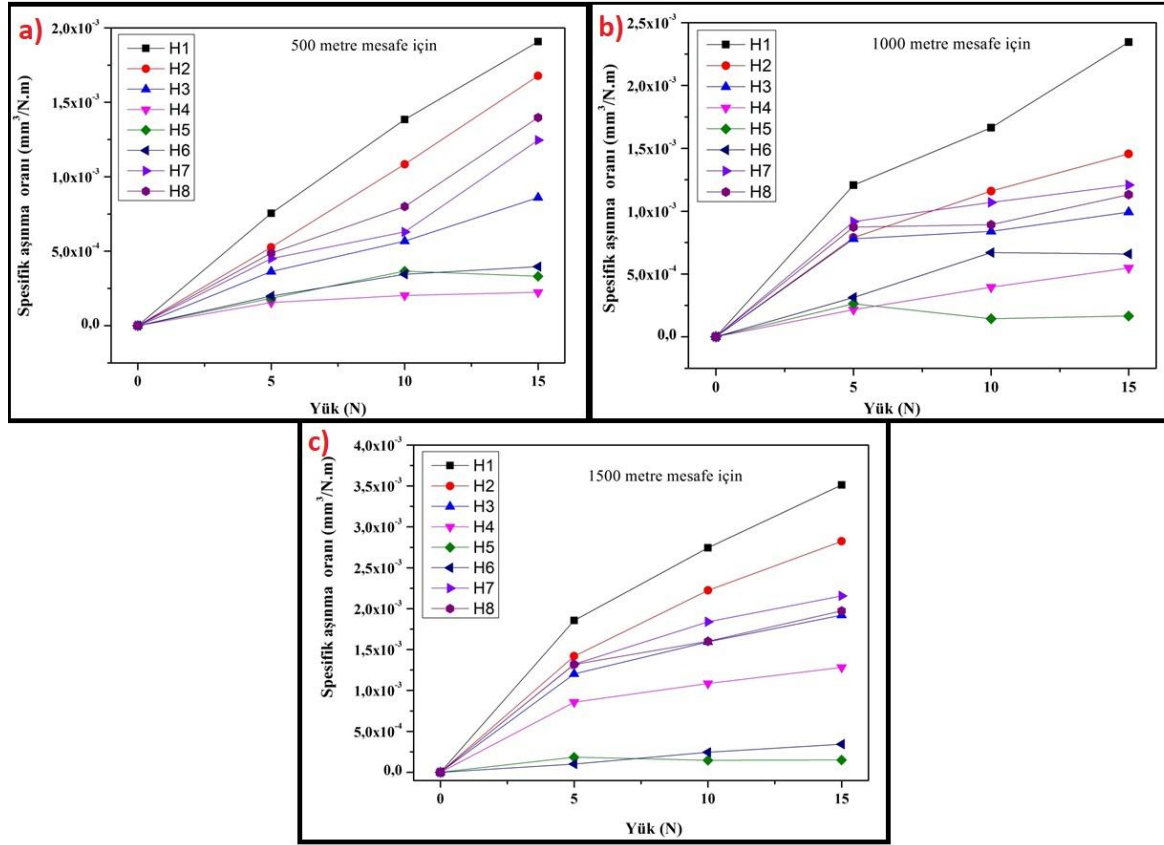
Bakırın elektriksel iletkenliğine ve diğer özelliklerine takviyenin etkisini görebilmek için hacimce % 10 takviye oranında KNT'nin ve grafen nanotabakaların oranları değişmiştir. Şekil 4.12.b)'de değişen KNT oranına göre elektriksel iletkenlikteki değişim verilmiştir. KNT oranı % 0 olduğunda, dolayısıyla grafen nanotabaka oranı % 100 olduğunda, elektriksel iletkenlik % 86,3 IACS değerindedir. Artan KNT oranıyla, dolayısıyla azalan grafen nanotabaka oranıyla, kompozitin elektriksel iletkenliğinde bir miktar artış meydana gelmiştir. Bu durumun sebebi; yapı içerisinde bulunan grafenlerin yüzey alanları daha fazla olup bakır partikülleri ile daha fazla temas halinde bulunmalarıdır. 2D malzemelerin partikül içine yerleşmesi ve iletkenliğe bu şekilde etki etmesi 1D malzemelere nazaran daha zordur. Seungchan Cho ve arkadaşları [42] ÇDKNT takviyeli bakır matrisli kompozit malzemelerin elektriksel özelliklerine KNT'nin etkisini incelemişlerdir. KNT ilavesinin % 1 hacimsel oranına kadar elektriksel iletkenlik büyük ölçüde artmıştır. % 3 hacimsel oranında saf Cu değerinin sahip olduğu elektriksel iletkenlik değerinin üstüne çıkmıştır. Herhangi bir bileşik içermeyen, yüzeye yakın tutturulmuş KNT, Cu matris ile oluşturduğu ara yüzeydeki termal direnç çok düşük olacaktır.

4.4. Aşınma Özellikleri

Bu çalışmada üretilen aşınma numuneleri belirlenen mesafelerde (500m,1000m,1500m) ve farklı yüklere (5N,10N,15N) maruz bırakılarak spesifik aşınma oranları denklem (6) ya göre hesaplanmıştır.

$$k = \left(\frac{\Delta V}{P.L} \right) \quad (6)$$

Burada k-spesifik aşınma oranı; ΔV - hacim değişimi; P-maruz kaldığı yük; L- alınan mesafeyi ifade etmektedir.



