



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ



**KARBON BORULARDA NANO KATKILARIN
MEKANİK VE TERMAL
KARAKTERİZASYONA ETKİSİ**

Hasan Hüseyin TAŞER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hasan Hüseyin TAŞER tarafından hazırlanan “Karbon Borularda Nano Katkılarının Mekanik Ve Termal Karakterizasyona Etkisi” adlı tez çalışması 16/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

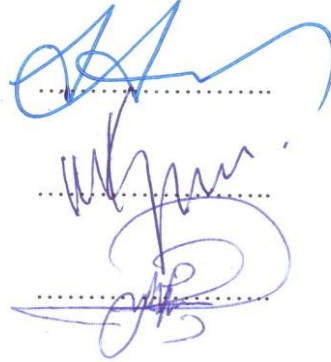
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi M. Turan DEMİRCİ

İmza



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 191331002 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Hasan Hüseyin TAŞER

Tarih: 16/10/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARBON BORULARDA NANO KATKILARIN MEKANİK VE TERMAL KARAKTERİZASYONA ETKİSİ

Hasan Hüseyin TAŞER

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Mehmet KAYRICI

2019, 68 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI
Dr. Öğr. Üyesi M. Turan DEMİRCİ**

Karbon Borularda Nano Katkıların Mekanik ve Termal Karakterizasyona Etkisi adlı bu yüksek lisans tezinde; sarım makinası, boru kütleme cihazı, otoklav ile minimum (%2 ve daha az) boşluk içeren kaliteli karbon fiber kumaş sarımlı karbon boru üretmek ve aynı zamanda bunlara reçine içine homojen bir şekilde karbon nanotüplerin dispersiyonu konusunda deneysel çalışmalar yapmaktır. Bu çalışmada karbon nanotüplü ve nanotüpsüz reçine, karbon kumaşa emdirilerek çelik boru kalıba 10 kat sarılmıştır. Bu şekilde karbon nanotüpün fiber matris ara yüzeylerinde ve katmanlar arasındaki arafaz yüzeyinin mekanik ve termal dayanıma etkisi edilmesine çalışılacaktır. Bu elde edilen karbon nanotüp takviyesiz karbon fiber boruların, reçine içerisine karbon nanotüp disperse edilen ve arayüzey takviyesi oluşturulan borularla arasındaki mukavemet artışı kıyaslanacaktır.

Karbon fiber kumaş malzemeye homojen bir şekilde dağılımı sağlanan karbon nanotüplerin kompozit boruların mekanik karakterizasyonuna etkisi düşey darbe deneyi ile, termal karakterizasyona etkisi de TGA ve DSC deneyleriyle incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Sarım Makinesi, Karbon Nanotüp, Otoklav, Karbon Fiber Kumaş, Düşey Hızlı Darbe Deneyi, Termal Gravimetre Analizi, Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi

ABSTRACT

MS THESIS

Effect of Nano Additives on Mechanical and Thermal Characterization of Carbon Pipes

Hasan Hüseyin TAŞER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: DR.ÖĞR.Üyesi Mehmet KAYRICI

2019, 68 Pages

Jury

**Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYRICI
Dr. Öğr. Üyesi M. Turan DEMİRCİ**

In this master's thesis titled The Effect of Nano Additives on Mechanical and Thermal Characterization of Carbon Pipes; winding machine, pipe curing device, autoclave with a minimum (2% and less) of high quality carbon fiber fabric winding carbon pipes to produce, as well as homogeneous dispersions of carbon nanotubes into them to make experimental studies. In this study, carbon nanotube and non-nanotube resin was absorbed into carbon fabric and steel pipe was wrapped to mold 10 times. In this way, it will be tried to effect the mechanical and thermal strength of the interphase surface between the fiber matrix interfaces and the layers of carbon nanotube. The strength increase of these obtained carbon nanotube non-reinforced carbon fiber pipes will be compared with those pipes which are dispersed with carbon nanotube into the resin and interfaced.

The effect of carbon nanotubes homogeneously distributed on carbon fiber fabric material on mechanical characterization of composite pipes will be examined by vertical impact test and effect on thermal characterization by Thermal gravimetric analysis and Differential Scanning Calorimeter Analysis tests.

Keywords: Winding Machine, Carbon Nanotube, Autoclave, Carbon Fiber Fabric, Vertical Fast Impact Test, Thermal Gravimetric Analysis, Differential Scanning Calorimeter Analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	2
3. GENEL BİLGİ.....	8
3.1. Karbon Nanotüp.....	8
3.1.1. Karbon nanotüp yapısı	8
3.1.2. Karbon nanotüp geometrisi.....	8
3.1.2.1. Kiral vektörü	9
3.1.3. Karbon nanotüp sınıflandırması.....	11
3.1.3.1. Tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT).....	12
3.1.3.2. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)	13
3.1.5. Karbon nanotüp sentezleme yöntemleri	16
3.1.5.1. Lazer aşındırma tekniği	16
3.1.5.2. Ark boşalım tekniği	17
3.1.5.3. Kimyasal buhar birikim tekniği	18
3.1.6. Karbon nanotüp mekanik özellikleri.....	18
3.1.7. Karbon nanotüp termal özellikleri	19
3.2. Otoklav.....	20
3.2.1. Güvenlik sistemi	21
3.2.2. Sıcaklık kontrolü.....	22
3.2.3. Basınç kontrolü	22
3.2.4. Vakum kontrolü	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
4.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	24
4.2. Numunelerin Üretim Süreci.....	25
4.2.1. ÇDKNT takviyesiz karbon fiber kumaş sarımlı numunelerin üretim süreci	25
4.2.2. ÇDKNT takviyeli karbon fiber kumaş sarımlı numunelerin üretim süreci ..	27
4.3. Numunelerin Boyutlandırılması	29
4.4. Düşük Hızlı Darbe Testi	30
4.5. Termal Gravimetre Analizi Ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi	31
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	33

5.1. Mekanik Karakterizasyon Test Sonuçları.....	33
5.1.1. Düşük hızlı darbe deneyi deforme numuneleri.....	39
5.1.2. Elektron taramalı mikroskop (SEM) sonuçları.....	41
5.2 Termal Karakterizasyon Test Sonuçları	45
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
7. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
TPa	Terapascal
Pa	Pascal
Fe(CO) ₅	Demir Pentakarbonil
C ₂ H ₂	Asetilen
cm ³	Santimetreküp
°C	Santigrat
nm	Nanometre
\vec{C}_h	Kiral Vektörü
cm	Santimetre
m	Metre
V	Volt
DC	Doğru Akım
mm	milimetre
W	Güç
gr	Gram
J	Joule
µm	Mikrometre
Ω	Direnç
SiC	Silisyum Karbür
Kısaltmalar	Açıklama
KNT	Karbon Nanotüp
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
ÇDKNT	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
TDKNT	Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CTP	Cam Takviyeli Plastik
VARTM	Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama

GNP	Grafen Nano Trombosit
CFRP	Karbon Fiber Takviyeli Polimer
PU	Poliüretan
TGA	Termal Gravimetre Analizi
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
SPM	Taramalı Uç Mikroskobu
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
BİTAM	Bilim Ve Teknoloji Uygulama Ve Araştırma Merkezi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.Karbon Allotropları (a)Elmas, (b)Grafit, (c)Fulleren (aprendendoabiologar.blogspot, 2015)	8
Şekil 2.Karbon Nanotüp Yapısı (Saeed, 2017).....	8
Şekil 3.Koltuk tip, Zig-zag tip ve Kiral tip (Sun, 2010)	9
Şekil 4.Zig-zag Tip KNT Yapısı.....	10
Şekil 5.Koltuk Tip KNT Yapısı.....	10
Şekil 6.Kiral Tip KNT Yapısı.....	11
Şekil 7.(a)Tek Duvarlı Karbon Nanotüp, (b)Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (Yetim, 2011).....	12
Şekil 8.Tek Duvarlı Karbon Nanotüp Yapısı (ClipDealer, 2011)	12
Şekil 9.Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Yapısı	13
Şekil 10.TDKNT ve ÇDKNT Yapılarının Elektronik Mikroskop Görüntülerinin Karşılaştırılması	14
Şekil 11.Otoklav Prosesi.....	21
Şekil 12.Karbon Fiber Kumaş Sarımı.....	26
Şekil 13.Vakum Torbalama Yöntemi	26
Şekil 14.Otoklav Fırını	27
Şekil 15.a)Mekanik Karıştırıcı, b)Ultrasonik Karıştırıcı	28
Şekil 16. 80°C ve 6 bar Basınçta Otoklav Fırını.....	28
Şekil 17. KNT Takviyesiz Darbe Numuneleri.....	29
Şekil 18. KNT Takviyeli Darbe Numuneleri.....	29
Şekil 19. KNT Takviyesiz TGA/DSC ve SEM Numuneleri	29
Şekil 20. KNT Takviyeli TGA/DSC ve SEM Numuneleri	29
Şekil 21.PCB Quartz ICP Force Sensor Modeli	30
Şekil 22. NI Signal Express Yazılımı	31
Şekil 23.TGA/DSC Test Düzeneği.....	31
Şekil 24. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J’de Kuvvet-Zaman Grafiği.....	33
Şekil 25. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J’de Kuvvet-Zaman Grafiği.....	33
Şekil 26. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J’de Kuvvet-Zaman Grafiği.....	34
Şekil 27. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J’de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği	34
Şekil 28. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J’de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği	35
Şekil 29. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J’de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği	35
Şekil 30. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J’de Kuvvet-Yer Değiştirme Grafiği	36
Şekil 31. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J’de Kuvvet-Yer Değiştirme Grafiği	36
Şekil 32. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J’de Kuvvet-Yer Değiştirme Grafiği	37
Şekil 33. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J’de Enerji-Zaman Grafiği.....	37
Şekil 34. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J’de Enerji-Zaman Grafiği.....	38
Şekil 35. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J’de Enerji-Zaman Grafiği.....	38
Şekil 36. KNT Takviyesiz Eksenel Yönde Dış Yüzey Hasar Mekanizması	39
Şekil 37.KNT Takviyesiz Boru Et Kalınlığındaki Hasar Mekanizmaları	40
Şekil 38. KNT Takviyesiz Radyal Yönde Dış Yüzey Hasar Mekanizmaları	39
Şekil 39.KNT Takviyeli Boru Et Kalınlığındaki Hasar Mekanizmaları	41
Şekil 40. KNT Takviyesiz Numunenin X250 SEM Mikrografi.....	42
Şekil 41.KNT Takviyesiz Numunenin X500 SEM Mikrografi.....	42
Şekil 42.KNT Takviyesiz Numunenin X1000 SEM Mikrografi.....	43
Şekil 43.KNT Takviyeli Numunenin X250 SEM Mikrografi	43
Şekil 44. KNT Takviyeli Numunenin X500 SEM Mikrografi	44
Şekil 45. KNT Takviyeli Numunenin X1000 SEM Mikrografi	44

Şekil 46.KNT Takviyesiz Numunenin TGA Sıcaklık Skalası-Kütle Değişim Miktarı Grafığı.....	45
Şekil 47.KNT Takviyesiz Numunenin TGA-DSC Sıcaklık Skalası Grafığı	46
Şekil 48.KNT Takviyesiz Numunenin TGA-DSC Sıcaklık-Zaman Skalası Grafığı.....	46
Şekil 49.KNT Takviyeli Numunenin TGA Sıcaklık Skalası-Kütle Değişim Miktarı Grafığı.....	47
Şekil 50.KNT Takviyeli Numunenin TGA-DSC Sıcaklık Skalası Grafığı	47
Şekil 51.KNT Takviyeli Numunenin TGA-DSC Sıcaklık-Zaman Skalası Grafığı.....	48



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.KNT Tiplerinin İletkenlikleri (Tetik, 2012)	11
Çizelge 2.TDKNT Özellikleri (Akbulut, 2014).....	13
Çizelge 3.Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Özellikleri	14
Çizelge 4.KNT'lerin Uygulama Alanları	15
Çizelge 5.Karbon Nanotüplerin Teorik ve Deneysel Özellikleri (Mittal, 2011)	19
Çizelge 6.KNT'lerin ve Bazı Materyallerin Mekanik Özellikleri.....	19
Çizelge 7.Çeşitli Maddelerin Isıl İletkenlikleri.....	20
Çizelge 8.Kullanılan Karbon Fiber Kumaş Özellikleri	24
Çizelge 9.Kullanılan Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Özellikleri.....	25
Çizelge 10.Kullanılan Epoksi Reçine Özellikleri	25



1. GİRİŞ

Teknoloji, canlıların gereksinimlerini karşılamak ve daha kolay ulaşılabilir hale getirmek amacıyla devamlı gelişmektedir. Bu gelişmelerden biri de boyutların küçültülmesi ve malzeme özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olan nanoteknolojidir.

Nanoteknoloji, spesifik uygulamalarda nano ölçekli fonksiyonel malzemeler oluşturma yeteneği ile ilgilidir. Atomik ölçekte yapılan çalışmalar olarak da tanımlanabilir. Elektronik cihazlar, katalizörler, sensörler gibi küçük parçaların gerektirdiği ürünler için kullanılmaktadır. Bilim insanlarının malzemenin yapı taşlarında atomik düzeyde araştırma ve geliştirme yapmaları, malzemeye üstün özellikler kazandırılması ile birlikte bu alana olan ilginin artmasını ve teknolojisinin gelişmesini sağlamıştır.

Karbon nanotüpler (KNT'ler), 1991 yılında Japonya'nın Tsukuba kentindeki NEC Corporation laboratuvarında Sumio Iijima tarafından keşfedilen yeni bir karbon şeklidir. Keşfedilmesinden bu yana, KNT'ler olağanüstü özellikleri nedeniyle yoğun bir bilimsel araştırmanın konusu olmuştur. KNT sentezleme yöntemlerinden biri olan ark boşalması tekniği ile elde edilmiş KNT'nin allotropu olan fulleren yapının Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) görüntüsünde, Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT) olarak adlandırılan bir yapı gözlemlenmiştir. Sonra ki araştırmalar sonucu, grafit elektrotuna kobalt gibi bazı geçiş metallerinin eklenmesi sonucunda Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (TDKNT) elde edilmiştir.

KNT'ler keşfedildiklerinden itibaren daha sağlam, daha dayanıklı, daha kullanışlı ve daha uzun ömürlü malzemeler imal etme isteği gün geçtikçe artmaktadır (Zhou, 2007). Takviye malzemesi olarak kullanılır olması termal, elektriksel, optik ve mekanik gibi birçok dalda araştırmalara konu olmuştur (Tarakçıoğlu, 2015).

Bu araştırmada ise; karbon nanotüplerin düzenli karbon fiber kumaş katmanlar arasına yayılımıyla özellikle borularda darbe dayanımına etkisi incelenmiştir. Karbon fiber kumaş malzemedan üretilen borular karbon nanotüp katkılı ve karbon nanotüp katkısız olarak iki şekilde üretilmiş, düşük hızlı darbe testine tabii tutularak meydana getirilen darbe hasarının her iki durumdaki yayılımı yorumlanmıştır. Beklentiler % 0,3 karbon nanotüp takviyesinin homojen bir şekilde malzemeye uygulanması halinde malzemede çatlak ilerlemesinde önemli bir direnç oluşturacağı yönündedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yapılan çalışmalar araştırıldığında takviye malzemesi olarak kullanılan KNT'lerin özellikleri, KNT'lerle üretilen malzemelerin mekanik, termal ve iletkenlik gibi özellikleri, üretilen malzemelerin çekme, basma, patlatma, ısı ve elektrik iletkenlikleri gibi deneysel konulara sıklıkla yer verildiği gözlemlenmiştir. Araştırılan bu çalışmalar aşağıda gösterilmiştir.

Xia ve arkadaşları (2002), çalışmalarında çok katmanlı filament sarımlı borular için yorulma tepkimelerini incelemişlerdir. Numunelerin sarım açılarına göre değişiklik gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Sarım açısının gerilme değişimi üzerindeki etkisi, karbon elyafı (T300 / 934) için cam elyafından (E-cam / epoksi) çok daha fazla olduğunu, çünkü karbon elyaf malzemesi daha büyük anizotropik özelliklere sahip olduklarını gözlemlemişlerdir (Xia, Takayanagi & Kemmochi, 2002).

Lee ve arkadaşları (2002), çalışmalarında 750-950 °C'de demir pentakarbonil ve asetilen karışımlarının katalitik reaksiyonunu kullanarak yüksek saflıkta KNT'lerin sentezlenmesini incelemişlerdir. Su soğutmalı enjektörsüz tek bir fırın sistemi kullanarak KNT'lerin yüksek verimliliğini elde etmek için dakikada 2000 ile 3000 cm^3 arasında değişen daha yüksek bir Ar taşıyıcı gaz akışı kullanmışlardır. KNT'lerin uzunluğunu ve çapını ölçmek için bir Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. KNT'lerin yapısını ve kristallliğini analiz etmek için bir Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) kullanmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda reaktörün iç ve dış yüzeyinde tortuların bulunmamasının yanı sıra, KNT'lerin uzunluğu ve çapının homojen olduğunu gözlemlemişlerdir. Herhangi bir karbonlu partikül izi bırakmayan yüksek saflıkta KNT üretimi gerçekleştirmişlerdir (Lee CJ., Lyu SC., Kim HW., Park CY. & Yang CW., 2002).

Tarakçıoğlu ve arkadaşları (2001), bu çalışmalarında Cam Takviyeli Plastik (CTP) / Epoksi filament sarımlı boruların yüzey çatlaklarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Takviyeli borular açık uçlu iç basınca maruz bırakılmış ve mekanik özelliklerini gözlemlenmiştir. Yüzey çatlaklarına sahip boruların dayanım değerlerini, iç basınç test sonuçları ve teorik sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yorulma testleri, ASTM-D2584 uyarınca yapılmış ve reçine matrisini 600° C'de otoklav fırınında kürelemişlerdir. Yapılan testler sonucunda sırasıyla ± 45 , ± 55 ve $\pm 75^\circ$ sarım açılı boruların mukavemet değerleri 252, 439 ve 997 MPa olarak bulmuşlardır (Tarakçıoğlu, Akdemir & Avcı, 2001).

Tarakçıoğlu ve arkadaşları (2005), filament sarımlı kompozit borularının alternatif iç basınç altındaki yorulma davranışlarını incelemiştir. CTP / Epoksi takviyeli boruların yüzey çatlağına etkisini ve yorulma davranışlarını incelemiştir. Testleri ASTM D-2992 standartlarına göre yapmışlardır. Statik iç basınç koşulları için numunelerin elastisite modülünün 23.2 GPa olduğunu gözlemlemiştir. Yorulma seviyesini yüksek seviyeden düşük seviyeye düşürerek çatlakların azaldığını gözlemlemiştir (Tarakçıoğlu, Gemi & Yapıcı, 2005)

Bekyarova ve arkadaşları (2007), KNT'li ve KNT'siz olarak, takviye malzemesi dokuma karbon kumaş olan kompozit malzemelerin üretimini incelemiştir. Ürünlerin mekanik ve elektriksel özelliklerini karşılaştırmışlardır. Matris malzemesi olarak kullanılan epoksi sistem ile üretilen karbon dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemeler elektroforez yöntemi kullanılarak üretilmişlerdir. Ürünler nihai halini almadan önce içerisinde ki hava boşlukları için Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama (VARTM) yöntemi kullanılarak hava kabarcıklarının oluşumunu önlemiştir. KNT'li kompozitlerin, KNT'siz kompozitlere kıyasla kayma mukavemetinin yaklaşık %30 oranında arttığını gözlemlemiştir. Elektriksel özellik bakımından da önemli ölçüde geliştirilmiş düzlem dışı elektriksel iletkenlik gösterdiğini gözlemlemiştir (Bekyarova, Thostenson, Yu, Kim, Gao & Tang, 2007).