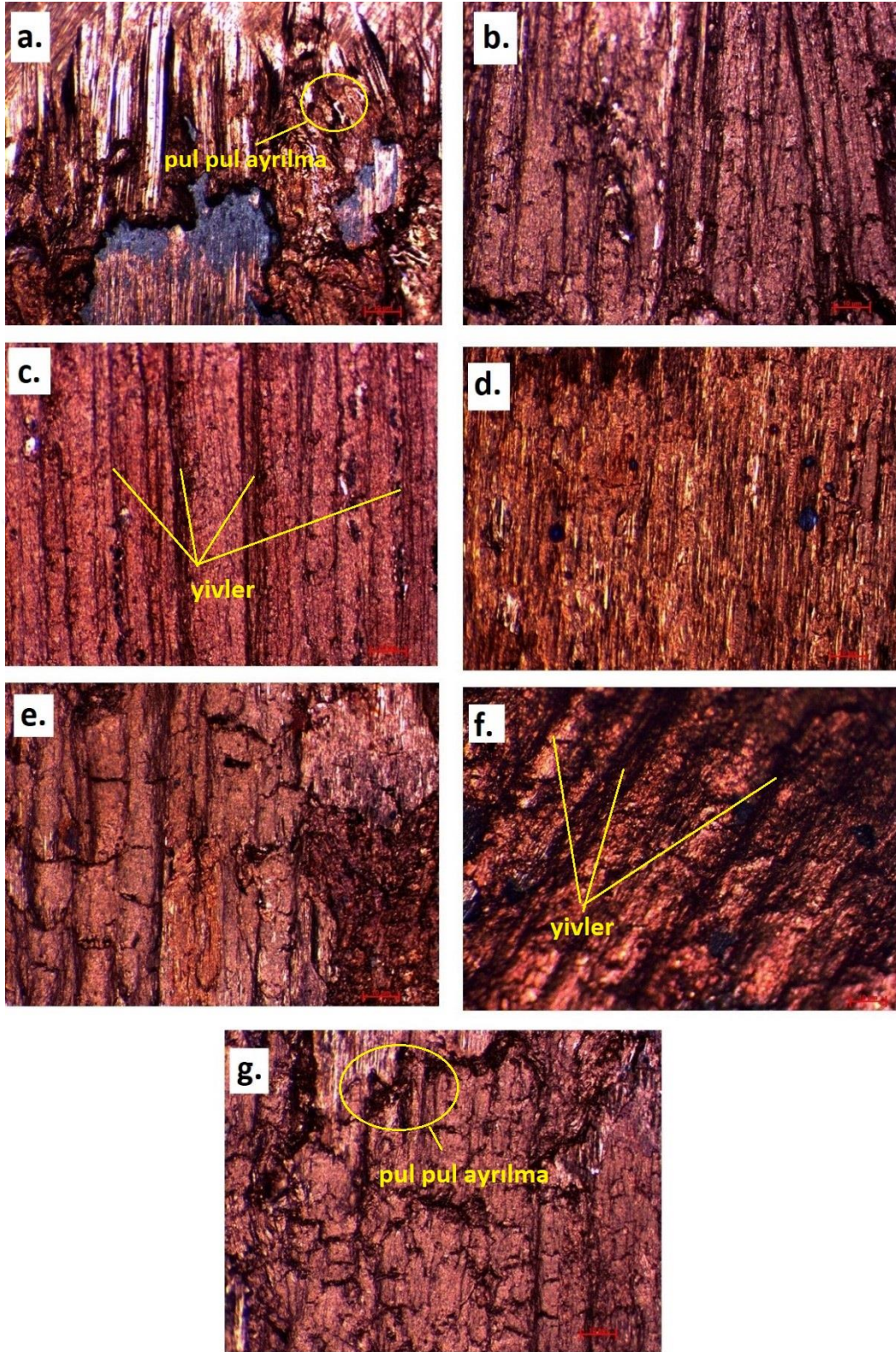
Şekil 4.13. Kompozitlerin farklı yükler ve farklı aşınma mesafeleri için spesifik aşınma oranları.

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi malzeme kaybının en fazla olduğu numune H₁ numunesidir. Bunun sebebi takviye olarak herhangi bir katkı malzemesi konulmamasıdır. Dikkat edildiğinde malzeme içerisine eklenen takviyelerin miktarına bağlı olarak, malzeme kaybı giderek azalmaktadır. En az malzeme kaybının H₅ numunesinde olduğu görülmektedir.

Beklenildiği gibi, maruz bırakılan yük oranının artmasıyla numunelerdeki aşınma direnci düşmüştür. Nanohibrit kompozit numunelerinin aşınma dayanımları, KNT ve GPN hacimsel oranı (%1, %2, %10) arttıkça, artmıştır. Sadece KNT (H₅) veya sadece GNP (H₆) takviyeli kompozit numunelerin aşınma dayanımları hibrit kompozitlere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

4.5. Optik Mikroskop İncelemeleri

Saf bakır, KNT ve GPN takviyeli kompozitlerde çalışan aşınma mekanizmaları, test numunelerin aşınmış yüzeyleri incelenerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14. a) H₂, b) H₃, c) H₄, d) H₅, e) H₆, f) H₇, g) H₈ Numunelerinin Aşınma Yüzeylerinin Optik Mikroskop Görüntüleri.

Takviyelendirilmemiş yani saf bakırın aşınmış yüzeyinin optik görüntüsü Şekil 4.14.'da gösterilmiştir. Saf bakır; numunesinde, 5N, 10N,15N yük aralıkları için aşınmış yüzeylerde plastik deformasyon gözlenmiştir. Şekilde gösterildiği gibi, kayma yönü boyunca takviyeli olmayan

bakırın, aşınmış yüzeylerinde daha derin oluklar oluşturmuştur. Bunun nedeni, mikro yüzey kesmeye neden olan yumuşak bakır matris üzerindeki karşı yüzey sertliğinin sert kaymasıdır [44].