Li ve arkadaşları (2008), KNT takviyeli epoksi reçine sistemi ile üretilen malzemelerin mekanik özelliklerini çekme testleri uygulayarak incelemiştir. SEM görüntüleri ile malzemenin deformasyonunu ve nanotüplerin matris içerisinde birbirlerine kenetlenmelerini gözlemlemiştir. Epoksi reçine sisteminde mekanik karıştırıcı kullanmışlardır. Kürlenmesi için otoklav fırınında 120 °C de 2 saat boyunca bekletmişlerdir. Yapılan çekme testi sonucunda numunelerin gerilme kuvvetlerinin arttığını gözlemlemiştir. Ağırlıkça sırasıyla %1, %3 ve %5 Epoksi / KNT karışımli numunelerin çekme dayanımlarının %25,4, %88,0, %103,5 attığını gözlemlemiştir (Li, Lau & Yin, 2008).

Yu ve arkadaşları (2008), çalışmalarında karbon nanotüp ağırlıklı kısım ve boşluklarının bileşik kırılma tokluğu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ağırlıkça %1 ve %3 ÇDKNT / Epoksi kompozitlerinin ortalama kırılma tokluğu, sırasıyla, saf epoksinin 1.29 ve 1.62 katıdır. ÇDKNT'lerin epoksi içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için 180 dakika boyunca karıştırılmış ve 15 dakika bir fırında vakumlanmış ve daha sonra 5 dakika boyunca atmosferik basınca bırakılmıştır. Yapılan testler sonucunda kırılma toklukları sırasıyla ağırlıkça %1 ve %3 ÇDKNT / Epoksi olan

kompozitlerin 27,91 MPa'dan 39,97 MPa'ya ve 31,17 MPa'dan 44,85 MPa'ya yükseldiğini gözlemlemişlerdir (Yu, Zhang & He, 2008).

Zhou ve arkadaşları (2008), takviye malzemesi karbon kumaş olan ve matris malzemesi ÇDKNT ile epoksi sisteminin karışımı olacak şekilde üretilen malzemelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. İki aşamalı olan bu çalışmada başlangıçta kürlenme için uygun olan F tipi epoksi ile ağırlıkça %0,3 oranında ÇDKNT bir beherde ultrasonik karıştırıcıda 1 saat boyunca karıştırmışlardır. Karışım esnasında beher soğutulmak için buz banyosuna konulmuş ve bir süre bekletilmiştir. Karışımın içerisinde oluşacak hava kabarcıklarını önlemek amacıyla Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi (VARTM) kullanılmıştır. Kabarcıklar tamamen çıkarıldıktan sonra 4 saat boyunca 120 °C'de otoklav fırınında kürlenmiş ve malzemenin sertleşmesini sağlamışlardır. Elde edilen test sonuçlarına göre geçiş sıcaklığı, ayrışma sıcaklığı ve eğilme direncinin kompozit malzeme yapısına yapılan karbon nanotüp katkısı ile arttığını gözlemlemişlerdir (Zhou, Pervin, Lewis & Jeelani, 2008).

Zhang ve arkadaşları (2008), bu çalışmalarında çevresel sıcaklığın Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin (ÇDKNT) mekanik özellikleri üzerindeki etkisi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Zayıf bağlar olarak bilinen van der Waals bağları en yakın komşu boru katmanları arasındaki kuvvetler ilk olarak doğrusal olmayan yaylar kullanılarak simüle edilmiştir. Pauli modeline dayanarak farklı çevre sıcaklıklardaki kesit sertliği parametreleri, bağ germe, bağ bükme açısı ve burulma dayanım kuvvetleri sabitlerinin ortam sıcaklığına bağlı fonksiyonlar olarak tanımlamışlardır. Young modülünün ve çok duvarlı karbon nanotüp oranlarının, çevre sıcaklıklarının artmasıyla birlikte önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir. Young'ın çok duvarlı Zigzag KNT modülünün, tüp kiralitesine bağlı olarak çevresel sıcaklıklara karşı hassas olduğunu gözlemlemişlerdir (Zhang, Chen & Wang, 2008).

Ochelski ve arkadaşları (2009), çalışmalarında karbon/epoksi ve cam/epoksi kompozitlerin enerji emiş kabiliyetini karşılaştırmışlardır. Lif takviye türü, yapı tipi, örneklerin geometrisi ve şekli, bir tabakadaki liflerin oryantasyonu ve tabakaların istif sırası emiş kabiliyetini etkileyen faktörler olarak belirlemişlerdir. Numuneler için deneysel sonuçlara dayanarak, karbon fiberlerle güçlendirilmiş epoksi kompozitten yapılmış numuneler için en büyük Absorbe Edilen Enerjinin (SAE) elde edildiğini gözlemlemişlerdir (Ochelski & Gotowicki, 2009).

Gharagozlu ve arkadaşları (2010), çok duvarlı karbon nanotüpler asit modifikasyonu ile değiştirilmiş ve hem saf hem de işlenmiş çok duvarlı karbon

nanotüpler ile takviye edilmiş epoksi reçinenin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Saf ve işlenmiş ÇDKNT'nin ağırlıkça farklı yüzdeleri (ağırlıkça%0,1-0,3) ayrı ayrı epoksi polisül reçinesinde dağılmış ve daha sonra kürlenme maddesi ile karıştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda epoksi polisülfon numunelerinin mekanik özelliklerinde işlem görmüş asit ile işlem görmemiş ÇDKNT'ler arasında önemli bir fark olduğunu gözlemlemişlerdir. %0,1-0,3 asitle takviye edilmiş ÇDKNT'lere sahip numunelerde, Young modülünün 458'den 723 MPa'ya, çekme dayanımının 5,29'dan 8,83MPa'ya ve kırılma geriliminin %0,16'dan %0,25'e yükseldiğini gözlemlemişlerdir (Gharagozlu, Javid & Hadavand, 2010).

Yavari ve arkadaşları (2010), takviye malzemesi olarak epoksi reçine sistemli tek duvarlı karbon nanotüp, çok duvarlı nanotüp ve Grafen Nanotrombosit (GNP) dolgulu kompozitlerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda grafen dolgulu kompozitlerin KNT dolgulu kompozitlere oranla mekanik özelliklerinin daha fazla arttığını gözlemlemişlerdir. Takviye malzemeleri eklendikten sonra GNP'nin elastisite modülünde, katkısız epoksiye göre %31 oranında artış olduğunu gözlemişlerdir. GNP dolgulu kompozitin çekme mukavemetinde %40 ve çok duvarlı karbon nanotüp dolgulu kompozitin çekme mukavemetinde %14 oranında artış olduğunu gözlemlemişlerdir (Yavari, Rafiee, Yu & Koratkar, 2010).

Tang ve arkadaşları (2011), çalışmalarında epoksi matrisindeki ozonla muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin kırılma mekanizmalarını ve güçlendirici etkilerini incelemişlerdir. ÇDKNT'lerin ozon takviyesiyle, reçinenin mukavemetini ve kırılma tokluğunu artıran, epoksi matris ile daha iyi bir dağılma ve daha güçlü bir ara yüzey bağı için yardımcı olduğunu gözlemlemişlerdir. ÇDKNT'ler ilk önce epoksi reçinesi ile yüksek hızda bir karıştırıcı ile karıştırılarak ağırlıkça %2 nanotüp içeren numuneleri hazırlamışlardır. Hazırlanan numuneleri otoklav fırınında kürlenmişlerdir. Yapılan testler sonucu, elastik modülü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve kırılma tokluğu, sırasıyla yaklaşık 2.87 GPa, 73 MPa, %3 olarak belirlemişlerdir (Tang, Zhang, Han & Wu, 2011)

Siddiqui ve arkadaşları (2011), çalışmalarında Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) imalatına KNT'lerin takviye edilmesiyle numunelerin mekanik özelliklerini ve kür parametrelerini incelemişlerdir. Epoksi reçineleri ile ağırlık olarak %0.3, %0.5, %0.7 ve %1.0 KNT içeren dört tip reçine karışımı hazırlanmıştır. Kayma karışım hızının, epoksi tipinin ve KNT işlevselleşmesinin etkileri viskozite değişimleri üzerine gözlemlenmiştir. KNT'nin, epoksi reçinesi ve CFRP karbon fiber kumaşlarının

kürlenme davranışları üzerindeki etkileri, 10 ° C / dk'lık bir rampa hızında dinamik diferansiyel tarama kalorimetre denemesi (Q1000, TA cihazı) kullanılarak gözlemlenmişlerdir. Yapılan testler sonucunda Tg'deki kayda değer bir artış, KNT içeriğinin ağırlıkça %0.7'ye kadar artırılmasıyla gözlemlenmişlerdir (Siddiqui NA., Khan SU., Ma PC., Li CY., Kim JK., 2011).

Soliman ve arkadaşları (2012), takviye malzemesi olarak karbon fibere ÇDKNT dispersiyonu ile üretilen kompozitlerin düşük hızda darbe ve düzlemsel kayma karakterizasyonlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada 3 farklı tipte hazırlanmış (%0.1, 0.5 ve 1.0) epoksili numune üretilmiş ve yapılan testler sonucu oluşan farklar incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda malzemelerin dayanıklılıklarının %39, %51 ve %121 oranında arttığını gözlemlenmişlerdir (Soliman, Al-Haik & Taha, 2012).

Loos ve arkadaşları (2013), Poliüretan (PU) kompozitlerin, KNT takviyesiyle döngüsel yorulma davranışlarını ve gerilme özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Test numunelerinin hazırlanması için, ÇDKNT'ler yüksek kesmeli bir Ross karıştırıcısı kullanılarak poliyol içinde dağıtılmıştır. Hava kabarcıklarının engellenmesi için vakum torbalama yöntemi kullanılmış ve hava kabarcıklarının oluşmasını önlemişlerdir ve son olarak numuneleri 90 ° C'de 6 saat süreyle kürlemişlerdir. Yapılan testler sonucunda ağırlıkça % 0.1 KNT'lerin eklenmesi, süneklik ve tokluğu arttırdığını gözlemlenmişlerdir. KNT'lerin PU sistemlerinin yorulma ömrü üzerindeki etkilerini incelemek için, temiz PU ve KNT / PU kompozitleri dört farklı tepe yükleme seviyesi altında test edilmiş ve sonuçları sırasıyla 30, 40, 45 ve 50 MPa olduğunu gözlemlenmişlerdir (Loos, Feke, Unal & Younes, 2013).

Korkmaz ve arkadaşları (2014), ürettikleri kompozit malzemelerin mekanik ve termal karakterizasyonlarını incelemişlerdir. İki aşamalı olarak yaptıkları bu çalışmada başlangıçta matris malzemesi olarak epoksi reçine sistemini hazırlamışlardır. Hazırlanan bu sistem mekanik karıştırıcı ile karıştırmışlardır. Sonra ki aşamada ise hazırladıkları sisteme ağırlıkça %0,3 KNT dispersiyonu uygulayarak takviye malzemesi olan karbon elyaf kumaşa elle yatırma yöntemi ile emdirme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ürünler otoklav fırında belli bir süre kürlendikten sonra kompozit numuneler son halini almıştır. Yapılan çalışma sonucunda mekanik özellikleri açısından çekme, eğilme ve düzlem içi kayma testleri, termal özellikleri açısından Termal Gravimetre Analizi (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre analizleri (DSC) gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara KNT dispersiyonu uygulanan reçine sistemi ile hazırlanan karbon elyaf

takviyeli kompozit malzemede mekanik ve termal özelliklerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemiştirlerdir (Korkmaz, Çakmak & Dayık, 2014).

Dong ve arkadaşları (2014), KNT ile epoksi karışımının karbon fiberlere dispersiyonu sonucunda donma-kurutma yöntemiyle mekanik özelliklerini optimize etmek amacıyla yeni bir yöntem denemiştirlerdir. Ağırlıkça %1 ve %2,5 oranında KNT dispersiyonu ile hazırlanmış numunelerin arasında ki farklar gözlemlenmiştir. Hazırlanan epoksi/KNT 30 dakika boyunca mekanik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karbon elyafa emdirilmesinden sonra hava boşluklarını engellemek için Reçine Transfer Kalıplama (RTM) yöntemi kullanmışlardır. Sürekli donma-kurutma işlemine tutulmuş ve 100°C de 2 saat boyunca kürlenmesi için fırınlama işlemi uygulanmıştır. KNT'lerin yüzeyleri SEM ile analiz edilmiştir (Dong, Hou, Li, Wang, Gao & Tang, 2014).

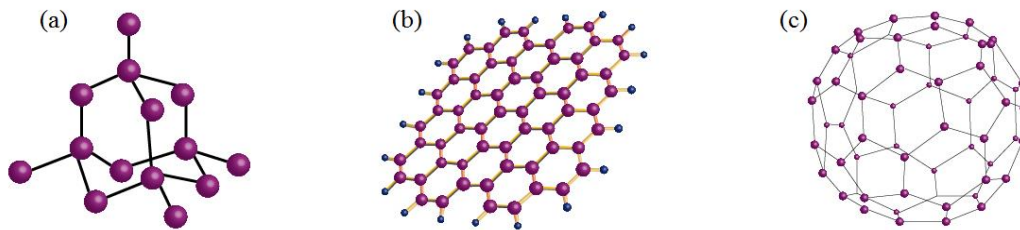
Akbulut ve arkadaşları (2015), karbon elyaf takviyeli kompozitin reçinesine grafen ve karbon nanotüp eklenmesiyle kompozitin mekanik karakterizasyonunda ki değişiklikler incelenmiştir. %60 oranında karbon elyaf %40 oranında epoksi olacak şekilde hazırlanan kompozit numuneler sırasıyla %0,1 KNT, %0,5 KNT, %0,1 GNP ve %0,5 GNP takviye edilmiş 4 farklı şekilde üretilmiştir. Kompozitlerin ara yüzey davranışlarının iyileştirilmesi ve kompozit tokluğunun artırılması üzerine çalışılmıştır. Vakum torbalama yöntemi kullanılmıştır ve tokluklarının belirlenmesi amacıyla düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda %0,5 KNT takviye edilmiş numunenin elastisite modülünü %85,90 artırarak en iyi performansa sahip olduğunu gözlemlemiştirlerdir. Ayrıca karbon elyaf takviyeli kompozitin reçinesine grafen eklenmesi ile tokluğunun artmasından ötürü kompozitin darbe davranışının yüksek oranda geliştiği gözlemlenmiştir (Shishevan, Acar, Sarıkanat, Seki, Erden, Akbulut & Seydibeyoğlu, 2015).

Kerene ve arkadaşları (2013), çalışmalarında takviye malzemesi olarak Çok Duvarlı Karbon Nanotüplerin (ÇDKNT) otoklavlanmamış ve otoklavlanmış havalandırılmış betonun özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Otoklavlanmamış ve otoklavlanmış havalandırılmış betonun üretim işleminde katkı maddesi olarak kullanılan ÇDKNT'lerin, sertleştirilmiş bağlayıcı malzemenin kristalliliğinin artmasının yanı sıra bükülme ve sıkıştırma kuvvetinin de artması, hidrasyon işlemini ve yapı oluşumunu etkileyen kristalleşme çekirdeklerinin etkisinde olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda takviyeli betonların takviyesiz betonlara göre daha dayanıklı olduklarını gözlemlemiştirlerdir (Kerene J., Kligys M., Laukaitis A., Yakovlev G., Spokausk A. & Aleknevičius M. 2013).

3. GENEL BİLGİ

3.1. Karbon Nanotüp

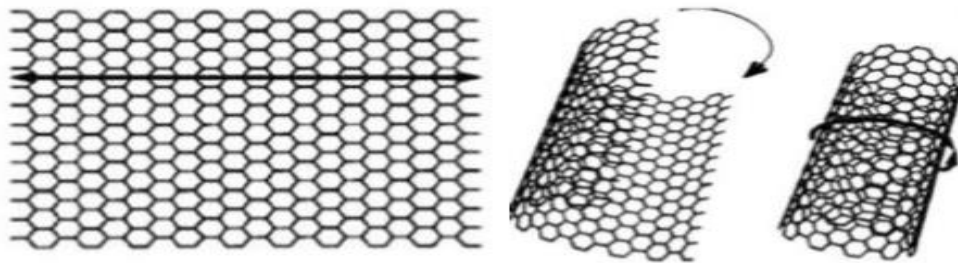
Hidrojen, helyum ve oksijenden sonra kütle bakımından evrende en çok bulunan dördüncü element olan karbon, periyodik tablonun altıncı elementidir (Kozmikanafor, 2018). Hibritleşme özelliği olarak sp , sp^2 ve sp^3 gibi çeşitli formlara sahiptir. Karbon, yörüngesel hibritleşme sergileyen az sayıdaki elementlerden biridir ve birçok karbon allotropu vardır. Karbonun en iyi bilinen allotropu, Şekil 1.' de gösterildiği gibi elmas, grafit ve fullerenler'dir. Petek yapısındaki karbon atomlarından oluşan genişletilmiş düz levhalar, karbon atomlarının sp^2 formunda hibritlendiği grafen katmanlarını oluşturur. Grafitin tek bir katmanı grafen olarak isimlendirilmektedir. Grafitin 6 tane karbon atomundan oluşan bal peteği şeklindeki yapılarıdır (Güler, 2017).



Şekil 1. Karbon Allotropları (a)Elmas, (b)Grafit, (c)Fulleren
(aprendendoabiologar.blogspot, 2015)

3.1.1. Karbon nanotüp yapısı

Karbon nanotüp (KNT), nanometre (nm) ölçekli silindirik yapılardır. Grafen yapısının boru şeklinde yuvarlanarak, uç kısımlarına yarım fulleren toplar eklenmesiyle karbon nanotüp oluşmaktadır. Şekil 2.' de (Saeed, 2017) karbon nanotüp yapısı gösterilmiştir.

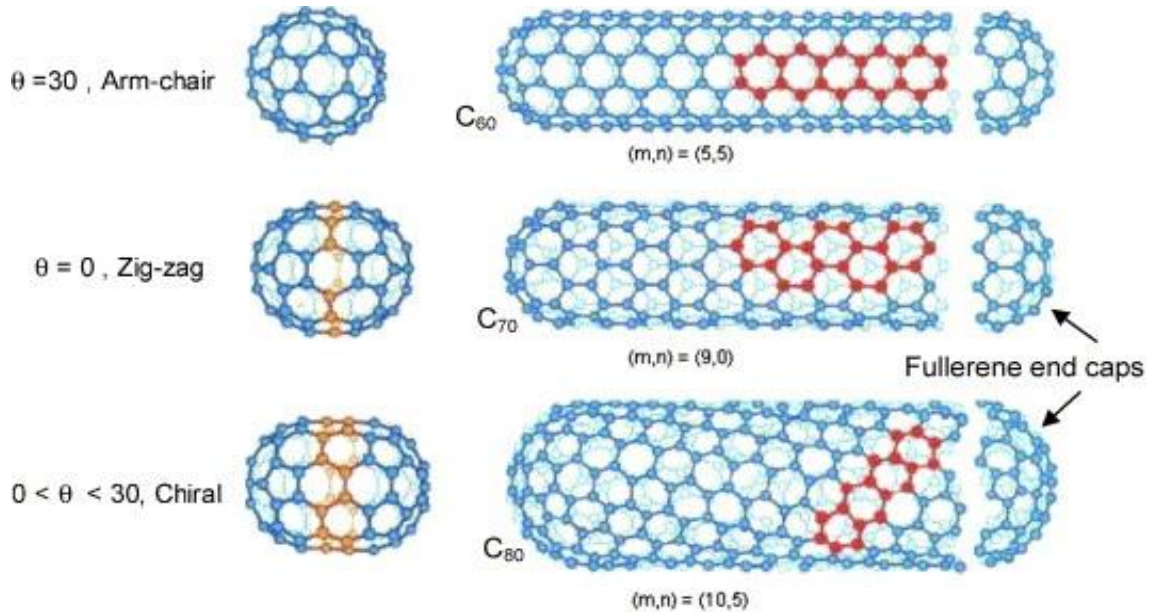


Şekil 2. Karbon Nanotüp Yapısı (Saeed, 2017)

3.1.2. Karbon nanotüp geometrisi

KNT'ler yatay uçlarının birbirleriyle birleşecek şekilde yaptıkları bağ açlarına göre 3 farklı şekilde isimlendirilebilir. İlk olarak 30° ekseninde sarılırsa koltuk tip, yatay

olarak kesilerek dikine sarılırsa zig-zag tip, 0° ve 30° arasında herhangi bir eksen belirleyip o eksene dik olarak sarılmasıyla da kiral tip ismini alırlar (Tetik, 2012).



Şekil 3. Koltuk tip, Zig-zag tip ve Kiral tip (Sun, 2010)

3.1.2.1. Kiral vektörü

\vec{a}_1 ve \vec{a}_2 birim hücre vektörleridir ve birim hücre $\frac{1}{3}(\vec{a}_1 + \vec{a}_2)$ ve $\frac{2}{3}(\vec{a}_1 + \vec{a}_2)$ pozisyonunda iki karbon atomu içerir. \vec{C}_h kiral vektörü \vec{a}_1 ve \vec{a}_2 birim vektörleriyle ifade edilerek TDKNT'lerin yapısı belirlenir. \vec{C}_h kiral vektörü,

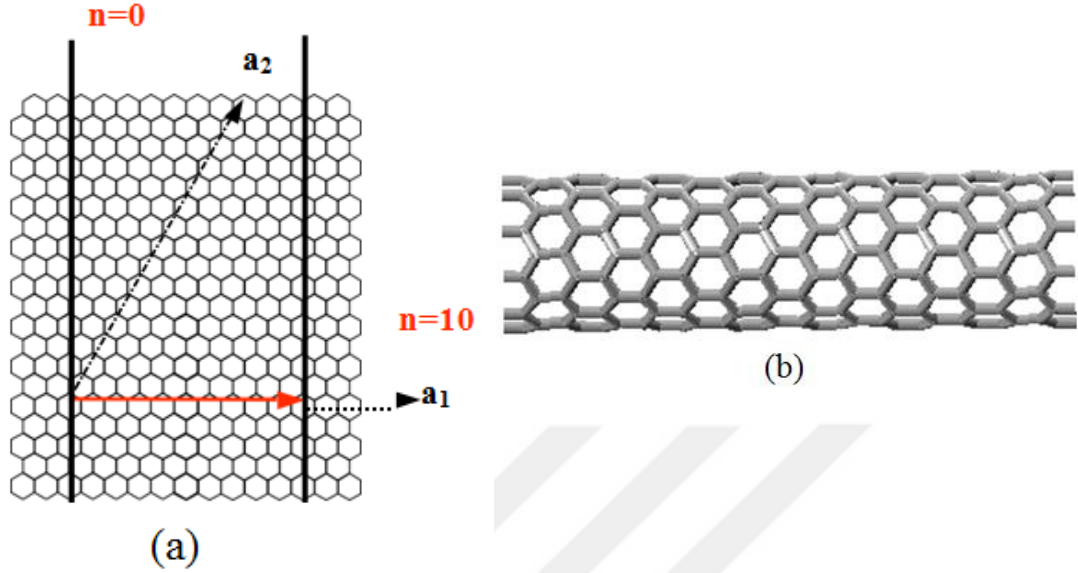
$$\vec{C}_h = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 \quad (1.)$$

şeklinde verilir. n ve m indisleri tamsayıdır ve $0 \leq |m| \leq n$ şartını sağlar.

\vec{C}_h vektörü (n,m) şeklinde gösterilebilir. Zigzag nanotüpler (n,0) olarak ifade edilir ve n/3 tam sayı olduğunda metalik, aksi durumlarda yarı-iletken özellik göstermesi beklenir. \vec{C}_h vektörü zigzag (n,0) nanotüplerde x eksenine 0° açı yapar. \vec{C}_h vektörünün 0° ile 30° arasında değiştirilmesiyle farklı özelliklerde kiral nanotüpler elde edilir. Kiral (n,m) nanotüpleri $(2n+m)/3$ tam sayı olduğunda metalik, aksi durumlarda yarıiletken özellik göstermeleri beklenir. Son olarak \vec{C}_h vektörü 30° döndürüldüğünde koltuk tipi (n,m) nanotüpler elde edilir ve bu nanotüplerin n ve m indisleri birbirine eşittir. Koltuk (n,m) nanotüplerin ise metalik özellik göstermesi beklenir.

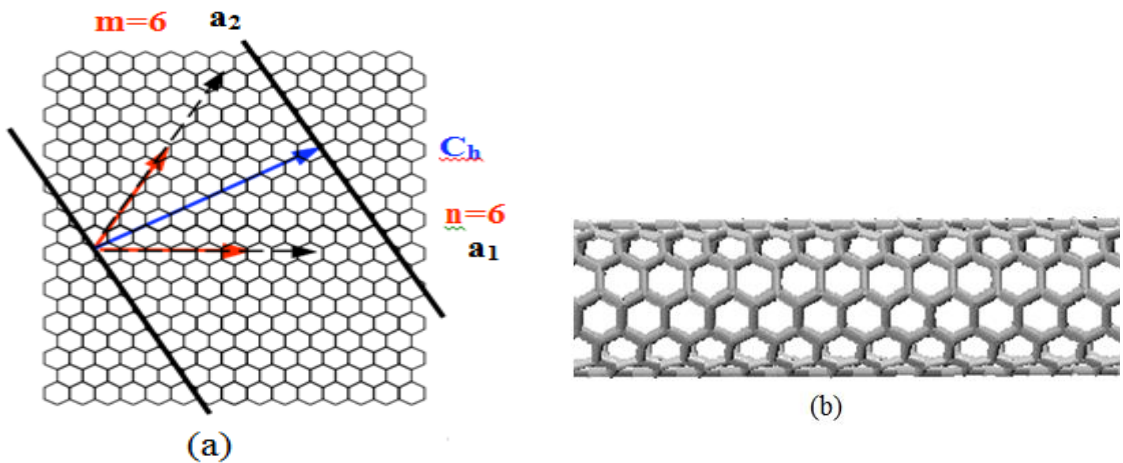
Şekil 4.(a)'da \vec{C}_h vektörünün uzunluğu kırmızı ok ile gösterilen mesafedir. Bu seçimde \vec{C}_h vektörü \vec{a}_1 baz vektörü ile aynı doğrultudadır. \vec{C}_h vektörü x eksenine 0° 'lik

bir açı yaptığı zaman \vec{a}_2 doğrultusunda bir bileşeni olmayacağı için m indisi sıfır olur. Dolayısıyla denklem 1.'de $\vec{C}_h = 10\vec{a}_1$ şeklini alır. Şekil 4.(a)'da ki yapı bir silindir etrafında sarıldığında, şekil 4.(b)'de ki karbon nanotüp elde edilir.



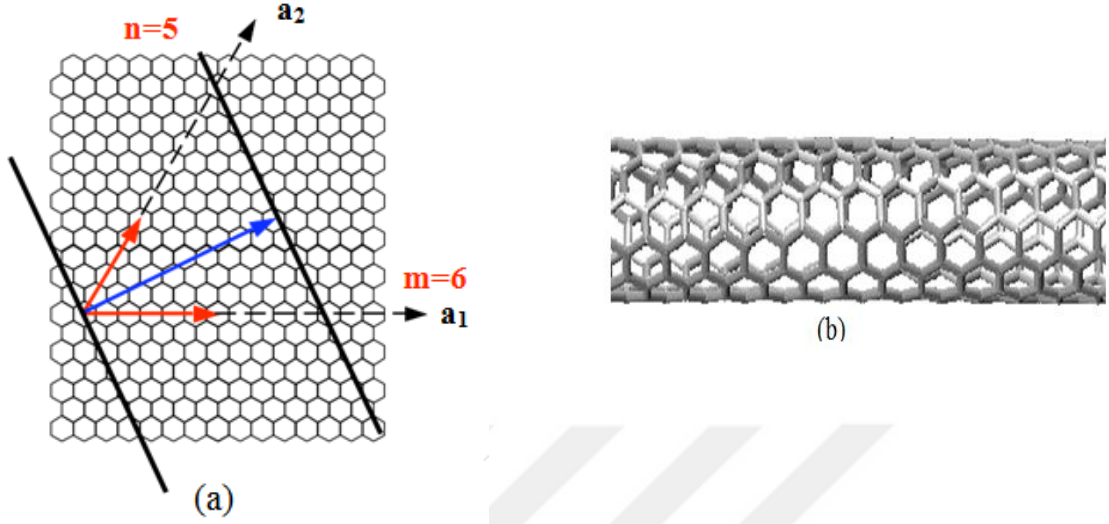
Şekil 4. Zig-zag Tip KNT Yapısı

Şekil 5.(a)'daki grafen katmanı üzerinde, \vec{C}_h vektörü x ekseni ile 30° 'lik bir açı yapmaktadır. \vec{C}_h vektörünün uzunluğu mavi ok ile gösterilen mesafedir. Bu durumda $\vec{C}_h = 6\vec{a}_1 + 6\vec{a}_2$ şeklinde olur. Şekil 5.(a)'daki yapı bir silindir etrafında sarıldığında, şekil 5. (b)'deki yapı elde edilir.



Şekil 5. Koltuk Tip KNT Yapısı

Şekil 6.(a)'daki grafen katmanı üzerindeki \vec{C}_h vektörü x eksenine 0° ile 30° arası bir açı yapmaktadır. Bu durumda $\vec{C}_h = 6\vec{a}_1 + 5\vec{a}_2$ şeklinde yazılır. Şekil 6.(a)'daki yapı bir silindir etrafında sarıldığında Şekil 6.(b)'deki yapı elde edilir.



Şekil 6.Kiral Tip KNT Yapısı

KNT'ler birbirleri ile yaptıkları bağ açıları neticesinde iletken veya yarı iletken özelliği kazanırlar. Denklem 1'de ki formüle göre iletken veya yarı iletken olduklarını Çizelge 1. de gösterilmiştir.

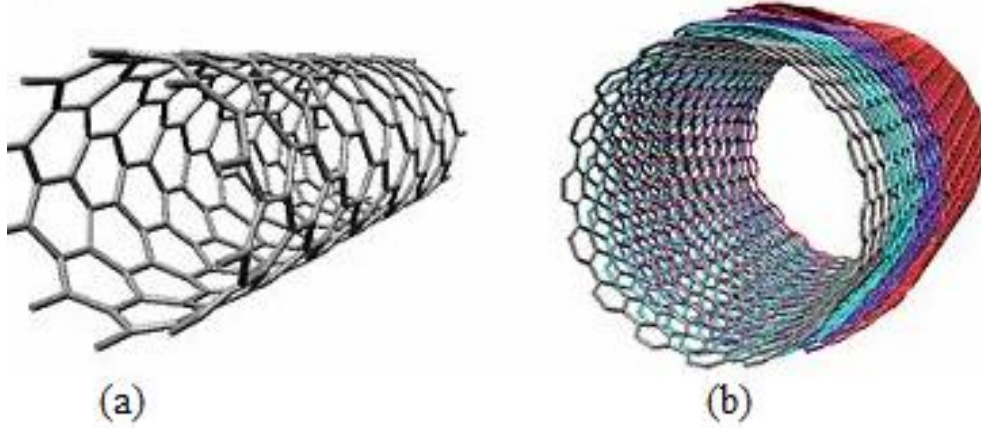
Çizelge 1.KNT Tiplerinin İletkenlikleri (Tetik, 2012)

KNT	θ	C_h
Zigzag (Metalik)	0°	$(n,0)$
Zigzag (Yarı İletken)	0°	$(n,0)$
Kiral (Metalik)	$0^\circ < \theta < 30^\circ$	(n,m)
Kiral (Yarı İletken)	$0^\circ < \theta < 30^\circ$	(n,m)
Koltuk (Metalik)	30°	(n,n)

3.1.3. Karbon nanotüp sınıflandırması

Karbon nanotüpler tek tabakadan yuvarlanarak yapılabileceği gibi aynı zamanda eş eksenli birden çok tabakanın yuvarlanarak birleşmesiyle de oluşturulabilir. Literatürde duvar sayılarına göre iki çeşit karbon nanotüp tanımlanmıştır (Eskizeybek, 2012). Karbon nanotüpler, Tek Duvarlı Karbon Nanotüp (TDKNT) ve Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (ÇDKNT) olarak sınıflandırılabilir. Tek duvarlı karbon nanotüpler tek bir grafen tabakasından oluşturulurken çok duvarlı karbon nanotüpler birden çok grafen

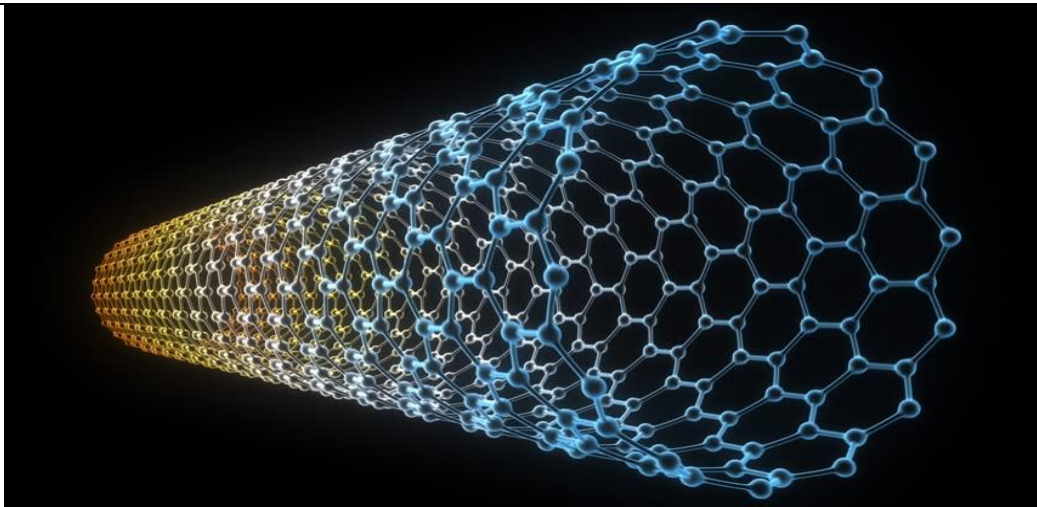
tabakasından oluşturulabilir. Şekil 7.' te tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpler gösterilmiştir.



Şekil 7.(a)Tek Duvarlı Karbon Nanotüp, (b)Çok Duvarlı Karbon Nanotüp (Yetim, 2011)

3.1.3.1. Tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT)

İki ucu birleştirilmiş silindir şeklindeki yapılara tek duvarlı karbon nanotüp adı verilebilir. 1-2 nm aralığında değişir (Ajayan ve ark. 1999). Fakat zeolit gözenekleri içerisinde sentezlenmeleri ile 0,4 nm kadar küçük çaplı tek duvarlı karbon nanotüpler de üretilebilmiştir (Terrones, 2003). TDKNT'ler çoğu kez altıgen paketlenmiş kristalli demetler halinde bulunur (Dresselhaus ve ark. 2004), demetler birbirlerine van der Waals kuvvetleri ile tutunurlar ve altıgen paketlenmiş kristalli demetlerde 100-500 TDKNT içerebilir. Şekil 8.'de tek duvarlı karbon nanotüp yapısı, Çizelge 2.' de tek duvarlı karbon nanotüp özellikleri verilmiştir (Akbulut, 2014).



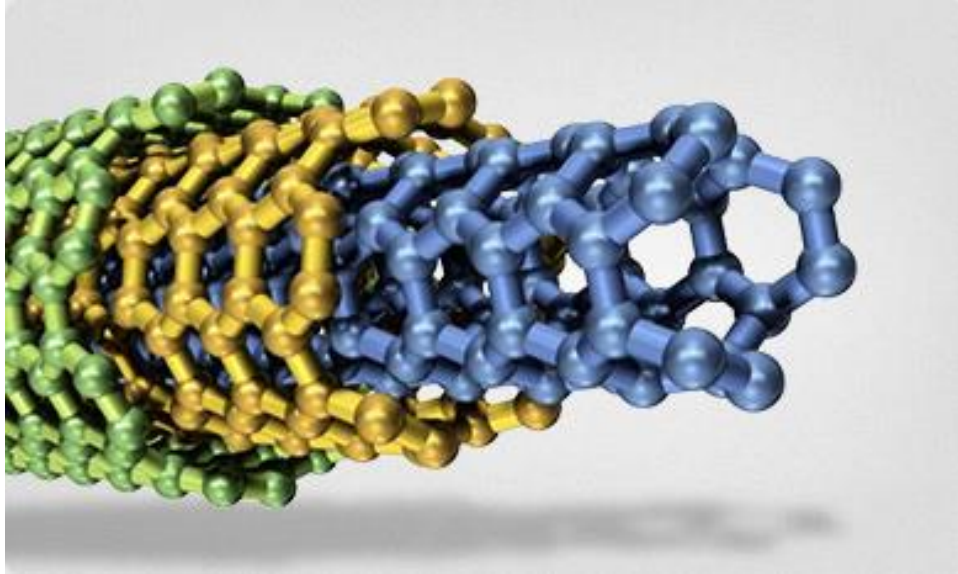
Şekil 8.Tek Duvarlı Karbon Nanotüp Yapısı (ClipDealer, 2011)

Çizelge 2.TDKNT Özellikleri (Akbulut, 2014).

TDKNT	Özellikleri
TDKNT Dış Çapı	1-2 nm
TDKNT iç Çapı	0,8-1,6 nm
TDKNT uzunluğu	5-30 μm
TDKNT Spesifik yüzey alanı	407 g/m^2
TDKNT Elektriksel iletkenliği	>10 ⁻² S/cm

3.1.3.2. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)

ÇDKNT en az iki grafen levhanın eş merkezli olacak şekilde iç içe geçmesiyle oluşan yapı olarak adlandırılır. TDKNT'lere göre ÇDKNT'lerin elektriksel iletimi düşüktür. Çünkü elektrotlar yalnızca en dış tabaka ile temas halindedir. Bu nedenle karbon nanotüplerin yüzey işlevselliğinin elektronik özellikleri büyük ölçüde değiştirmesinin nedeni budur. ÇDKNT'lerde komşu duvarlar arası etkileşimlerin az olduğuna ve dolayısı ile duvarların birbirlerinden bağımsız dönme ve öteleme hareketleri yapabileceğine işaret etmektedir (Kuchibhatla ve ark. 2007). ÇDKNT'lerde duvarlar arası mesafenin 0,339 nm olacağı kuramsal hesaplamalarla tespit edilmiştir (Kim vd., 2009). ÇDKNT'lerin iç çapları 0,4-5 nm, dış çapları ise yaklaşık 15 nm mertebesinde (Dresselhaus ve Ark. 2004). Şekil 9.'da çok duvarlı karbon nanotüp yapısı, Çizelge 3.'te çok duvarlı karbon nanotüp özellikleri verilmiştir.