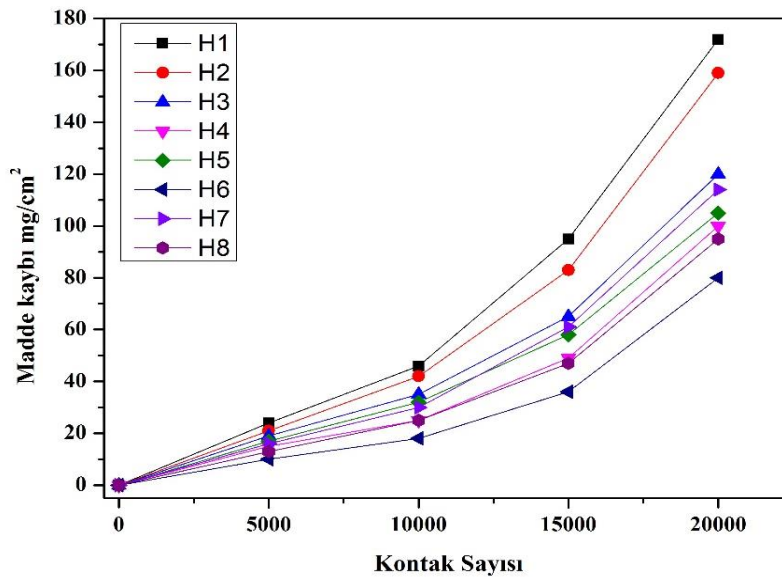
Sertleştirilmiş çelik diske doğru kayma sırasında takviyeli olmayan bakır için de benzer bir gözlem rapor edilmiştir. Uygulanan yük arttığında, aşınmış yüzeyde önemli miktarda plastik deformasyon meydana gelmiştir [44]. Şekil 4.14.b)'de görüldüğü gibi, daha yüksek yüklerde aşınmış yüzeyler çok sayıda oluk ile karakterize edilebilir. Bu aşınma davranışı literatürde de belirtilen aşağıdaki sebeplere bağlanabilir:

- % 5 hacimsel oranda KNT ile takviye edilmiş Cu matrisli kompozitlerinin mekanik özellikleri nispeten Cu -% 15 hacim KNT kompozitinden daha düşüktür.
- KNT'nin düşük hacimli fraksiyonlarında (% 5 ve 10 hacim), temas yüzeylerinde karbon filminin yeteri miktarda bulunmaması söz konusudur.

Şekil 4.14.g)'de numunelerin kayma yönüne paralel olarak sığ oluklar biçiminde plastik deformasyonu gösterilmiştir. KNT'nin yüksek hacimsel oranındaki numunesi incelendiğinde; daha büyük yüke maruz kalan numunenin yüzeyindeki aşınma izi şekilde görüldüğü gibi daha yüksek temas basıncı nedeniyle daha yüksektir..

4.6. Kontak Özellikleri

Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi kontakların açılıp kapanması sırasında malzemelerde oluşan malzeme kaybı en fazla H₁ numunesinde görülmektedir. Bu sonuç, aşınma sonuçları ile paralellik göstermektedir. En az malzeme kaybı ise H₆ numunesinde görülmüştür.