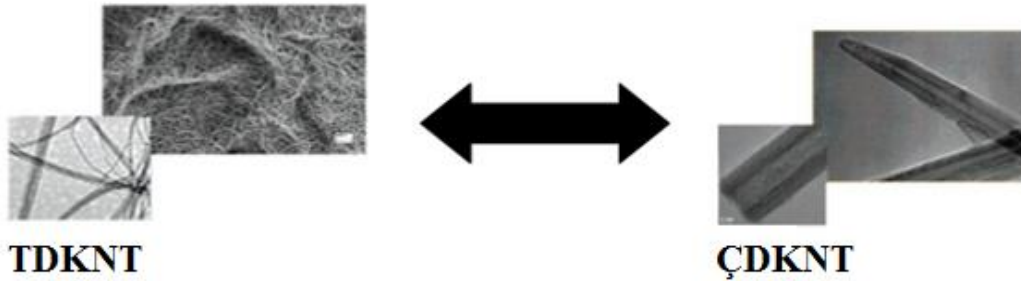


Şekil 9.Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Yapısı

Çizelge 3.Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Özellikleri

ÇDKNT	Özellikleri
ÇDKNT Dış Çapı	10-20 Nm
ÇDKNT iç Çapı	5-10 Nm
ÇDKNT uzunluğu	10-30 μ m
ÇDKNT Spesifik yüzey alanı	>200 g/m ²
ÇDKNT Elektriksel iletkenliği	>10 ⁻² S/cm

Çok duvarlı karbon nanotüplerin ve tek duvarlı karbon nanotüplerin yapısal karşılaştırılması, elektronik mikroskop görüntülerinin karşılaştırılması Şekil 10.'da gösterildiği gibidir.



Şekil 10.TDKNT ve ÇDKNT Yapılarının Elektronik Mikroskop Görüntülerinin Karşılaştırılması

Bir yapıya ilave edilen nano boyutlardaki her atom malzemenin fiziksel özelliklerinde değişmelere neden olur. Bu değişiklikler atomun türüne, nano yapının cinsine ve geometrik dizilimine bağlı olarak netleşmektedir. Nano yapının iletkenliği, eklenecek herhangi tek bir atoma göre değişebilmektedir. Başka bir deyişle, nano boyutlarda ki atomlar arası bağ yapısı da değişikliğe uğrayabilmekte, malzemenin mekanik özelliği artarken ya da azalırken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tamamen değişebilmektedir.

Yarı iletken özellik gösteren Silisyumdan imal edilmiş bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken özelliği kazanabilmektedir. Başka bir örnekte kurşun kalemde bildiğimiz, 2 boyutlu düzlemsel grafit tabakaları karbon atomunun yumuşak ve iletken bir yapısı olarak karşımıza çıkarken, bir boyutlu yapısıyla karbon nanotüpler çelikten bile dayanıklı olabilmektedir.

3.1.4. Karbon nanotüp uygulama alanları

KNT'lerin elektrik ve mekanik özelliklerinden farklı olarak yüzeylerinin gözenekli olması KNT'leri elektrokimyasal cihaz yapımında da tercih edilmesine neden olmuştur. KNT'ler bu alanda elektrot ve kapasitör yapımında tercih edilmektedir.

Çizelge 4.KNT'lerin Uygulama Alanları

Uygulama Alanı	Kullanım Amacı	Özellik	Kaynak
Yapı malzemesi	<ul style="list-style-type: none"> İletken plastik kompozitler, Sürtünmesiz tekerler, Tenis raketleri, 	Mekanik	(De Volder ve ark. 2013)
Filtreler	<ul style="list-style-type: none"> Çevre Temizliği 	Mekanik/Yüzey alanı	(De Volder ve ark. 2013)
Depolama	<ul style="list-style-type: none"> Pil yapımı (KNT'de lityum depolayarak), Hidrojen içeren yakıt üretimi 	Elektriksel	(De Volder ve ark., 2013).
Elektronik Cihazlar	<ul style="list-style-type: none"> Elektron yayılımı kuvvetli olduğu için elektron yayılım temelli cihazlar ve mikroskop proplarında 	Elektriksel	(Küçükyıldırım ve Eker, 2012).
3D güneş hücreleri	<ul style="list-style-type: none"> Güneş ışığının neredeyse tamamını yakalayabilmektedir. 	Optik	(Küçükyıldırım ve Eker, 2012).
Elektrik kabloları	<ul style="list-style-type: none"> Bakır ve alüminyumdan yaklaşık 1000 kat daha fazla akım taşıyabileceğini öne sürmüştür. 	Elektriksel	(Zhou ve arkadaşları, 2011).
Tıp/Medikal	<ul style="list-style-type: none"> Kanser tedavisinde, Dokuların tamirinde (kas yırtılması) 	Elektriksel, Optik, Mekanik	(Liu ve arkadaşları, 2013).
Uzay	<ul style="list-style-type: none"> Uzay asansörü 	Mekanik, Elektriksel.	(Smitherman, 2000).
Sensör	<ul style="list-style-type: none"> Biyo-sensör Kemo-sensör Işınım sensörü 	Elektriksel, Optik	(Wang, 2005).

Nanoteknoloji, önemli ölçüde geliştirilmiş özelliklere sahip yeni malzemeler için birçok avantaj ve fayda sunan en yeni ve en gelişmiş teknolojilerden biridir. Nanoteknoloji nano-tıp, enerji, çevre ve sensörler dahil olmak üzere çeşitli alanlarda farklı uygulamalarda kullanılabilir. Nanoteknoloji alanları çok geniş olsa da ve düzenli olarak yeni malzemeler kullanılsa da, KNT'lerin potansiyeli en umut verici olanıdır. 1991'de Iijima'nın keşiflerinden bu yana KNT'ler, çeşitli uygulamaları nedeniyle nanoteknoloji alanında en hızlı büyüyen nano malzemelerdir. Pek çok araştırmacı, yeni özelliklerin bulunması malzeme bilimi, tıp, elektronik ve enerji depolaması alanlarında, nanoteknoloji ve KNT'lerin dolgu maddesi olarak kullanılmasına odaklanan pek çok alanda yeni uygulamaların sayısını arttırmak için büyük çaba harcadılar. İletkenlik ve yüksek emme kapasitesi gerektiren uygulamalar için ve yüksek mukavemetli kompozitler, yakıt hücreleri, enerji dönüşüm cihazları, alan emisyon cihazları, hidrojen depolama cihazları oluşturulması ve yarı iletken cihazlar için KNT'lerin kullanılmasıyla daha cazip KNT uygulamaları elde edilebilir.

Yüksek dayanımları sayesinde KNT'ler Taramalı Uç Mikroskoplarında (SPM) tercih edilmiştir. KNT'lerin kullanımıyla daha yüksek dayanıma sahip uçlar elde edilmiş ve yüzeyler daha yüksek çözünürlükle incelenebilmiştir

KNT'ler geniş yüzey alanları nedeniyle hidrojen depolama sistemleri olarak da ön plana çıkmaktadırlar.

3.1.5. Karbon nanotüp sentezleme yöntemleri

KNT'lerin sentezi üç ana yöntemle yapılabilir; lazer aşındırma tekniği, ark boşalım tekniği ve Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD).

3.1.5.1. Lazer aşındırma tekniği

Lazerin keşfedilmesinden bu yana, lazer, lazer aşındırma dahil çeşitli uygulamalar için yoğun bir şekilde kullanılmış ve çalışılmıştır. Lazer aşındırmasıyla ilgili ilk deneysel makalenin 1963 gibi erken bir tarihte rapor edilmesine rağmen, 1990'ların ortasına kadar gaz algılama amacıyla nano malzemelerin sentezlenmesi için lazer aşındırma kullanılmamıştır.

Lazer aşındırma, malzemenin bir yüzeyden lazer ışınmasıyla çıkarılması anlamına gelir. "Lazer aşındırma" terimi, yoğun lazer darbesiyle yüzeyde yaratılan dengesiz Buhar/Plazma koşullarını vurgulamak, malzemenin termodinamik denge koşullarında ısınması ve buharlaşması olan "lazer buharlaşmasından" ayrılmasında kullanılır. Lazer aşındırmanın tipik bir şematik diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Kısaca, lazer aşındırma cihazında iki önemli parça, darbeli bir lazer ve bir aşındırma odası bulunur.

Lazer ışınının yüksek gücü, hedef yüzeyinde büyük bir ışık emilimine neden olur, bu da emici malzemenin sıcaklığının hızla artmasını sağlar. Sonuç olarak, hedef yüzeyindeki malzeme lazer tüyüne buharlaşır. Bazı durumlarda buharlaştırılan malzemeler, herhangi bir kimyasal reaksiyon olmadan küme ve partikül halinde yoğunlaşır. Diğer bazı durumlarda, buharlaştırılmış malzeme yeni malzemeler oluşturmak için eklenen reaktiflerle reaksiyona girer. Yoğunlaştırılmış parçacık, bir alt tabaka üzerinde biriktirilecek veya bir cam elyaf ağdan oluşan bir filtre sistemi vasıtasıyla toplanacaktır.

3.1.5.2. Ark boşalım tekniği

Ark boşalım tekniğinin önemi karbonu indirgenmiş atıl gaz (belirli şartlar altında kimyasal tepkimelere girmeyen inert gaz) atmosferi altında katalizörlerin (demir, nikel, kobalt, itriyum, bor, vb.) varlığında buharlaştırmaktır. Arkın iki elektrot arasında tetiklenmesinden sonra karbon buharı, nadir olarak helyum veya argon gazı ve katalizörlerinin buharlarının karışımından oluşan bir plazma oluşur. Buharlaşma, arkın katalizörlerle katkılı grafitten yapılmış anotlara enerji transferinin sonucudur. Anot erozyonu arkın gücüne ve ayrıca diğer deneysel koşullara bağlı olarak kısmen önemlidir.

30 cm çapında ve yaklaşık 1 m yüksekliğinde, ark gözlemlemek üzere plazma bölgesine bakacak şekilde yerleştirilmiş çapsal olarak zıt safir pencerelerle donatılmış bir silindirden oluşur. Reaktör, biri odanın birincil tahliyesini (0.1 Pa) gerçekleştirmek için diğeri istenen çalışma basıncına kadar nadir bir gazla doldurmasına izin veren iki valfe sahiptir.

Ark deşarj yönteminde, bir helyum atmosferinde iki karbon elektrot arasına 20–30 V'lık bir Doğru Akım (DC) eğilimi uygulanır. Karbon atomları anottan çıkarılır ve katot üzerinde nanotüpler şeklinde birikir. Elektrotlar tipik olarak 5-20 mm çapındadır. Lazer buharlaşmasında olduğu gibi, anot, aynı zamanda bir katalizör olarak hareket etmek için katod üzerinde biriken küçük miktarlarda nikel, kobalt veya demir içerir. Ark boşalmaları, lazer aşındırmadan elde edilenlerden daha dar ve daha kısa tüpler üretme eğilimindedir (çapı 5 nm'ye kadar ve yaklaşık 1 mm uzunluğunda). Lazer aşındırmada olduğu gibi ark deşarjları nanotüp demetleri üretme eğilimindedir (Wordpress, 2012).

3.1.5.3. Kimyasal buhar birikim tekniği

Kimyasal buhar biriktirme (CVD), katı bir malzemenin bir buhardan normal olarak ısıtılmış bir alt tabaka yüzeyi üzerinde veya yakınında meydana gelen kimyasal bir reaksiyonla biriktirildiği bir işlemdir. Elde edilen katı malzeme, ince bir film, toz veya tek kristal şeklindedir (Nickl ve ark. 1972). Alt tabaka materyali, alt tabaka sıcaklığı ve reaksiyon gazı karışımının bileşimi, toplam basınç gazı akışları, vb. dahil olmak üzere deneysel koşullar değiştirilerek, çok çeşitli fiziksel, ve kimyasal özelliklere sahip malzemeler üretilebilir (P. O'Brien ve ark. 2001). CVD tekniğinin karakteristik bir özelliği, karmaşık şekilli alt tabakalarda bile düşük gözeneklere sahip homojen kaplamaların üretilmesini sağlayan tekniktir.

CVD ilgili işlemler, dielektrikler, iletken oksitler, korozyona dayanıklı kaplamalar, ısıya dayanıklı kaplamalar dahil olmak üzere birçok ince film uygulamasında kullanılır. Diğer CVD uygulamaları, yüksek sıcaklıktaki malzemelerin (seramik vb.) hazırlanması ve güneş hücrelerinin, yüksek sıcaklıktaki elyaf kompozitlerinin üretilmesidir. Son zamanlarda, yüksek iletkenler ve daha yakın zamanda karbon nanotüpler de bu teknikle yapılmıştır. Buhardaki oksijen aktivitesi biriktirme sırasında tam olarak kontrol edilebildiğinden, süper iletkenliği sağlamak için oksijende tavlamaya gerek yoktur.

3.1.6. Karbon nanotüp mekanik özellikleri

Karbon nanotüplerin mekanik özellikleri de göze çarpmaktadır. Spesifik YOUNG modülü ve tipik TDKNT'nin spesifik gerilme dayanımı, bir çeliğin 19 ve 56 katı, sırasıyla Silisyum Karbür (SiC) nanorotlarının 2,4 ve 1,7 katıdır (Wong, 1997). Herhangi bir gevrek davranış göstermeden % 40'a varan gerilime dayanabilirler (Mittal, 2011). Çizelge 5.'te bazı olağanüstü özelliklerini göstermektedir. Literatürdeki mekanik testlerin önemli bir performans farkı ile sonuçlanabileceğine dikkat edilmelidir. Bu, aynı deneyde bile aynı karbon nanotüpleri üretme zorluğundan kaynaklanmaktadır (Harris, 1999).

KNT'lerin boyutu nedeniyle çekme dayanımı testlerini gerçekleştirmek oldukça zor bir çalışmadır. Yu ve arkadaşları (2010) KNT'lere gerilme yükleme testleri yapmış ve TDKNT'ler için çekme dayanımını 13 ila 52 GPa değerleri arasında bulmuşlardır. ÇDKNT'ler için ise çekme dayanımı 11 ila 63 GPa arasında hesaplanmıştır. Walters ve arkadaşları ise KNT'lerdeki çekme dayanımını atomik kuvvet mikroskobu yardımıyla belirlemişlerdir. Bu çalışmada TDKNT için çekme dayanımı 457 GPa olarak

belirlemiştir. Wagner ve arkadaşları (Wagner ve Ark. 1998) yaptıkları çalışmada TDNT için çekme dayanımını 55 GPa olarak bildirmişlerdir.

Çizelge 5. Karbon Nanotüplerin Teorik ve Deneysel Özellikleri (Mittal, 2011)

Özellik	KNT	Grafen
Özgül Ağırlık	0,8 g/cm ³ TDKNT için 1,8 g/cm ³ ÇDKNT için	2,26 g/cm ³
Elastik Modül	~1 TPa TDKNT için ~0,3-1 TPa ÇDKNT için	1 TPa
Dayanıklılık	50-500 GPa TDKNT için 10-60 GPa ÇDKNT için	
Öz Direnç	5-50 µΩ cm	50 µΩ cm
Termal İletkenlik	3000 W m ⁻¹ K ⁻¹	3000 W m ⁻¹ K ⁻¹
Termal Genleşme		-1 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Termal Kararlılık	>700 °C	450-600 °C
Yüzey Alanı	10-20 g/m ²	20 g/m ²

Çizelge 6. KNT'lerin ve Bazı Materyallerin Mekanik Özellikleri

Materyal	Young Modülü, GPa	Çekme Dayanımı, GPa
TDKNT	1054	150
ÇDKNT	1200	150
Çelik	208	0.4
Epoksi	3.5	0.005

3.1.7. Karbon nanotüp termal özellikleri

Karbon nanotüplerin ısı iletkenliği ve ısı genleşmesi temel olarak ilginç ve teknolojik açıdan önemli özelliklerdir. Grafitin düzlemsel termal iletkenliği çok yüksektir. Malzemede ölçülen en yüksek termal iletkenliğine sahip olan pırlanta tipindedir. Grafitin termal iletkenliği van der Waals kuvvetleri tarafından birbirine tutulan zayıf bağlanmış tabakalar nedeniyle çok düşüktür. İç içe geçmiş ÇDKNT'lerde, grafitteki düzlemler arası ayrılmaya benzer ve ayrıca iç içe geçen tüpler arasındaki kuvvet yalnızca Van der Waals kuvvetidir.

Katılarda ısı iletimi, titreşim dalgaları ve serbest elektron tarafından gerçekleştirilmektedir. Elmasın ısısal iletkenliği 1000-2600 W/mK ve grafitin ısısal iletkenliği 100°C'de 120 W/mK'dir. Hone ve arkadaşları tek bir TDKNT ipin ısısal iletkenliğinin oda sıcaklığında 1800-6000 W/mK olduğunu, elektriksel iletkenlikteki değişimleri kullanarak nümerik olarak hesaplamışlardır. Che ve arkadaşları bu değeri 2980 W/mK olarak açıklamışlardır.

KNT'ler bilinen en yüksek ısısal iletkenliği sahip maddelerdir. Çizelge 7.'de malzeme çeşitlerini ve ısısal iletkenliklerini göstermektedir.

Çizelge 7.Çeşitli Maddelerin Isıl İletkenlikleri

Madde	Isıl İletkenlik W/mK
Altın	314-318
Bakır	353-386
Gümüş	406-429
Elmas	2000-2500
Grafit, Grafen katmanına paralel	0.0131
Grafit, Grafen katmanına zıt yönde	1900
TDKNT(Tek duvarlı karbon nanotüp)	6600

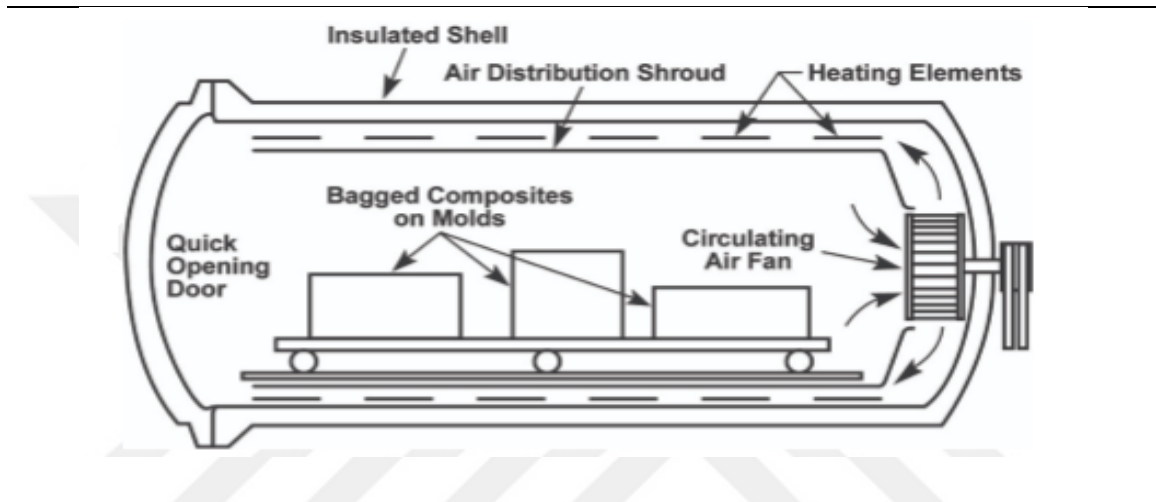
3.2. Otoklav

Otoklav işleme, yüksek performanslı kompozit malzemeler için en eski ve en yaygın kullanılan işleme yöntemlerinden biridir. Otoklav ekipmanı, gaz akışı ve ısı transferi ve otoklav tasarımının özelliklerini içeren bu işleme yönteminin önemli temellerini ele almaktadır (Fernlund, 2018). Şekil 11'de otoklav prosesi gösterilmiştir.