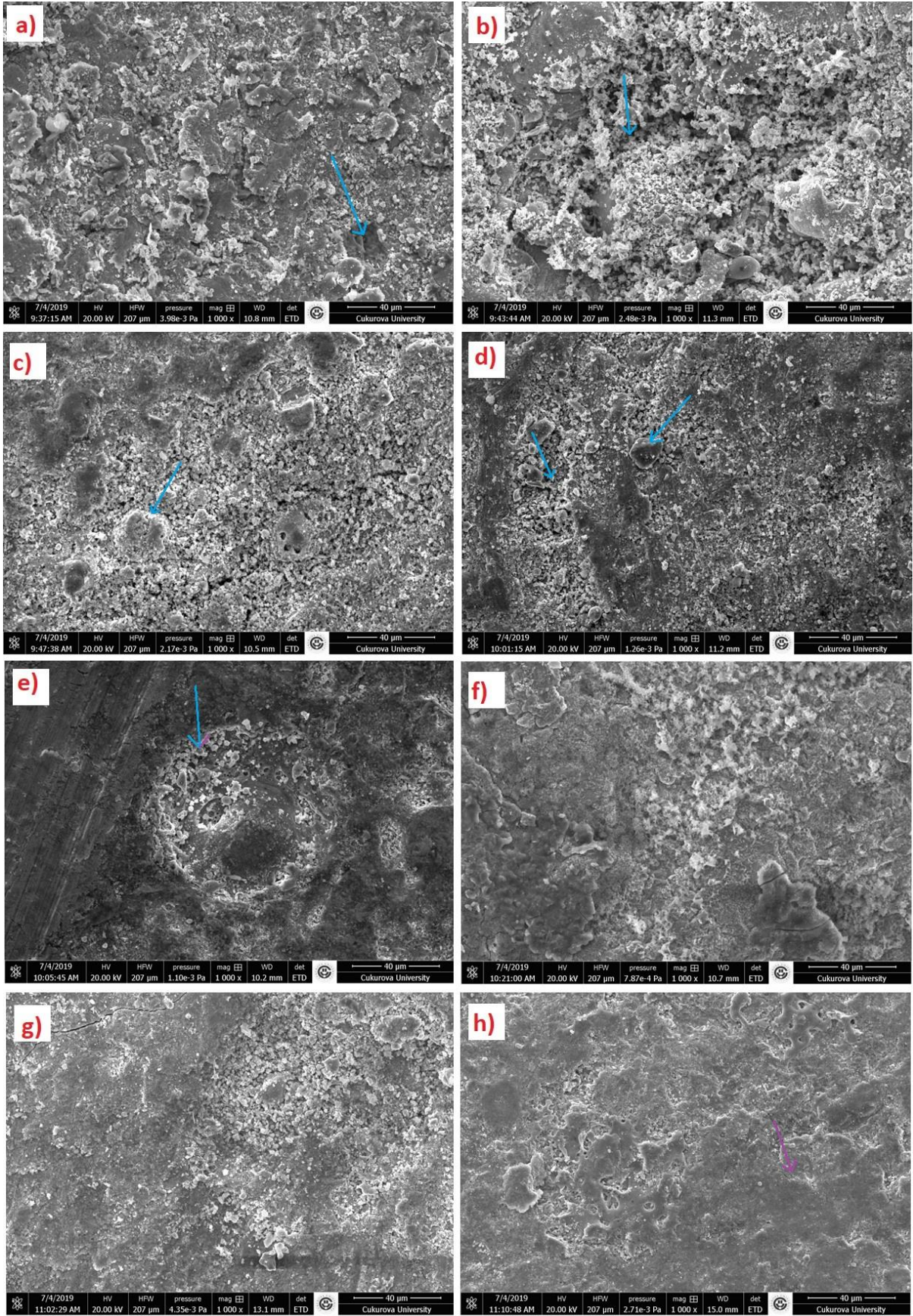


Şekil 4.15. Kontak Sayısına Göre Kompozit Malzemede Oluşan Madde Kaybı.

Nanohibrit kompozit numunelerinde madde kayıpları, KNT ve GPN hacimsel oranı (%1, %2, %10) arttıkça, azalmıştır. Sadece GNP (H₆) takviyeli kompozit numunelerinde madde kayıpları hibrit kompozitlere göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

4.7. Kontak Erozyon Yüzeylerinin İncelenmesi

Kontaklar 5 A alternatif akım şartlarında 5000, 10000 ve 20000 açma-kapama işlemine tabi tutuldular. İşlem sonunda kontaklarda meydana gelen madde kayıpları Bölüm 4.6'da açıklandı. 20000 çevrim sonunda kontakların SEM incelemeleri yapıldı ve meydana gelen erozyon davranışları değerlendirildi (Şekil 4.16.). Tüm kontak malzemeleri birbirine benzer davranışlar sergilediler. Hareketli kontakların yüzeylerinde ergimeler ve oluşan eriyiklerin damlacıklar şekline dönüşerek sabit kontağa taşındığı görülmüştür. Hareketli kontakta sabit kontakta damlacıklar şeklinde malzeme taşınımı yer çekiminin etkisiyle gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

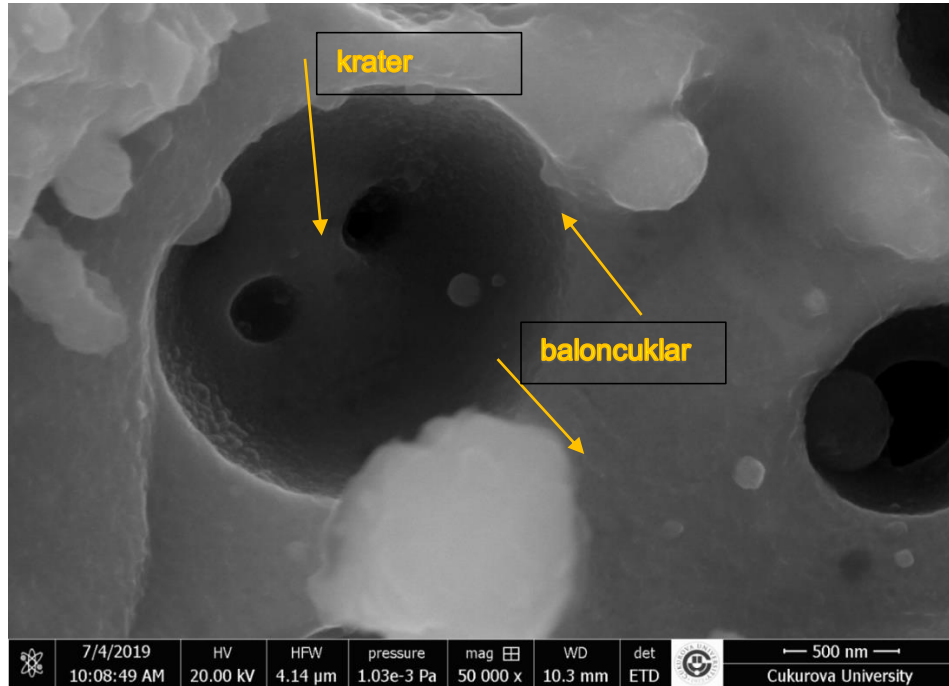


Şekil 4.16. a) H₂, b) H₃, c) H₄, d) H₅, e) H₆, f) H₇, g) H₈.

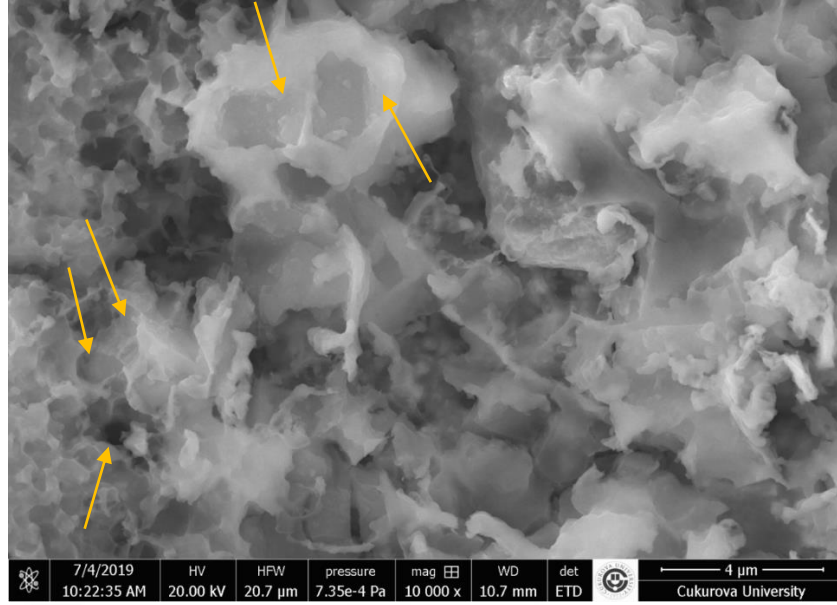
Yapılan incelemelerde, yüzeyde meydana gelen kraterlerin çevrelerinde baloncuk şeklinde yapıların meydana geldiği ve özellikle bu baloncuklara yakın kısımlarda küre formuna gelmiş partiküllerin varlığından söz edilebilir. Baloncuklar kontaklar arasında ark oluşan bölgelerde oluşmaktadır. Boncuklara yakın kısımlarda ise düzgün bir geometride küresel partiküllerin oluşması bu bölgelerde arkin etkisi ile erimelerin olduğu ve yeniden katılmasının gerçekleştiğini göstermektedir. Oluşan kraterler, baloncuklar ve erimiş katılmış partiküller SEM görüntülerinde okla gösterilmiştir. Özellikle Şekil 4.16.e)'de SEM görüntüsündeki krater, baloncuk ve küresel partiküller aynı alan içinde rahatlıkla görülebilmektedirler. Şekil 4.19.f) ve g)'de malzemenin yüzeyinde uzun çatlaklar görülmektedir. Bu çatlakların, yüzeyin çalışma sırasında oksitlenmesi ve bu oksitlerin ilerleyen safhada kontağın açılıp kapanması sırasında kırılmasıyla açıklanabilir. Şekil 4.16.h)'de de (sarı ok) çok belirgin olan bir başka durum ise, açma-kapama sırasında bir kontakta diğer kontakta taşınan malzemelerin kontakların birbirlerine değmesi sırasında yüzeye yapıştığıdır.

Genel hatlarıyla tüm numunelerde benzer erozyon mekanizmaları görünmesine karşın, H5 ve H6 numunelerinde, yapı içerisinde KNT veya grafen olması durumunda erozyon mekanizmasının daha farklı olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.17.'da tamamen KNT ile takviyelendirilmiş numunenin, 20000 açma-kapa sonrasında, yüzeyinden alınan SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 4.18.'de ise tamamen grafen ile takviyelendirilmiş numunenin 20000 açma-kapa sonrası yüzeyinden alınan SEM görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 4.17.Ergimiş Metal Partiküller.



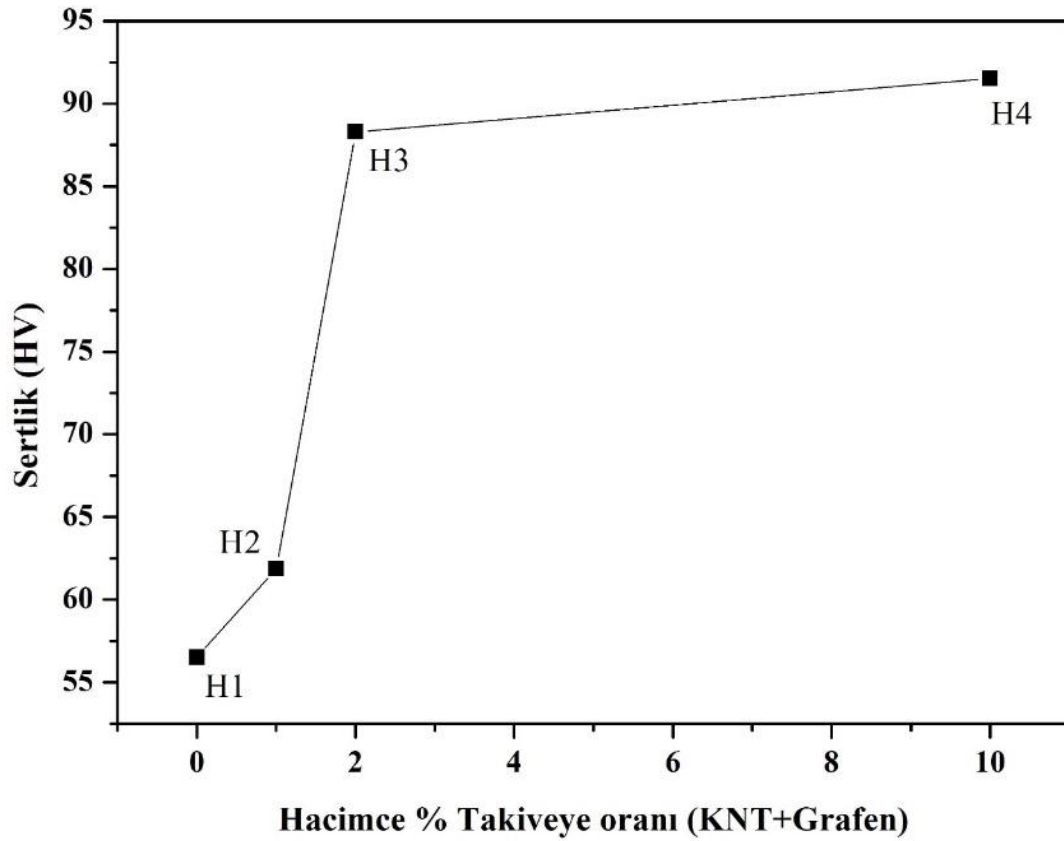
Şekil 4.18.Matristen Kopan Partiküller.