Kompozit malzemelerin performansını en üst düzeye çıkarmak için fiber/reçine oranını ayarlamak ve tüm hava boşluklarının uzaklaştırılması gerekir. Bu, malzemeyi yüksek basınçlara ve sıcaklıklara maruz bırakarak başarılabilir. Vakum torbalama yönteminde, reçine/elyaf düzenini içeren kapalı bir torbaya bir vakum uygulanarak bir miktar basınç uygulanabilir. Bununla birlikte, 1 bar'dan daha büyük, üç boyutlu, tekdüze bir basınç elde etmek için, ek dış basınç gereklidir. Sonsuz çeşitlilikteki farklı şekil ve ebatlarda bunu başarmanın en kontrol edilebilir metodu, kompozit yapıyı içeren bir basınç kabına sıkıştırılmış bir gaz uygulamaktır. Uygulamada, bu bir otoklavda gerçekleştirilir (NetComposite, 2019).

Gelişmiş kompozit malzemelerin üretiminde kullanım için, sıcak bir atmosfer otoklavı aşağıdaki kriterleri sağlamalıdır:

- Güvenlik sistemi
- Sıcaklık kontrolü
- Basınç kontrolü
- Vakum kontrolü



Şekil 11.Otoklav Prosesi

3.2.1. Güvenlik sistemi

Otoklavla çalışırken güvenlik çok önemlidir. Genellikle personelin bulunduğu bir alanda bulunurlar. Perspektif olarak koymak gerekirse, sadece 0,5 bar'a kadar basınçlandırılmış 1m çapında bir otoklavın önünde durmak, 4 ton ağırlığın altında durmak gibidir.

İngiltere Sağlık ve Güvenlik Sorumlusu, emniyet cihazlarının takılacağı şekilde PM73 “Otoklavlarda Güvenlik” Rehber Notu hazırlamıştır:

- Kapı tamamen kilitlenmeden otoklavın basınç altına alınmamasını sağlayınız.
- Basınç güvenli bir şekilde tahliye edilmeden otoklav kapısının açılmayacağından emin olunuz.
- Kapıyı açmadan önce operatörü herhangi bir artık basınç konusunda uyarınız.
- Kalan düşük basınç nedeniyle otoklavın şiddetli bir şekilde açılmasını önleyiniz.
- Atmosfer ve sıcaklık güvenli bir seviyeye gelene kadar kapının açılmasını önleyiniz.

3.2.2. Sıcaklık kontrolü

Reçine sistemlerinin devreye girmesi ve havacılık endüstrisi tarafından öngörülen sıkı toleranslar dahilinde otoklav içinde homojen bir sıcaklık elde etme kabiliyeti için sıcaklık kontrolü kritik öneme sahiptir. Otoklav üreticileri tarafından bunu başarmak için kullanılan birkaç sistem vardır, bunlar doğrudan ve dolaylı ısıtma sistemleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Dolaylı ısıtma sistemleri, otoklavın dışındaki ısı kaynağına sahiptir ve bir ısı eşanjörü vasıtasıyla ısıyı çalışma zarfına aktarır. Doğrudan ısıtma sistemleri, otoklav içinde ısı kaynaklarına sahiptir ve elemanlardan basınç ortamına ısı transferini en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Elektrik ısıtmalı ve gaz ısıtmalı sistemler mevcuttur. Isıtma sistemi seçimi, kontrol edilebilirlik, temizlik, verimlilik, bakım gereksinimleri ve işletme maliyetleri gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. İşletme maliyetleri dikkate alındığında, sistemi bir bütün olarak değerlendirmek önemlidir.

3.2.3. Basınç kontrolü

Otoklav sistemleri, kullanıcının kütleme işlemi sırasında herhangi bir zamanda iç basınç koşullarını istenen seviyeye ayarlamasına izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Sıcaklık kontrolünde olduğu gibi, bu genellikle bir dizi basınç gradyanı, basınç giderme gradyanı biçimini alır. Otoklavın giriş ve egzoz boru hattı sistemlerindeki modülasyonlu vanaların kullanılmasıyla doğru kontrol sağlanır.

Basıncı sistemlerle çalışırken güvenlik çok önemlidir. Gerekli güvenlik önlemlerinin yerinde olduğundan emin olmak için katı tasarım kodları belirtilmiştir. Tüm yeni otoklavlar, kullanım sertifikası alınmadan önce, kazanın suyla basınçlandırılması, öngörülen maksimum çalışma basıncının 1,5 katı kadar bir basınç uygulamasına tabi tutulur. Buna ek olarak, tüm kazanlara, aşırı basınç durumunda serbest bırakılacak olan öngörülen maksimum çalışma basıncının % 10 üzerinde ayarlanmış bir emniyet valfi bulunur. Bu emniyet valfi, elektronik kontrol sistemi cihazları arızalansa bile tehlikeli bir durumdan kaçınılmasını sağlayan mekanik bir cihazdır.

3.2.4. Vakum kontrolü

Torbalı kompozit dökme, otoklavda önceden çekilmiş bir vakum ile gelir. Torba daha sonra, otoklavın içine yerleştirilmiş esnek göbek hortumları vasıtasıyla otoklav vakum sistemine bağlanır. Kütleme döngüsü sırasında her torbalanmış bileşendeki vakum seviyesi izlenir ve bir sızıntı veya patlama koşulu meydana gelirse, boşaltma torbası otomatik olarak vakum sisteminin geri kalanından izole edilir, böylece

pozitif basıncın ortak torbalar vasıtasıyla diğer torbalara girmesi önlenir. Sertleştirme işlemi sırasında, torba içinde uçucu maddeler oluşur. Bunlar vakum sistemi tarafından çekilir ve ana vakum çekme hattına yerleştirilmiş bir reçine kapanı ile filtrelendir. Torba içine çekilen vakum seviyesini değiştirmek için tesislerde sistemler mevcuttur. Petek yapıları üretildiğinde bu özellikle önemlidir.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezin bu bölümünde, karbon fiber kumaş sarımlı boruların ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olarak üretimi, numunelerin mekanik ve termal karakterizasyona etkisi üzerinde karşılaştırma yapılmıştır. ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz karbon fiber kumaş sarımlı kompozit boru numunelerinin üretimi yapılmadan önce detaylı literatür araştırılması yapılmıştır. Çalışmamızdaki karbon nanotüp katkı miktarı, yapılan araştırmalar neticesinde daha önceki çalışmalarda optimal mekanik ve termal özelliklerin elde edildiği oranlarda yapılmıştır. Çok duvarlı karbon nanotüp katkı oranı ağırlıkça % 0,3 olarak belirlenmiştir. Üretilen boruların mekanik olarak ASTM D7136 / D7136 M-07 standartlarına uygun düşük hızlı darbe testi, termal olarak TGA/DSC deneyleri standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Üretilen numuneler hidrolik preste kalıptan çıkartılmıştır. Darbe testi için ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olmak üzere 6 deney numunesi, Termal Gravimetre Analizi (TGA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC) için ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olmak üzere 6 deney numunesi hazırlanmıştır. Darbe sonucunda elde edilen numunelerden alınan parçalar Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Çalışma kapsamında ÇDKNT takviyeli kompozit malzeme üretiminde takviye elemanı olarak karbon fiber kumaş (245 gr/m^2 , 2/2 TWILL), matris malzemesi olarak ÇDKNT (safılık % 92, dış çap 8-10 nm) ve F-1564 epoksi reçine sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 8. Kullanılan Karbon Fiber Kumaş Özellikleri

Malzeme	Özellikler	Değer
Karbon Fiber Kumaş	Yoğunluk	$1,8 \text{ g/cm}^3$
	Isıl İletkenlik	20 W/mK
	Çekme Modülü	220-240 GPa
	Çekme Dayanımı	3450-4850 MPa
	Lif Çapı	5-8 μm
	Öz Direnç	1650 $\mu\Omega$
	Kopma Uzaması	% 1,6-2,2

Çizelge 9.Kullanılan Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Özellikleri

Malzeme	Özellikler	Değer
Çok Duvarlı Karbon Nanotüp	Safılık	%92
	Dış çap	8-10 nm
	İç çap	5-15 nm
	Uzunluk	10-30 µm
	Yoğunluk	2,4 g/cm ³
	Elektrik İletkenliği	98 S/cm

Çizelge 10.Kullanılan Epoksi Reçine Özellikleri

Malzeme	Özellikler	Değer
Epoksi Reçine	Yoğunluk	1,1-1,2 g/cm ³
	Çekme Gerilmesi	70-75 MPa
	Eğilme Gerilmesi	100-125 MPa
	Parlama Noktası	185 °C
	Viskosite (25 °C)	1200-1400 MPa.s
	Geçiş Sıcaklığı	80 °C

4.2.Numunelerin Üretim Süreci

Numuneler ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olarak aynı parametrelerde üretilmiştir. Numunelerin deneysel çalışmalar neticesinde sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2.1. ÇDKNT takviyesiz karbon fiber kumaş sarımlı numunelerin üretim süreci

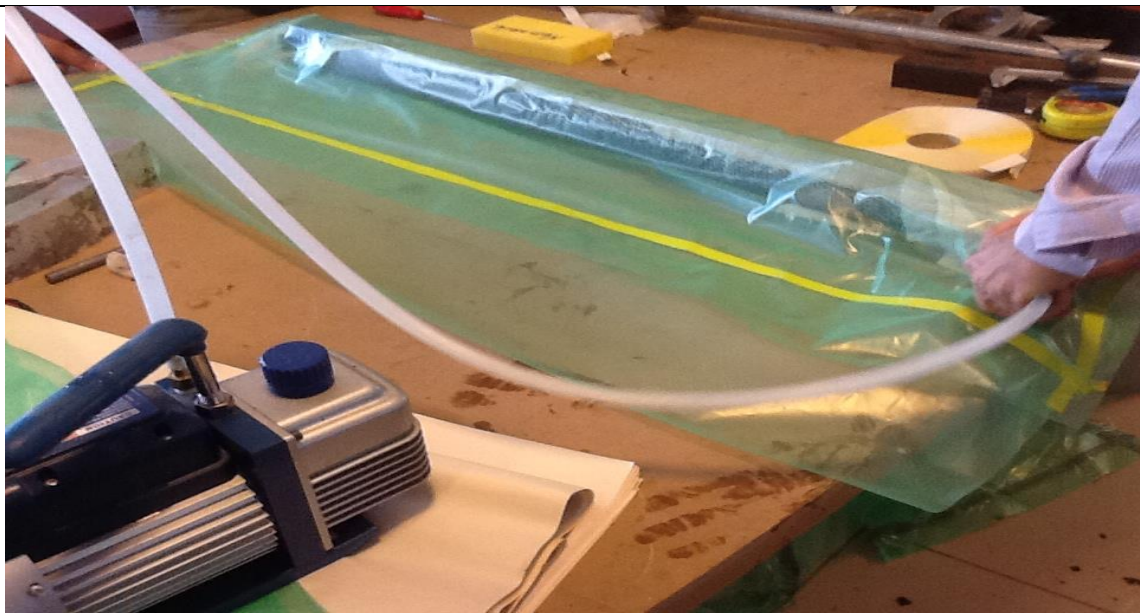
ÇDKNT takviyeli karbon fiber kumaş sarımlı boru üretiminde otoklav ve vakum yöntemi kullanılmıştır. Üretim süreci sırasıyla;

Karbon fiber kumaş soğuk muhafaza edilmesi gerektiği için muhafaza edilen yerden çıkartılıp, oda sıcaklığında 5 dakika bekletilir. Dış çapı 72 mm uzunluğu 1000 mm olan kalıp boru, karbon fiber kumaşın homojen şekilde sarımı için 60 °C kadar ısıtılır ve sarım makinesine bağlanır. Boru üzerine kalıptan kolay çıkartılması amacıyla kalıp ayırıcı sürülür. Hazırlanan kalıp üzerine daha sonra düşük devirde 10 kat karbon fiber kumaş sarılır. Karbon fiber kumaşın kalıp boruya sarımı Şekil 12’de gösterilmiştir. Sarımı gerçekleştirilen numunenin vakum torbalama yöntemi Şekil 13’te gösterilmiştir.



Şekil 12.Karbon Fiber Kumaş Sarımı

Oluşturulan yarı mamul vakum torbasına yerleştirilir. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan vakum pompası ile karbon fiber kumaş sarım içerisinde ki hava boşlukları uzaklaştırılır ve karbon fiber kumaşın homojen dağılımı ve kalıbı sarması sağlanır. Son aşama da 80 °C de 6 bar iç basınçta azot gazı verilerek 6 saat boyunca otoklavda kürlenmesi için bekletilir ve oda sıcaklığına kadar doğal soğumaya bırakılarak nihai ürün elde edilir. Otoklav fırınına atılan numune Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 13.Vakum Torbalama Yöntemi



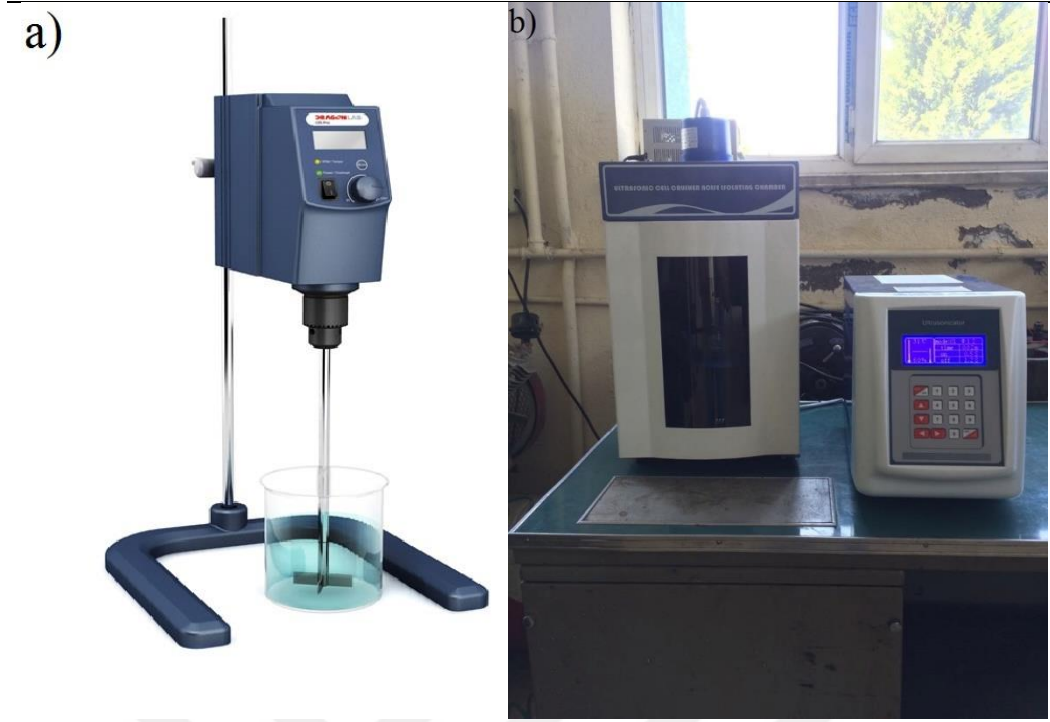
Şekil 14.Otoklav Fırını

4.2.2. ÇDKNT takviyeli karbon fiber kumaş sarımlı numunelerin üretim süreci

ÇDKNT takviyeli karbon fiber kumaş sarımlı boru üretiminde mekanik karıştırıcı, ultrasonik karıştırıcı, otoklav ve vakum yöntemi kullanılmıştır. Üretim süreci sırasıyla;

Karbon fiber kumaş soğuk muhafaza edilmesi gerektiği için muhafaza edilen yerden çıkartılıp, oda sıcaklığında 5 dakika bekletilir. Takviye malzemesi olarak kullanılan ÇDKNT, otoklava uygun epoksi reçine sisteminin içerisine %0,3 oranında karıştırılıp hassas terazi yardımıyla hazırlanır. Karışım daha sonra 15 dakika boyunca mekanik karıştırıcıda, 20 dakika boyunca da ultrasonik karıştırıcıda karıştırılarak homojenizasyonu sağlanır. Mekanik ve ultrasonik karıştırıcılar Şekil 15'te gösterilmiştir.

Dış çapı 72 mm uzunluğu 1000 mm olan kalıp boru, karbon fiber kumaşın homojen şekilde sarımı için 80 °C kadar ısıtılır ve sarım makinesine bağlanır. Boru üzerine kalıptan kolay çıkartılması amacıyla kalıp ayırıcı sürülür. Hazırlanan KNT'li reçine sarım esnasında karbon fiber kumaş yüzeyine disperse edilerek 10 kat karbon fiber kumaş sarılmıştır.



Şekil 15.a)Mekanik Karıştırıcı, b)Ultrasonik Karıştırıcı

Oluşturulan yarı mamul vakum torbasına yerleştirilir. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan vakum pompası ile karbon fiber kumaş sarımlı boru içerisinde ki hava boşlukları uzaklaştırılır. Son aşama da 80 °C de 6 bar iç basınçta azot gazı verilerek 6 saat boyunca otoklavda kürlenmesi için bekletilir ve oda sıcaklığına kadar doğal soğumaya bırakılarak nihai ürün elde edilir.



Şekil 16. 80°C ve 6 bar Basınçta Otoklav Fırını

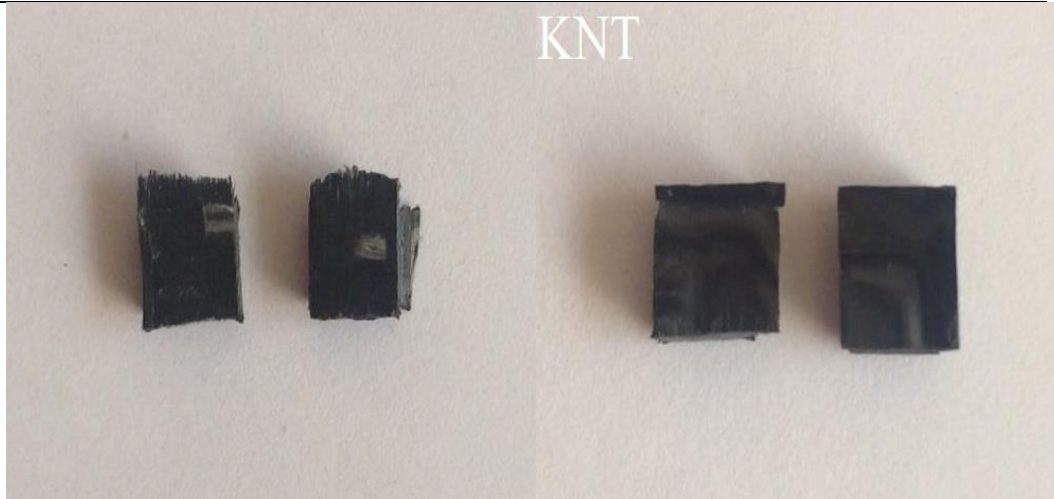
4.3. Numunelerin Boyutlandırılması

Düşük hızlı darbe testi, termal gravimetre testi ve diferansiyel taramalı kalorimetre testi için dış çapı 72 mm uzunluğu 1000 mm ve kalınlığı $3\pm 0,05$ mm olan ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz borular standartlara uygun olarak kesilmiştir. Darbe testi için 260 mm uzunluğunda bir adet ve 240 mm uzunluğunda 2 adet numune kesilmiştir. Kesilen numuneler Şekil 17’de ve Şekil 18’de gösterilmiştir. Kesme işlemi Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi laboratuvarında şerit testere ile yapılmıştır. TGA ve DSC testleri için 2 mm x 2 mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Kesilen numuneler Şekil 19’da ve Şekil 20’de gösterilmiştir.