Şekil 4.17.'de sarı renkli oklar ile gösterilen kısımlar erimiş metal partikülleridir. Fakat bu partiküller önce nano boyuttan başlayarak her açma-kapama sırasında ısının da etkisiyle daha da büyümektedir. H5'e ait görüntüde farklı boyutlarda olan küresel şekilli partiküller ana matristen henüz kopamamış partiküller bulunmaktadır. Bu partiküllerin içinde karbon nanotüplerin olduğunu düşünmekteyiz ve KNT'li numunelerde erozyon mekanizmasının şöyle olduğunu düşünmekteyiz; açma-kapama çevriminin artmasıyla ve oluşan arkın etkisiyle Cu matriste erimeler ve katılaşmalar meydana gelmektedir. Bu erimeler ilk olarak KNT'lerin uç bölgelerinde başlamaktadır. Her çevrimle birlikte KNT'lerin içindeki erimiş-katılaşmış Cu miktarı artmaktadır. KNT'ler erimiş bu partiküllerin matristen kopup gitmesini engellemektedirler. Her artan çevrim sayısı ile biraz daha büyüyen partiküller belli bir boyuta gelmekte ve bu kritik boyuttan sonra ancak kopup uzaklaşabilmektedirler. KNT'lerin anlatılan mekanizma ile kontak erozyonunu azalttığı düşünülmektedir.

Şekil 4.18.'de, özellikle okla gösterilen kısımlar, açma-kapama işlemi sırasında matristen kopmuş partiküller gösterilmektedir. Partiküllerin içler boş olup, boşluk kısımlarının şekilleri hemen her partikülde benzerdir. Görülen görüntü, partiküllerin levha şeklinde bir yapı üzerinde büyüdüğü ve partiküllerin matristen kopmasından sonra üzerinde büyüdükleri levhalarında partiküllerin içinden düştüğünü göstermektedir. H6 numunesinde, arkın olduğu bölgenin hemen tamamında, benzer yapılara rastlanmıştır. Bu da, Cu matris içerisinde bulunan grafen nano tabakaların kontaktörün açma ve kapaması sırasında bahsedilen şekilde bir mekanizma ile erozyonu azalttığından bahsedilebilir.

4.8. Sertlik Davranışları

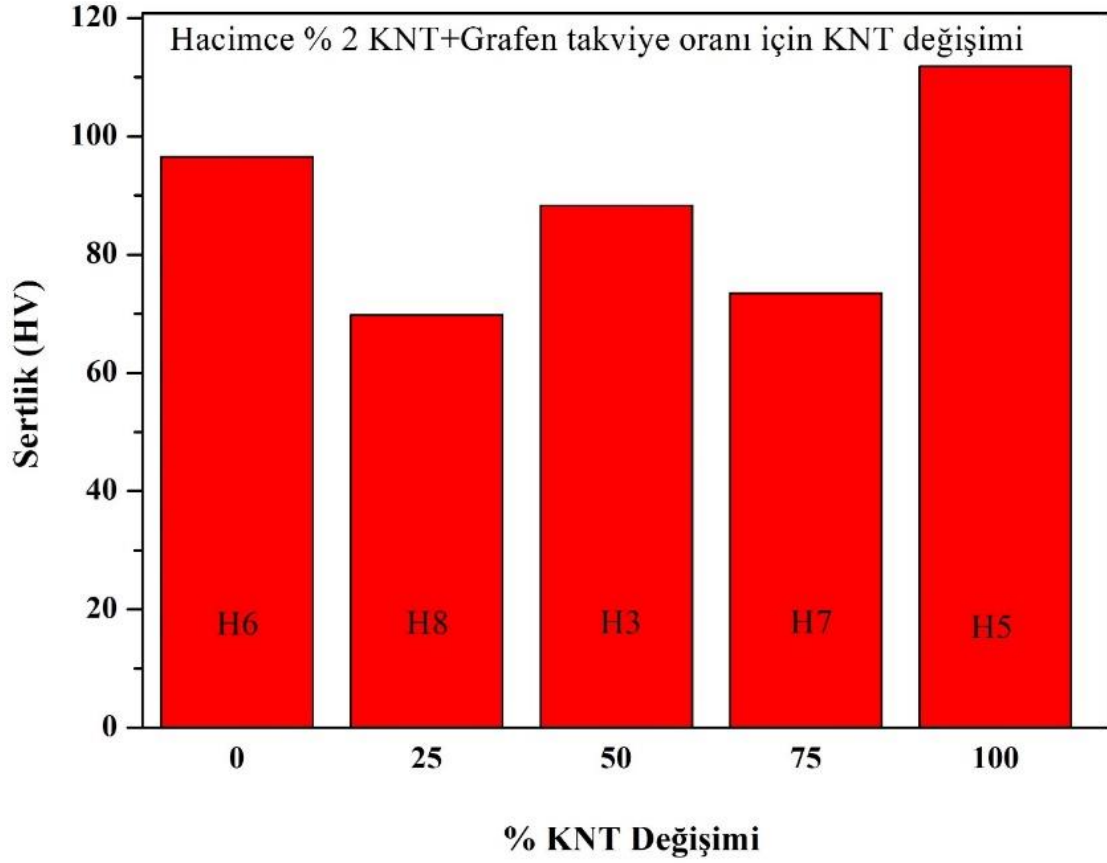
Şekil 4.19.'de Hibrit-kompozit numune içerisinde bulunan KNT ve grafen oranının değişimine bağlı olarak sertlikte meydana gelen değişimler gösterilmektedir. Üretilen malzeme içerisindeki takviye oranının ufak bir miktarda değişmesinde dahi sertlik değerinde kayda değer bir oranda artma meydana gelmektedir. %10'luk hacimsel oranda takviyeli H_4 numunesi 93HV ile en yüksek sertlik değeri sergilemiştir.



Şekil 4.19. Numunelerin Mikro sertlik Grafiği.

%2 CNT-grafen takviye oranına sahip kompozit numunesindeki KNT'nin takviye içerisindeki oranına göre malzemenin sertlik değerini nasıl etkilediği Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.

Sadece KNT veya sadece grafen takviyeli kompozit numuneler nano-hibrit kompozitlere göre daha iyi sertlik değerlerine sahiptirler. Bunun nedeni, grafenin KNT yapısı etrafında aglomera olmasından kaynaklı, istenilen kuvvetli arayüzey bağının oluşturamamasıdır.



Şekil 4.20. KNT Değişiminin Sertliğe Etkisi.

Zhang ve ark. [43] çalışmasının grafen takviyeli bakır matrisli kompozitlerde mikro sertlik sonuçlarında, az miktarda GNS eklenmek suretiyle elde edilen bakır matris sertliğinin belirgin bir şekilde artması, GNS'lerin güçlendirici etkisine atfedilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile saf bakır tozuna çeşitli oranlarda KNT ve Grafen ilave edilerek nanohibrit kompozit elde edilmiştir. Takviye elemanlarının üretilen kompozit numunelerdeki aşınma davranışı ve elektrik iletkenliğine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen kompozitlerin mikro sertlik ve kontak özellikleri de incelenerek takviye oranlarının mekanik ve elektriksel özellikleri nasıl etkiledikleri incelenmiştir.

- Saf bakır içerisine eklenen % KNT ve % Grafen oranları arttıkça kompozit numune içerisinde bakır matris arasına homojen bir dağılım gerçekleşmedi, KNT etrafında Grafen nano yapıların topaklandığı (aglomere) net bir şekilde gözlemlenmiştir.
- Yapılan mikro sertlik ölçümleri sonucunda en yüksek sertlik değerinin % 100 KNT takviye oranına sahip kompozit numunede olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, takviye oranlarının artmasıyla kompozit malzemedeki mekanik özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Fakat, hibrit kompozit numuneler gözlemlendiğinde bu numunelerde grafen KNT etrafında aglomere olduğundan sadece KNT veya sadece Grafen takviyeli kompozitlere göre mekanik özellikler açısından daha düşük değerler gözlemlenmiştir.
- En düşük sertlik değeri saf bakır numunesinde gözlenirken, bakırın az bir hacimsel oranda olsa bile nano partiküllerle (KNT ve grafen) takviye edilmesi kompozit numunesinde sertlik değerinin artmasına sebebiyet vermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Chen F., *Effects Of Graphene Content On The Microstructure And Properties Of Copper Matrix Composites*, Carbon 2016, (96), 836-842.
- [2]. Taşdemir F., *Toz Metalurjisi İle Üretilen Cu Matrisli Nano Kompozitlerin Elektrik İletkenliği Ve Aşınma Dirençlerinin İncelenmesi* Yüksek Lisans Tezi, Karabük Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [3]. Albayrak M.G., *Karbon Nanotüp Katkılı Çinko Oksit Kompozitlerin Üretimi Ve Elektriksel Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [4]. Yuca N., *Karbon Nanotüplerin Çeşitli Yöntemlerle Saflaştırılması* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 2010.
- [5]. Gültekin D., *Metal Matrisli Kompozit Fren Diski, Balatası Üretimi Ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2007.
- [6]. Kok M., Production And Mechanical Properties Of Al₂O₃ Particle-Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites. *Journal Of Materials Processing Technology*, 2005,61,(3),pp. 381-387.
- [7]. Karadağ M., *B₄C Partikül Takviyeli Bakır Matrisli Elektrik İletken Kompozit Üretimi* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [8]. Öztürk M., *SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [9]. Process Development, Online, <http://Lignofuel.Wordpress.com>. (14.02.2011)
- [10]. Eşref A., Türkiye'de Sağlık Riski Oluşturan Krizotil Ve Amfibol Asbest İle Eriyonit Minerali İçeren Kayaların Dağılımı, (2008). *Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı* içinde, (ss.19-24)-975
- [11]. Roy M., Alternative Perspectives On "Quasi-Crystallinity": Non-Uniformity And Nanocomposites. *Materials Letters*. 1986; 4(8-9):323-328.
- [12]. Kamigaito O., What Can Be Improved By Nanometer Composites? *Journal Of Japan Society Of Powder Metallurgy*. 1991; 38:315-321.
- [13]. Iijima S., Helical Microtubes Of Graphitic Carbon. *Nature*. 1991, 354, (6348), 56-58.
- [14]. Dalton A., Coolins S., Muñoz E., Razal JM., Ebron VH., Ferraris. JP., Super-Tough Carbon-Nanotube Fibres: These Extraordinary Composite Fibres Can Be Woven Into Electronic Textiles. *Nature*. 2003; 423(6941):703-703.
- [15]. Gangopadhyay R, Amitabha D. Conducting Polymer Nanocomposites:A Brief Overview. *Chemistry Of Materials*. 2000; 12(7): 608-622..
- [16]. Tjong S. C., Wang G.S., High-Cycle Fatigue Properties Of Al-Based. Composites Reinforced With In Situ TiB₂ And Al₂O₃ Particulates. *Materials Science And Engineering*, 2004; 386(1-2):pp. 48-53.
- [17]. Arole M., Fabrication Of Nanomaterials By Top-Down And Bottom-Up Approaches – An Overview, *Material Science (Special Issue)* 2014, (1), 89-93.
- [18]. Richard B., The Elements Copper, *Marshall Cavendish Corporation*. 2012, (35), 312-321.
- [19]. Kont M., (1997) Demir Dışı Metallerin (Cu, Pb, Zn, Al) Üretimi, Tüketimi Ve Ticareti, 9. *Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı* içinde, (c.2, ss.1025-1051), İstanbul.
- [20]. Özorak C., Bakır Yüzeyinde Üretilen Bakır Karbür Yüzey Kompozitlerinin Fiziksel, Mekanik Ve Korozyon Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [21]. Efe G., SiC Takviyeli İletken Bakır Kompozitlerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [22]. Firkowska I., Effect Of Carbon Nanotube Surface Modification On Thermal Properties Of Copper-CNT Composites, *Journal Of Dynamic Article*, 2011, (21), 17541-17546.