Şekil 17. KNT Takviyesiz Darbe Numuneleri

Şekil 18. KNT Takviyeli Darbe Numuneleri



Şekil 19. KNT Takviyesiz TGA/DSC ve SEM Numuneleri

Şekil 20. KNT Takviyeli TGA/DSC ve SEM Numuneleri

4.4. Düşük Hızlı Darbe Testi

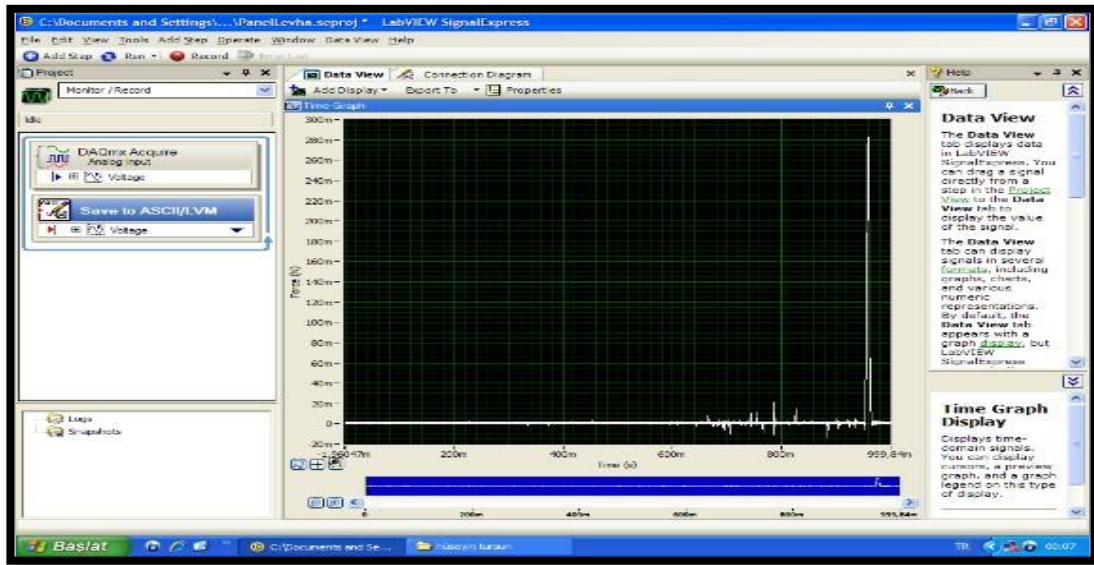
Düşük Hızlı Darbe Testleri; Necmettin Erbakan Üniversitesi Uzay ve Havacılık Fakültesi Test Laboratuvarında bulunan test düzeneği, serbest düşme ağırlık sistemiyle çalışan darbe test cihazında 24 mm çapında yarı küresel darbe ucuyla, 58 J enerji seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Testlerde, 72 mm çapında hazırlanan darbe test numuneleri kullanılmıştır. ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olarak oluşan 3'er adet test numunesi toplamda 6 test numunesi için gerçekleştirilmiştir. Her numunenin farklı yerlerine birden fazla darbe uygulanmıştır.

Darbe yüklemesi için serbest düşme ağırlık sistemi üzerinde toplam 6,35 kg ağırlık kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan kuvvet algılama CB Quartz ICP Force Sensor modelidir. 6 kN ölçme kapasitesi vardır. Model Şekil 21.'de gösterilmiştir.



Şekil 21.PCB Quartz ICP Force Sensor Modeli

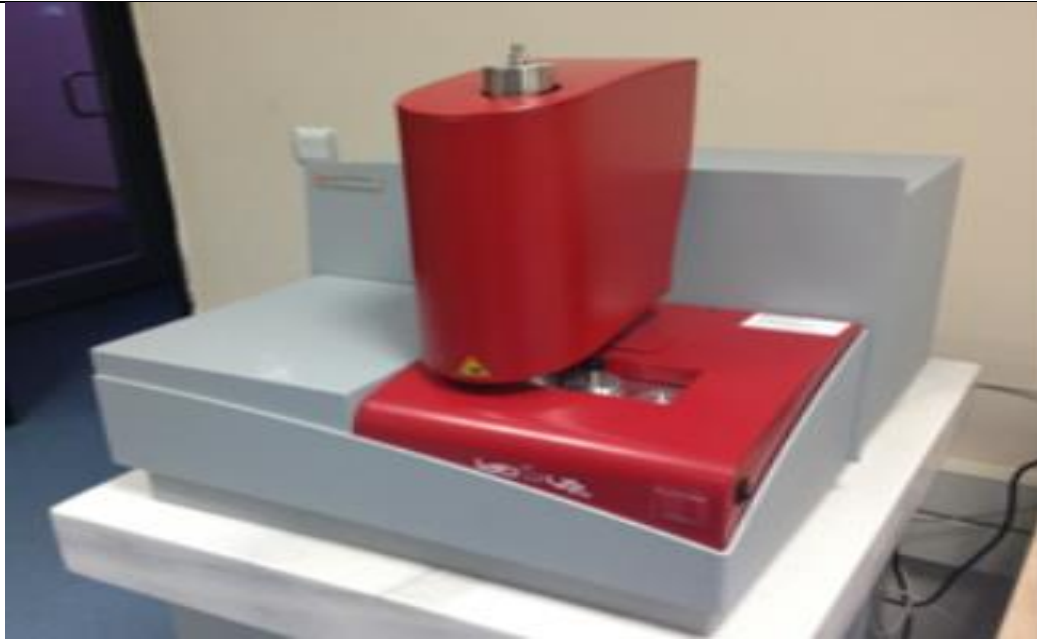
NI Signal Express yazılımıyla zamana göre kuvvetin değişim grafiği elde edilmiştir. Yazılım sinyalin özelliklerini belirlemektedir. Örneğin; kaç saniye boyunca sinyal alınacağı, saniyede kaç veri alınacağı ayarlanabilmektedir. Yazılım ekranı Şekil 22.'de gösterilmiştir.



Şekil 22. NI Signal Express Yazılımı

4.5. Termal Gravimetre Analizi Ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi

TGA/DSC testi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM) Laboratuvarında bulunan test düzeneğinde, 10 °C/dk ısıtma hızı ve 25-1000 °C ısıtma aralığında gerçekleştirilmiştir. Testlerde, (2x2) mm ölçülerinde hazırlanan numuneler kullanılmıştır. ÇDKNT takviyeli ve takviyesiz olarak oluşan 6'şar adet test numunesi toplamda 12 test numunesi için gerçekleştirilmiştir. TGA/DSC analizi için test düzeneği Şekil 23.'te gösterilmiştir.



Şekil 23.TGA/DSC Test Düzeneği

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre ile termal karakterizasyon, değişimlerin absorbe edilen veya açığa çıkan ısının, sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmesi ve tanımlanması temeline dayanmaktadır. DSC yöntemi ile maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristalleşme ve termal bozunma yapıları incelenir. DSC hücresi esas olarak iki adet kalorimetreden oluşur. Bunlardan birine örnek içeren kapsül diğerine referans içeren kapsül yerleştirilir. Değişen sıcaklıkla birlikte her iki kapsüle aktarılan ısı farkı milivolt olarak algılanarak buradan örnek kapsülündeki örneğin aldığı veya verdiği ısı kayıt edilir. Bu ısı farkı organik veya inorganik esaslı herhangi bir malzemedeki enerji alışverişi ile paralel giden herhangi bir fiziksel veya kimyasal değişimi sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak açıklayabilme olanağı verir. Bu tür termal analizde de örnek madde ve bir referans maddesi belli bir sıcaklık programı altında kontrollü olarak ısıtılır veya soğutulur. Bu esnada eğer referans maddede fiziksel ya da kimyasal bir değişiklik oluyorsa ya enerji açığa çıkacak ya da enerji absorbe edilecektir.. Dolayısıyla referans madde ve örnek sıcaklıklarını aynı düzeyde tutabilmek için sistem tarafından örnekten ısı alınması veya örneğe ısı verilmesi gerekir. Bu ısı alışverişi, örnek maddenin geçirdiği dönüşümde söz konusu olan enerji değişimi ile aynıdır (Toğrul, 1995).

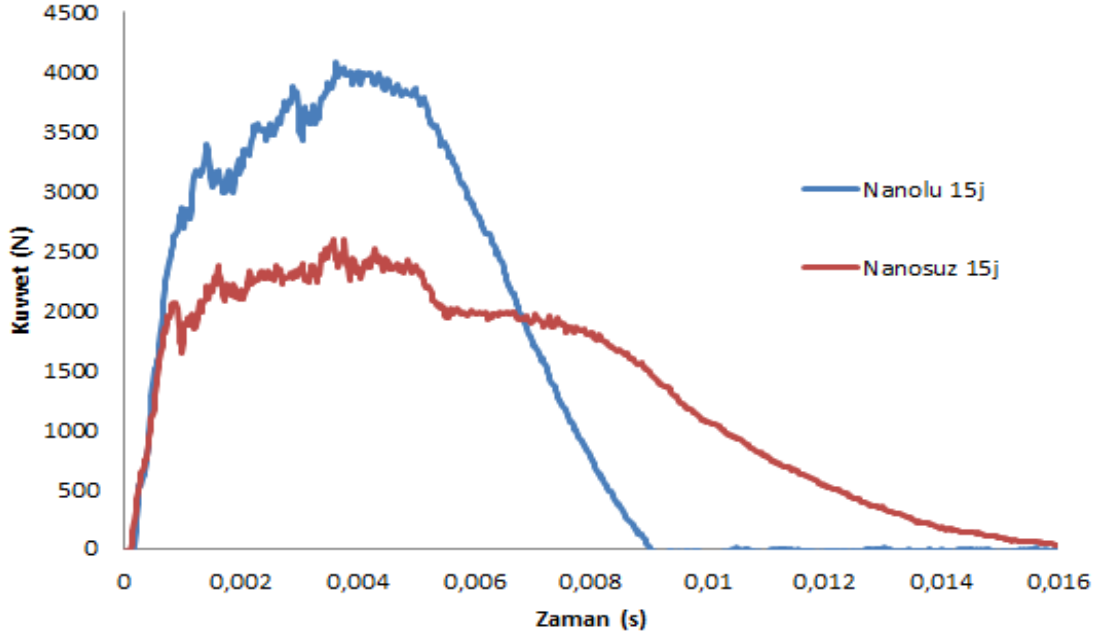
Termogravimetrik analiz tekniği bir maddenin sıcaklığındaki değişim sırasında meydana gelen dönüşümlerdeki ağırlık değişimlerini kantitatif olarak verir. Örneğin bir maddenin dehidrasyonu veya bozunması sırasındaki ağırlık değişimlerini zaman veya sıcaklığa bağlı olarak gözlemek olanağı vardır. Ağırlık değişimi yüksek sıcaklıklarda fiziksel veya kimyasal bağların kopması veya oluşumu sonucunda meydana gelir. Bu esnada ortaya çıkacak uçucu maddeler sistemden ayrılacağı için ağırlıkta azalma kaydedilir. TGA verileri çeşitli kimyasal tepkimelerin mekanizması ve termodinamiğini aydınlatılabileceği gibi oluşan ürünler hakkında da fikir verir (Toğrul, 1995).

Termogravimetrik yöntemden elde edilen bilgiler, DSC yönteminden elde edilen bilgilere oranla daha sınırlı olup, bunun başlıca nedeni sıcaklık değişiminin analitik kütlelerinde bir değişim oluşturması gerektiği içindir. Enerji değişimi yaratan dönüşümler (fiziksel veya kimyasal) mutlaka bir ağırlık değişimi yaratmayabilir. Saf bir katı maddenin ergimesi buna örnektir. Ergime sırasında dışarıdan enerji absorbe edilir fakat hiçbir ağırlık değişimi olmaz. Ancak bunun aksi doğrudur. Yani genellikle her ağırlık değişim prosesinde mutlaka bir enerji değişimi de olur. Bu esnada absorbe edilen veya serbest kalan enerji miktarı DSC yoluyla ölçülebilir (Toğrul, 1995).

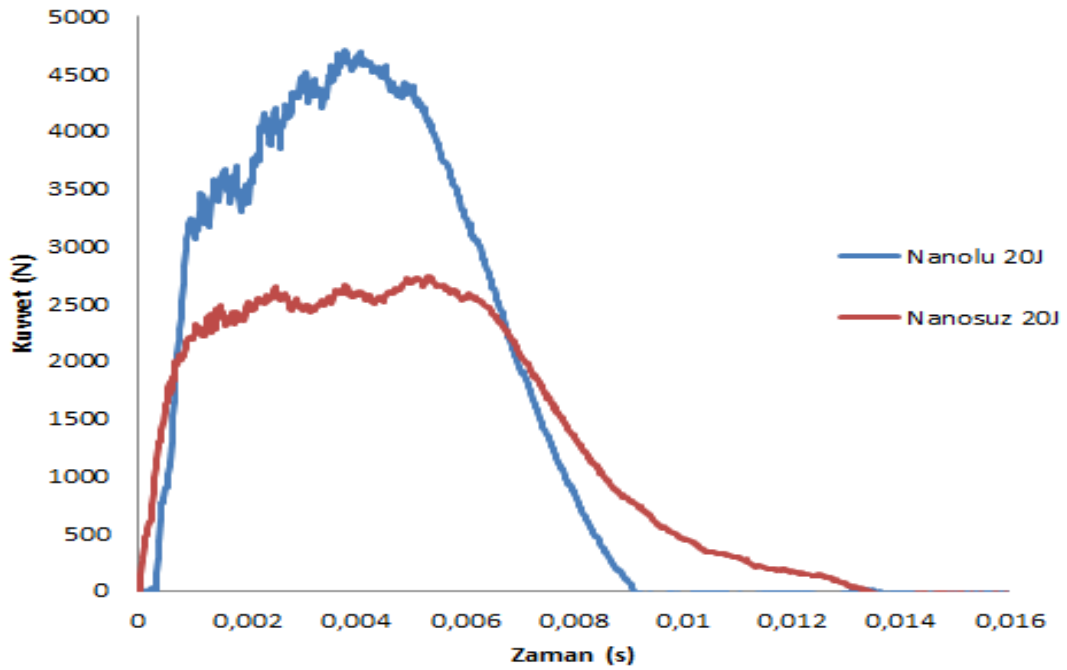
5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Mekanik Karakterizasyon Test Sonuçları

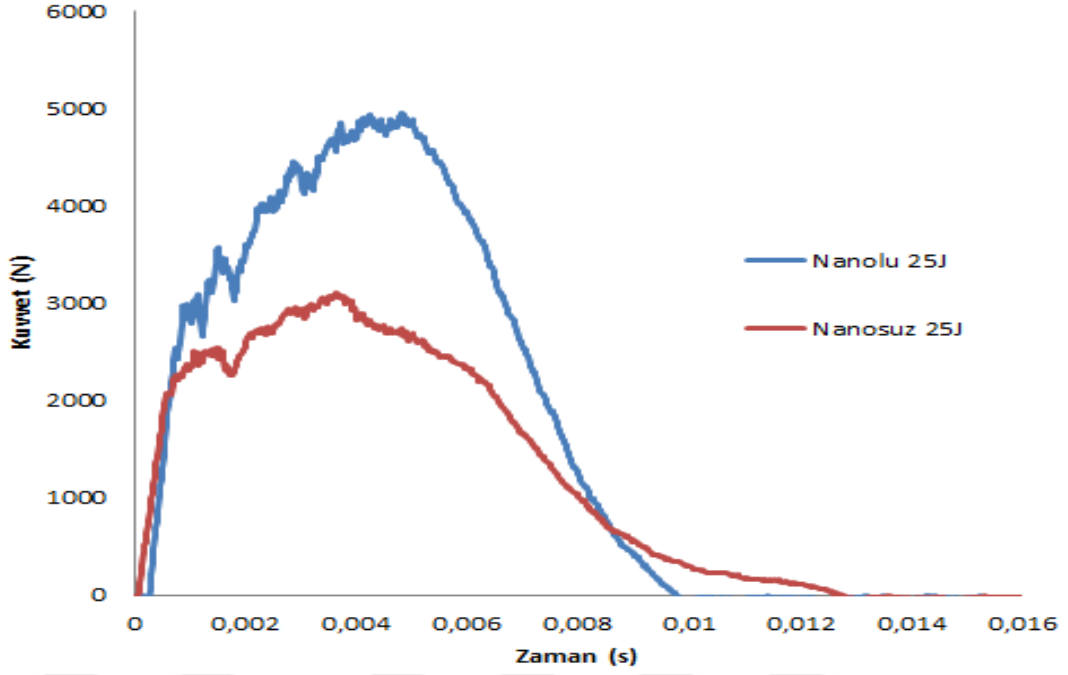
Çok duvarlı karbon nanotüp takviyeli ve takviyesiz numuneler 10 kat olacak şekilde karbon fiber kumaş sarım, vakum torbalama ve otoklav yöntemiyle üretilen 3'er adet, değişik noktalarına 4'er kez farklı değerlerde (15, 20 ve 25 joule) vurulan düşük hızlı darbe deney numunelerinin ortalamalarından veriler elde edilmiştir.