- [23]. Jaworek A. Nanoparticule Production, *Appl. Phys. Lett.*, 2004,(5) 85-88.
- [24]. Kyung K., Hardness And Wear Resistance Of Carbon Nanotube Reinforced Cu Matrix Nanocomposites, *Elsevier, Materials Science And Engineering*, 2007 449-451 pp. 46-50.
- [25]. Misra A. Horita Z., Strong And Ductile Nanostructured Cu-Carbon Nanotube Composite, *Applied Physics Letters*, 2009, (7) pp. 95-97.
- [26]. Şenyıldız D., Bakır Yüzeyinde Kimyasal Buhardan Çöktürme Yöntemi İle Grafen Büyütmede Süreç Parametrelerinin Etkilerinin Araştırılması, *Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi*, 2018.
- [27]. Debye P., Interferenzen An Regellos Orientierten Teilchen Im Röntgenlicht. I., Nachrichten Von Der Gesellschaft Der Wissenschaften Zu Göttingen, Math. Klasse (1916) 1-15.
- [28]. Stankovich D., Graphene-Based Composite Materials, *Nature*, 2006, 442 (7100), pp.282-286.
- [29]. Darsono N., Milling And Dispersion Of Multi-Walled Carbon Nanotubes In Texanol, *Appl. Surf. Sci.* 2008, 254 (11),3412-3419.
- [30]. Brodie B., On The Atomic Weight Of Graphite, *Philos. Trans. R. Soc. London.* 149 (1859) 249-259..
- [31]. Hassel O., Über Die Kristallstruktur Des Graphits., *Zeitschrift Für Phys.* 25 (1924) 317-337..
- [32]. Wallace P. The Band Theory Of Graphite, *Phys. Rev.* 71 (1947) 622-634.
- [33]. Zhang Y., Fabrication And Electric-Field-Dependent Transport Measurements Of Mesoscopic Graphite Devices, *Appl. Phys. Lett.* 86 (2005) 1-3.
- [34]. Novoselov, F., Electric Field Effect In Atomically Thin Carbon Films, *Science* (80-.). 306 (2004) 666-669.
- [35]. Y. Wu, Strengthening Behavior Of Particulate Reinforced Mcs, *Scr. Metal.* 27 (2) (1992) 173-178.
- [36]. G. Ömer, Oksit Takviyeli Bakır Kompozitin Mekanik Alaşım Yöntemi İle Üretilmesi Ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Firat Üniversitesi*, 2006.
- [37]. Suryanarayana B., The Science And Technology Of Mechanical Alloying, *Materials Science And Eng.*, A304-306, 2001, pp. 151-153.
- [38]. Suryanarayana, B, Mechanically Alloyed Nanocomposites, *Progress In Materials Science*, 2013 (58) pp. 383-502.
- [39]. Lai L., Mechanical Alloying, *Kluwer Academic Publishers*, 1998.
- [40]. Öztürk C.O., Karbon Nano Yapılarla Takviyelendirilen Polimer Kompozitlerin Üretimi Ve Özelliklerinin Araştırılması, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [41]. Ferrari J., Raman Spectrum of Graphene And Graphene Layers, *Physical Review Letters*, 2006, 97, pp.187-401.
- [42]. S. Cho, Multiwalled Carbon Nanotubes As A Contributing Reinforcement Phase For The Improvement Of Thermal Conductivity In Copper Matrix Composites, *Scripta Materialia*, 2010, (63), 375-378.
- [43]. Zhang L., Sliding Wear Behavior Of Copper-Based Composites Reinforced With Graphene Nanosheets And Graphite, *Trans. Nonferrous Met. Soc.* , 2015, (25), 3354-3362.
- [44]. K. Rajkumar, Tribological Studies On Microwave Sintered Copper-Carbon, *Wear*, 2011, (270) pp. 613-621.
- [45]. Biercuk M.J., Llaguno M.C., Radosvljevicm H.J. Carbon Nanotube Composites For Thermal Management. *Applied Physics Letters*. 2002; 80(15):2767-2769.
- [46]. Ounaies Z., Park C., Wise K.E., Siochi E.J., Harrison J.S., Electrical Properties Of Single Wall Carbon Nanotube Reinforced Polyimide Composites. *Composites Science And Technology*. 2003, 63(11), 1637-1646.

- [47]. Weisenberger MC, Grulke EA, Jacques D, Ramtall T, Andrews R. Enhanced Mechanical Properties Of Polyacrylonitrile: Multiwall Carbon Nanotube Composite Fibers. *Journal Of Nanoscience And Nanotechnology*. 2003; 3(6),535-539.
- [48]. Ray S., Bousmina M., Biodegradable Polymers And Their Layered Silicate Nanocomposites: İn Greening The 21st Century Materials World. *Progress İn Matererials Science*. 2005, 50, (8), pp. 962-1079.
- [49]. Pandey J.K., Kumar A.P., Misra M., Mohanty A.K., Drzal L.T., Singh R.P., Recent Advances İn Biodegradable Nanocomposites. *Journal Of Nanoscience And Nanotechnology*. 2005, 5, (4), 497-526.
- [50]. Gürmen, S., Ebin, B. (2008). Nanopartiküller Ve Üretim Yöntemleri-1, Metalurji Dergisi, 150, 31-38.
- [51]. Kellar J. (2006). Functional Fillers And Nanoscale Minerals, Littleton, Colorado : Society For Mining, *Metallurgy And Exploration* 13,(97), 247-255.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Harun Katmer

Doğum Tarihi :19.11.1991

E-mail :harunkatmer@outlook.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Makine Mühendisi	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	2010-2014
Yüksek Lisans	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler A.B.D.	Mersin Üniversitesi	2017-2019
Doktora			

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.
- 2.
- 3.