Şekil 24. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J'de Kuvvet-Zaman Grafiği

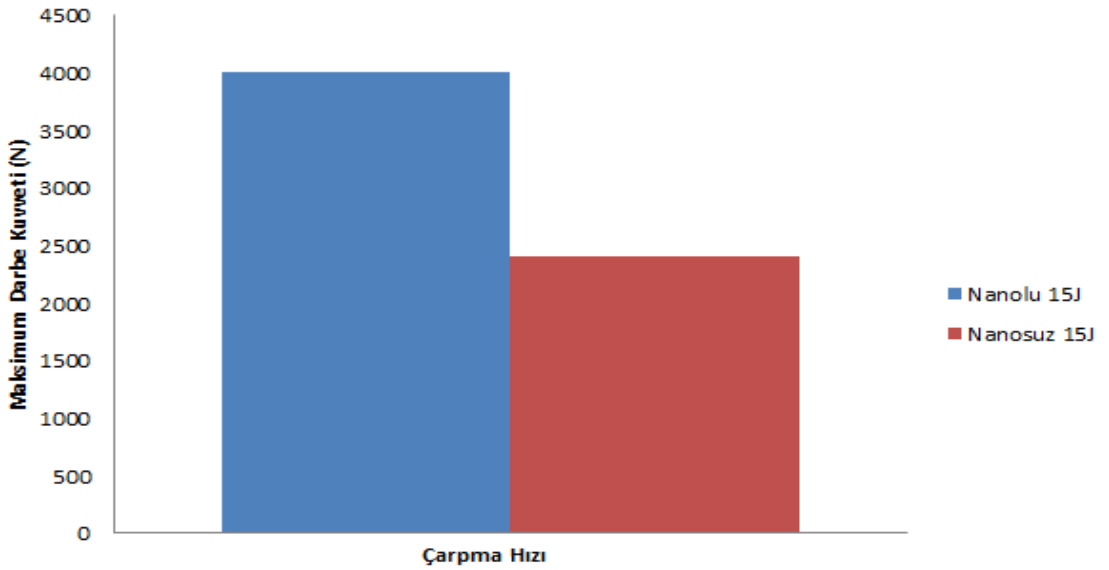


Şekil 25. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J'de Kuvvet-Zaman Grafiği

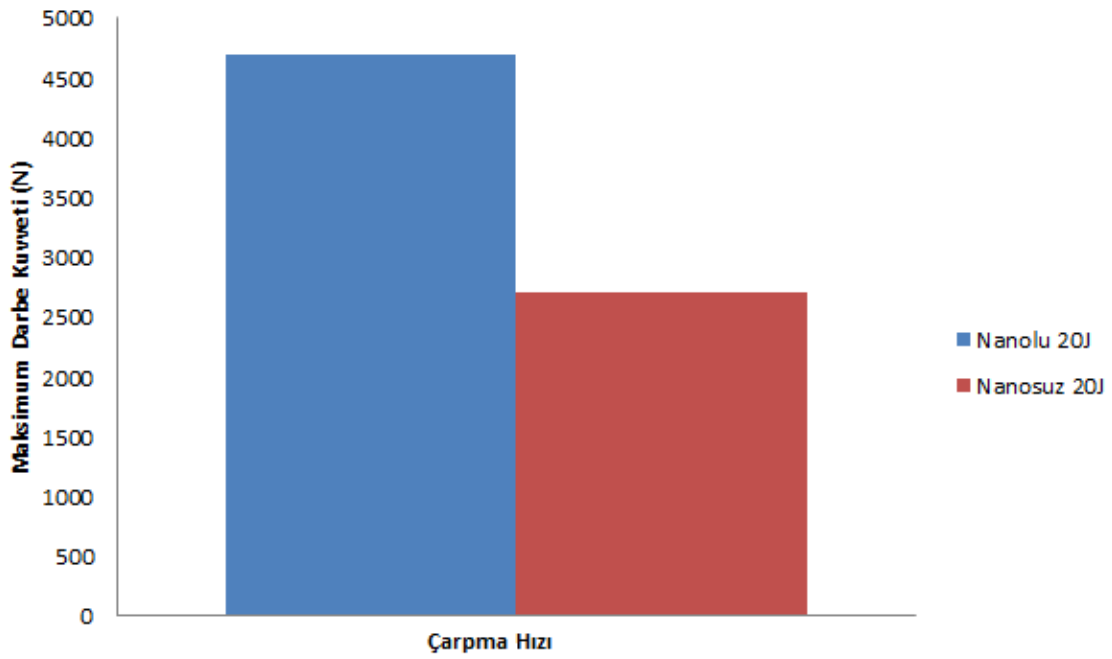


Şekil 26. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J'de Kuvvet-Zaman Grafiği

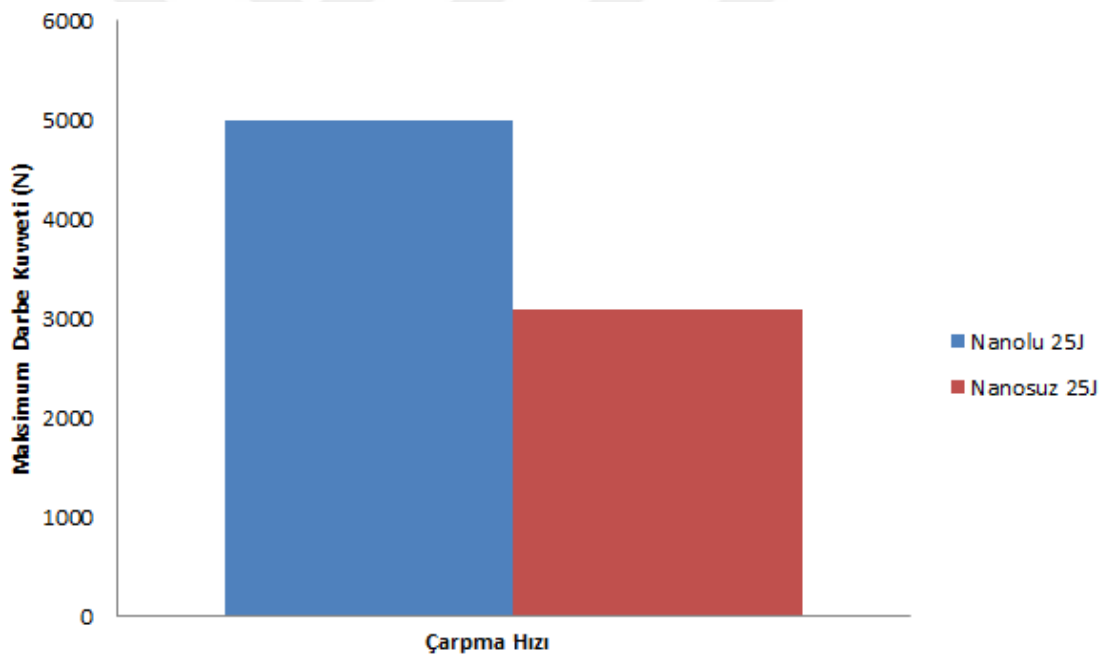
Şekil 24.'te, Şekil 25.'te ve Şekil 26.'da farklı darbe hızları için temas gücünün zamana karşı değişimini göstermektedir. Bu süreçte görüldüğü gibi, ilk temasta temas kuvveti artmaya başlar. Bu eğilim Hertzian hasarı ile karşılaşılıncaya kadar devam eder. Hertzian hasarı, kontakt bölgede karşılaşılan matris kırılma hasarı ile ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, borular yapısal bütünlüklerini kaybetmeyebilir ve uygulanan deformasyona karşı direnç gösterebilir. Böylece, ek temas gücü artışı gözlenir. KNT takviyesiz verilerde ayrıca temas kuvveti ortalama 2329 N değerine ulaştığında ve KNT takviyeli verilerde de 3196 N değerine ulaştığında, Hertzian hasarının veya matris çatlamasının meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 27. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J'de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği

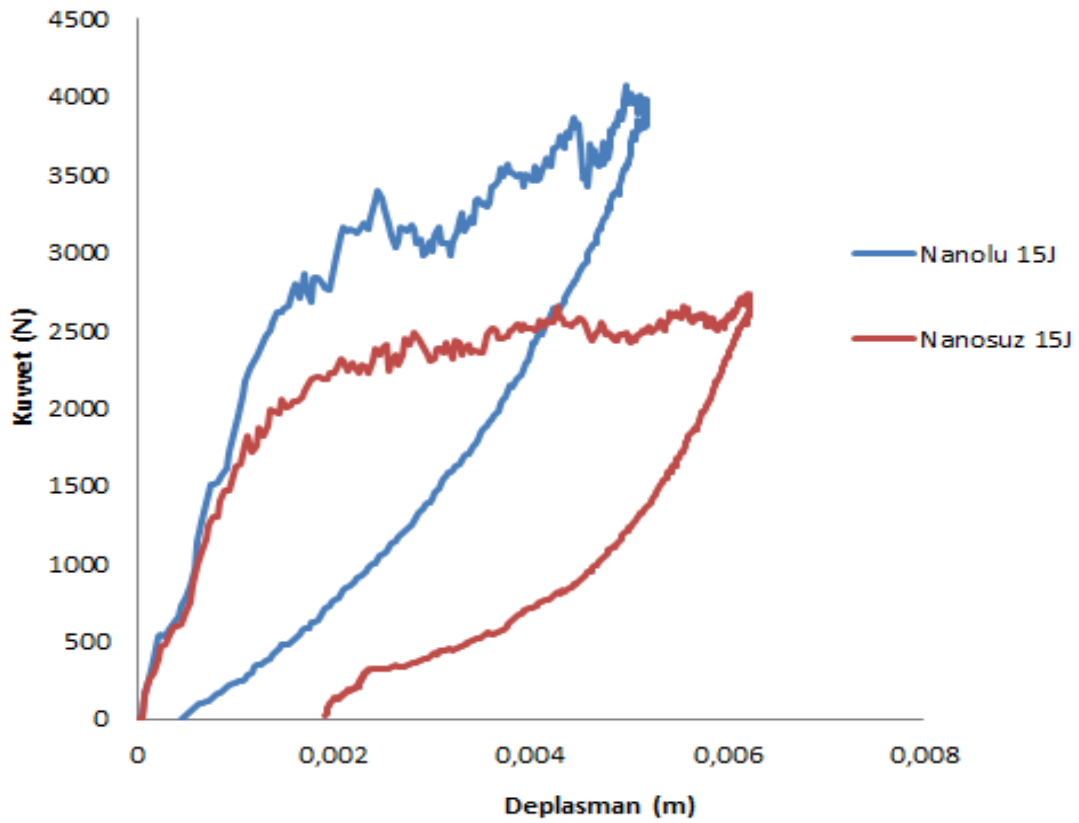


Şekil 28. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J'de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği

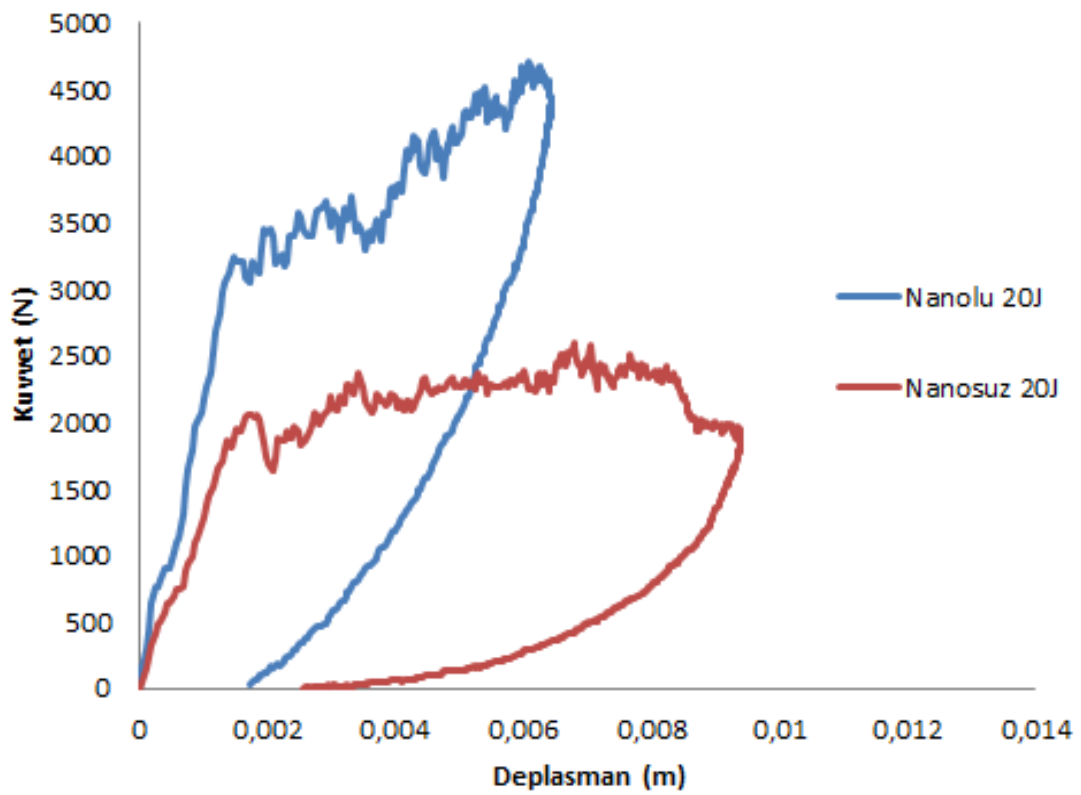


Şekil 29. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J'de Maksimum Darbe Kuvvet Grafiği

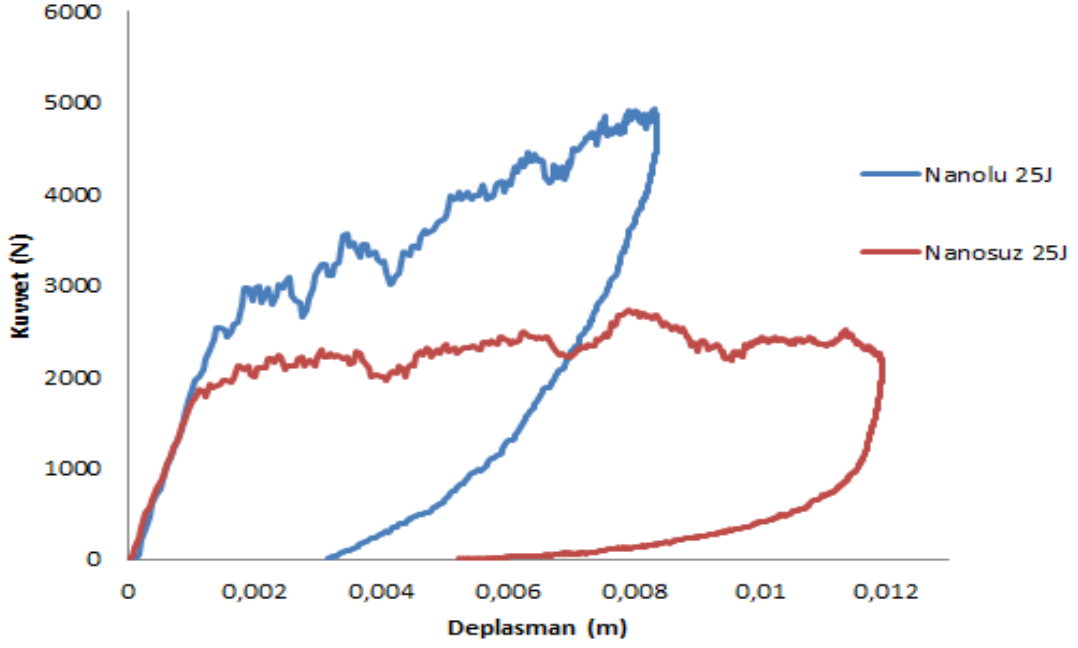
Şekil 27.'de Şekil 28.'de ve Şekil 29.da görüldüğü gibi, başlangıçtaki darbe hızları artarken, elde edilen maksimum temas kuvveti beklendiği şekilde artmaktadır. Maksimum temas kuvvetine ulaştıktan sonra, boruda depolanan elastik enerji serbest bırakılmaya başlar ve çarpma tertibatının geri tepmesini sağlar ve bu noktadan sonra darbe kuvvetinin azalması gözlemlenir.



Şekil 30. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J'de Kuvvet-Yer Değişirme Grafiği

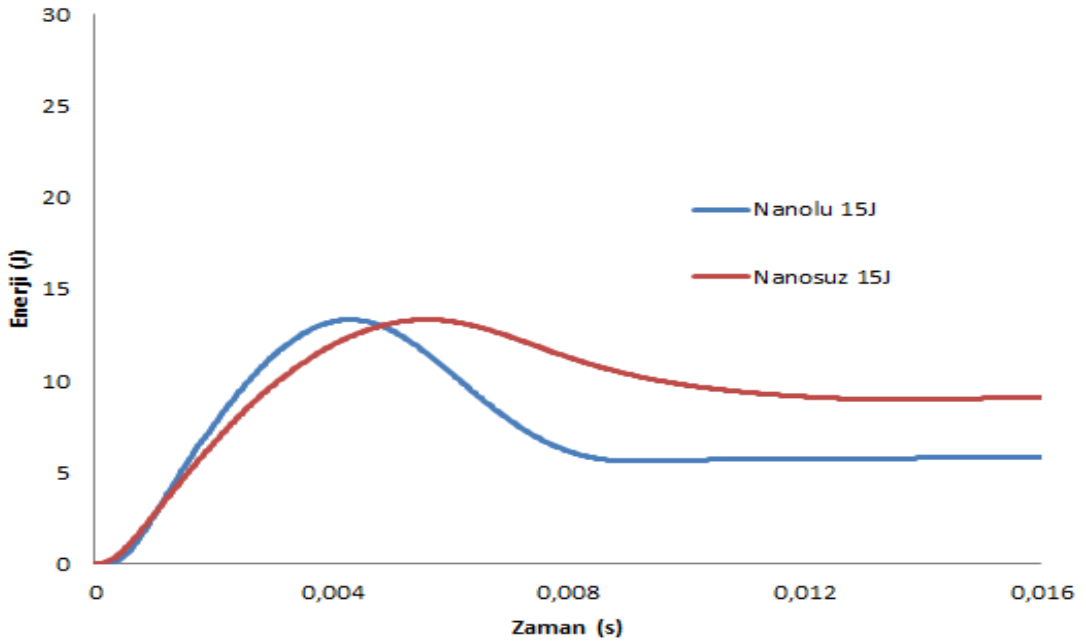


Şekil 31. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J'de Kuvvet-Yer Değişirme Grafiği

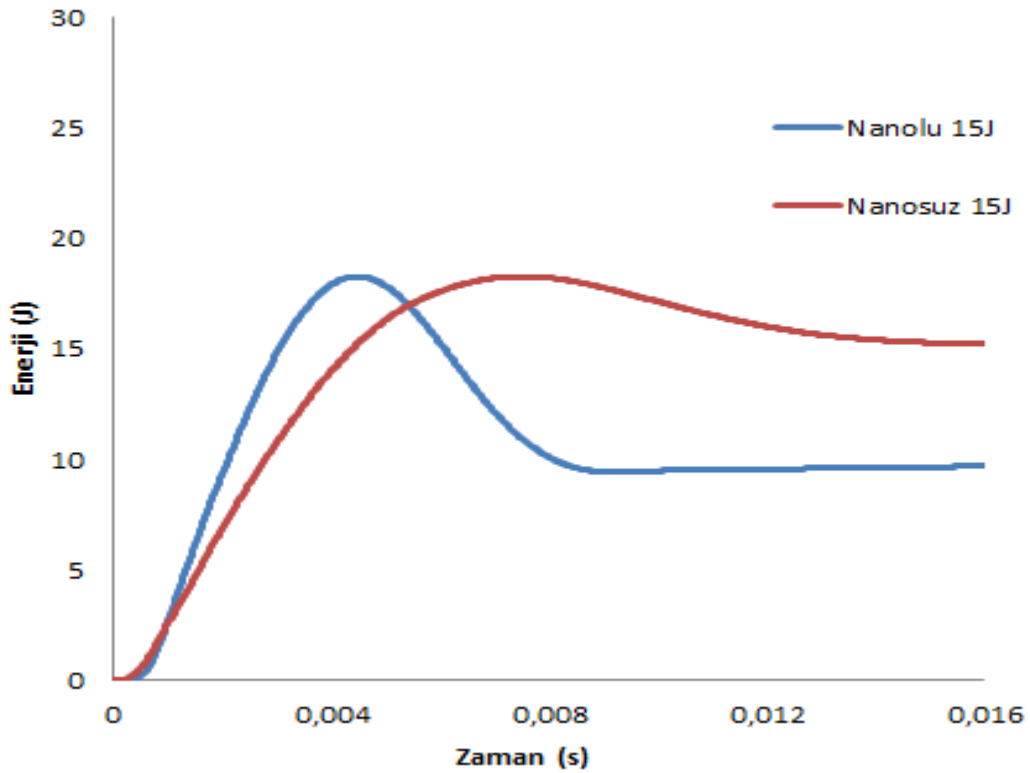


Şekil 32. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J'de Kuvvet-Yer Değiştirme Grafiği

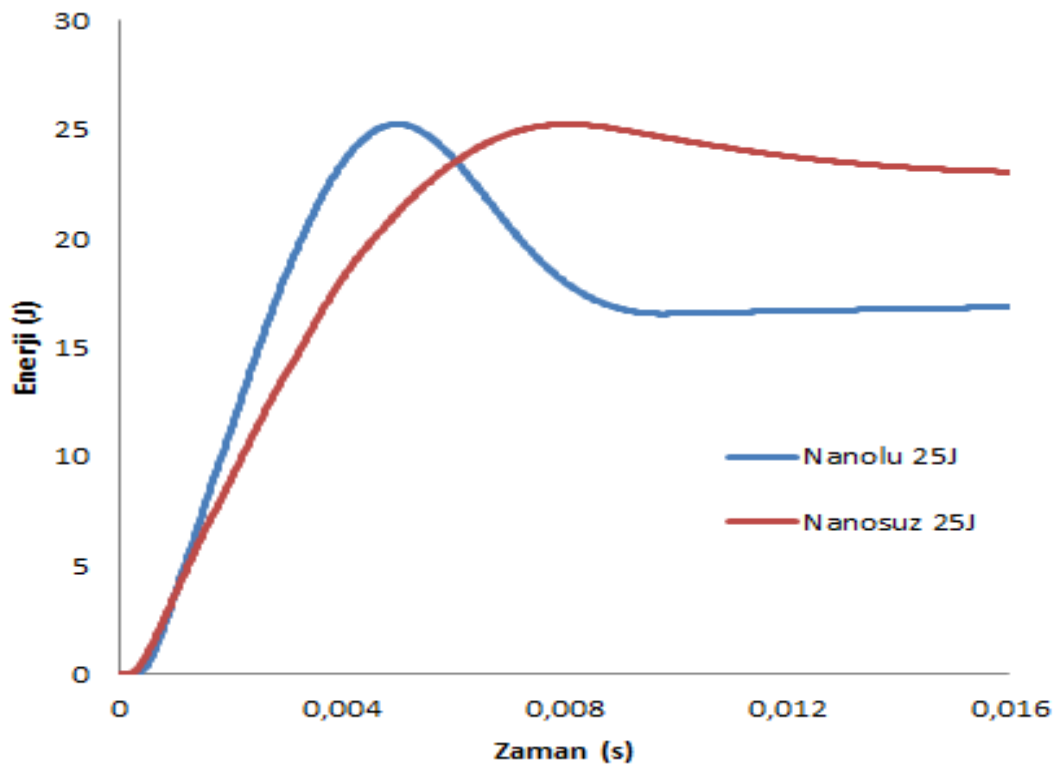
Şekil 30.'da Şekil 31.'de ve Şekil 32.'de boruların dikey yer değiştirmesine karşı temas kuvvetindeki değişimi göstermektedir. Temas kuvveti- yer değiştirme eğrisinin eğimi bükülme dayanımıdır. İki ayrı rejimi temsil eden iki farklı eğim gözlenmiştir. İlk rejim ilk girinti ile ilişkilendirilebilir. Temas kuvveti, boru duvarını bükmeye başladığında, daha düşük bir bükülme dayanımı rejimi gözlenir. Maksimum temas kuvvetine ulaşıldığında, yer değiştirme maksimum noktasına ulaşır. Bu noktadan sonra geri tepme rejimi başlar.



Şekil 33. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 15J'de Enerji-Zaman Grafiği



Şekil 34. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 20J'de Enerji-Zaman Grafiği



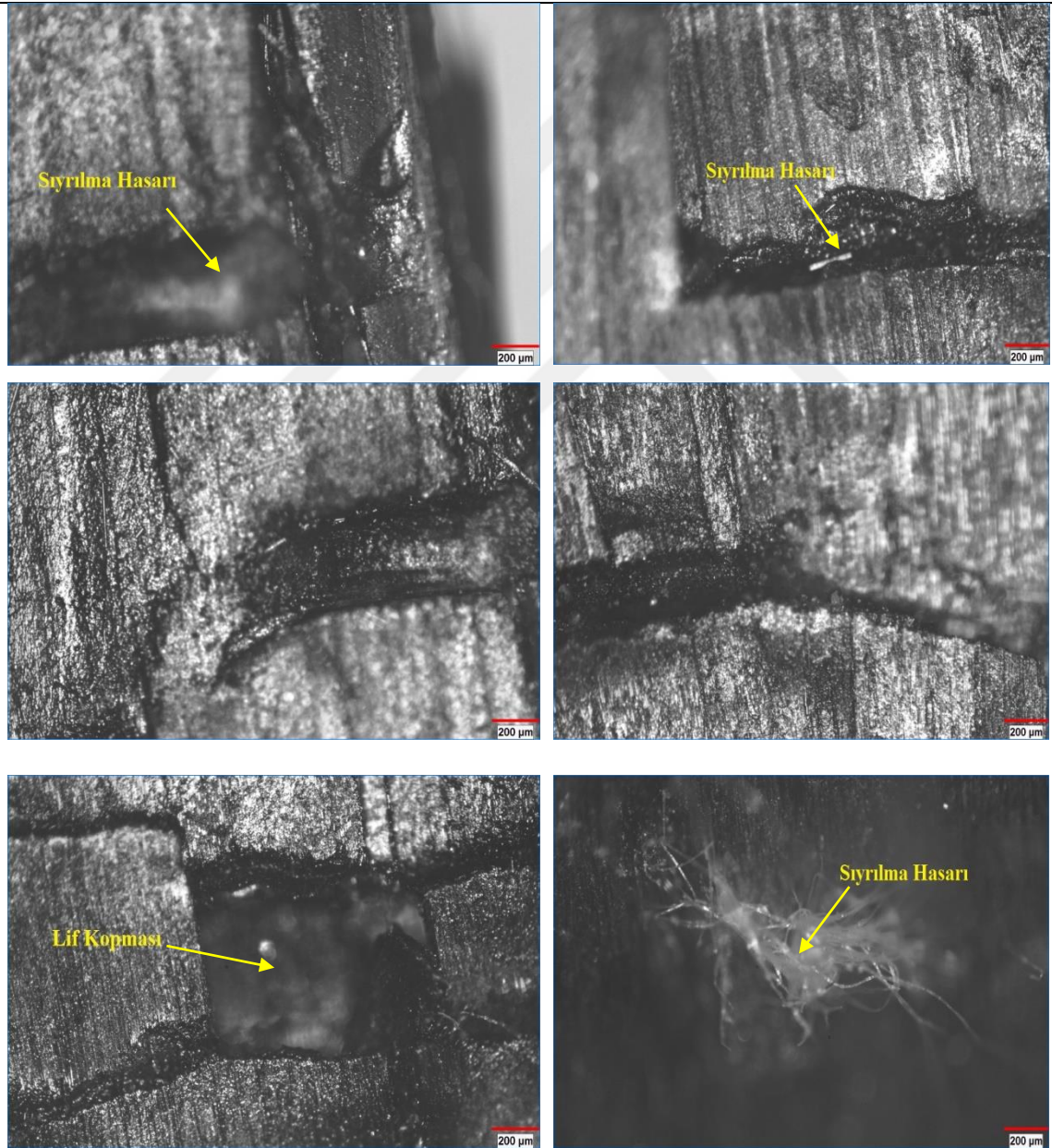
Şekil 35. KNT Takviyeli ve Takviyesiz 25J'de Enerji-Zaman Grafiği

Şekil 33.'de Şekil 34.'de ve Şekil 35.'de farklı darbe hızları için temas sırasındaki enerjiye göre zamandaki değişimi göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, etki

enerjisinin çoğunluğu dağılmış ve enerjinin azınlığı geri tepme için kullanılmaktadır. Ayrıca, bu örnekte, çarpma hızı arttıkça temas süresinin daha da büyüdüğü görülmektedir.

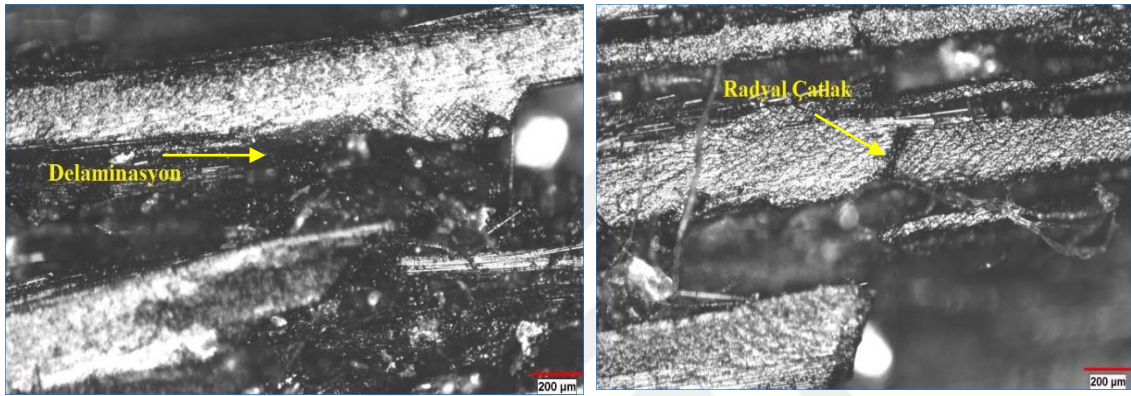
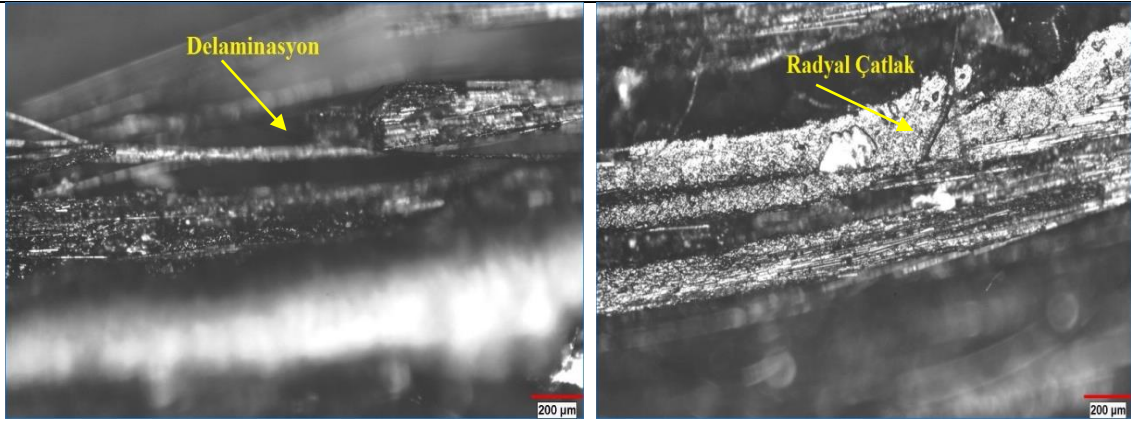
5.1.1. Düşük hızlı darbe deneyi deforme numuneleri

Deney sonunda farklı hızlarda teste tutulan ÇKDNT takviyeli (KNT 15J, KNT 20J ve KNT 25J) ve takviyesiz(15J, 20J ve 25J) numunelerin hasar bölgeleri Hardway markalı optik mikroskop yardımıyla tespit edilmiştir. Darbe sonucu yüzeyde meydana gelen hasarları da yüksek çözünürlüklü CANON marka fotoğraf makinesiyle tespit edilmiştir. Tespit edilen bölgeler Şekil 36.'da ve Şekil 38.'de gösterilmiştir.

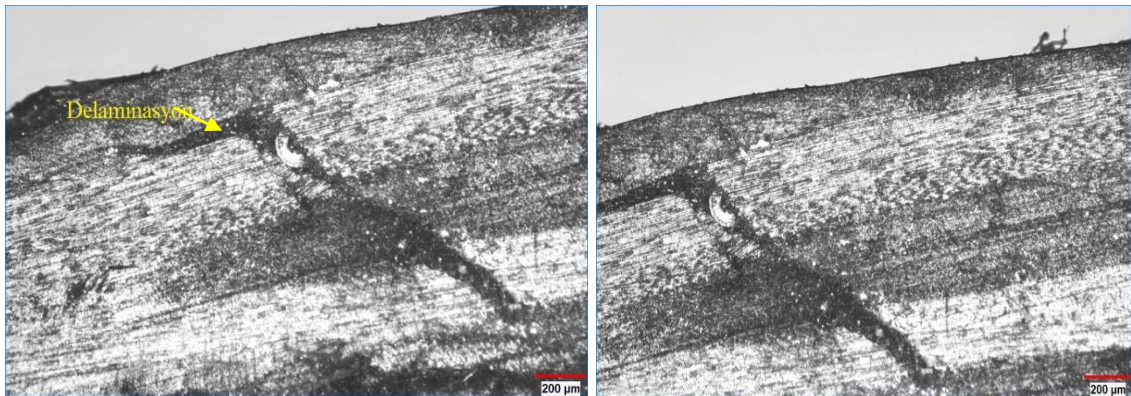


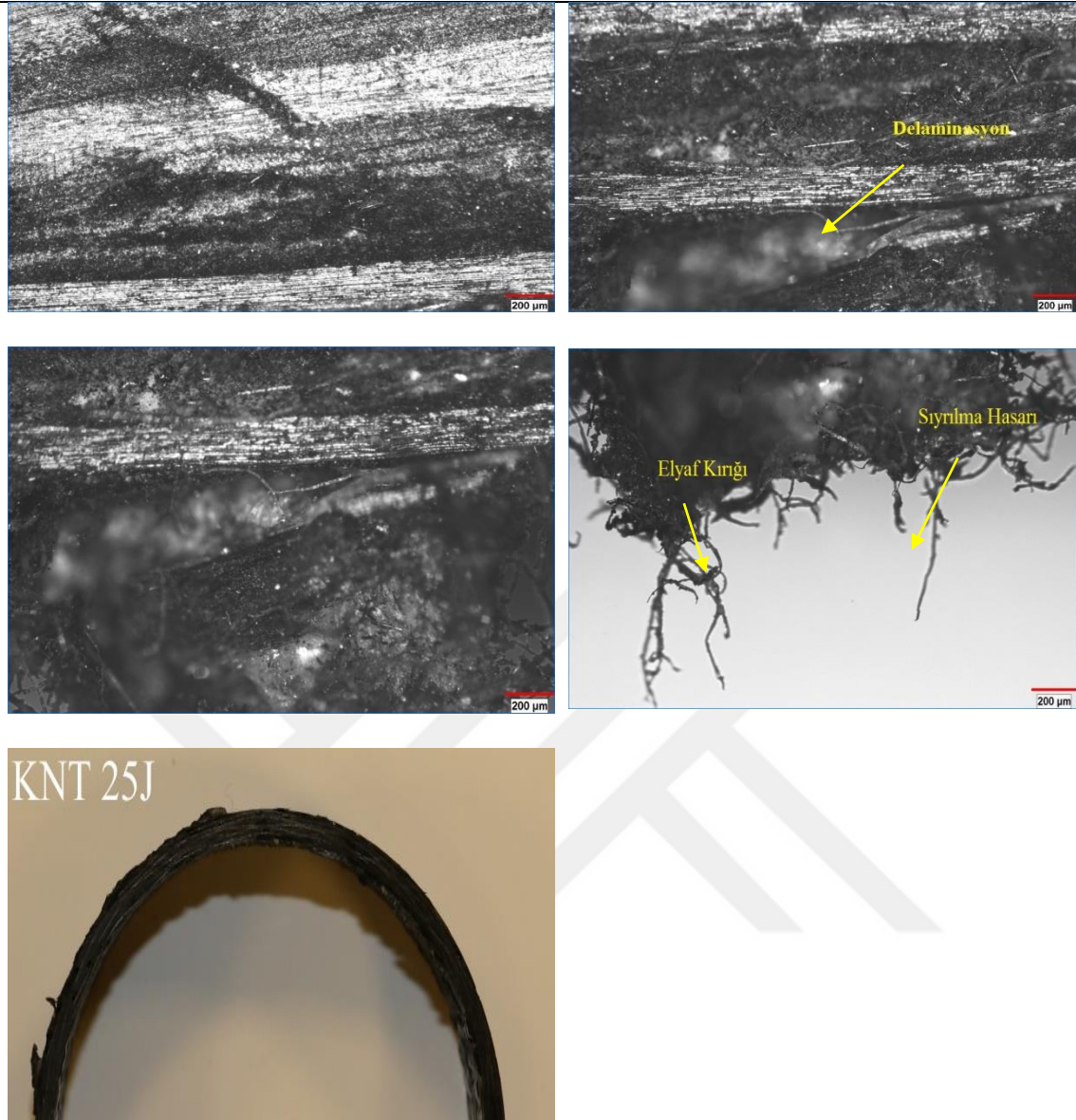
Şekil 36. KNT Takviyesiz Eksenel Yönde Dış Yüzey Hasar Mekanizması

Şekil 38. KNT Takviyesiz Radyal Yönde Dış Yüzey Hasar Mekanizmaları



Şekil 37.KNT Takviyesiz Boru Et Kalınlığındaki Hasar Mekanizmaları





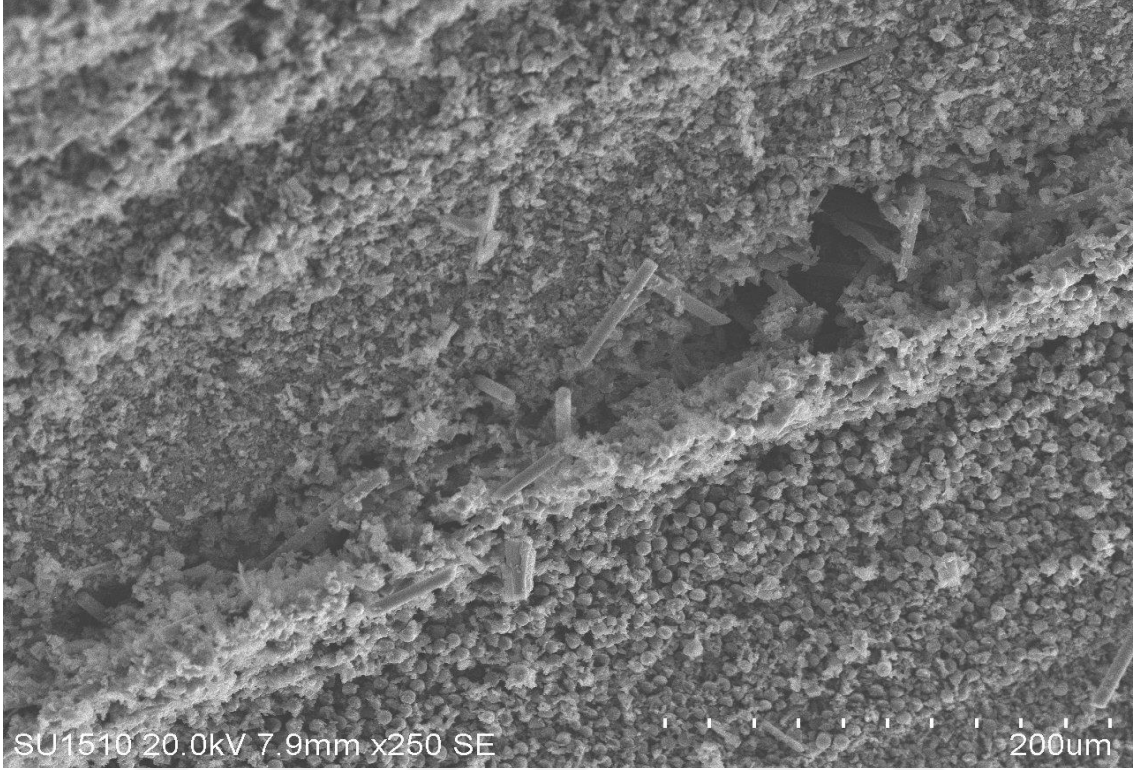
Şekil 39.KNT Takviyeli Boru Et Kalınlığındaki Hasar Mekanizmaları

5.1.2. Elektron taramalı mikroskop (SEM) sonuçları

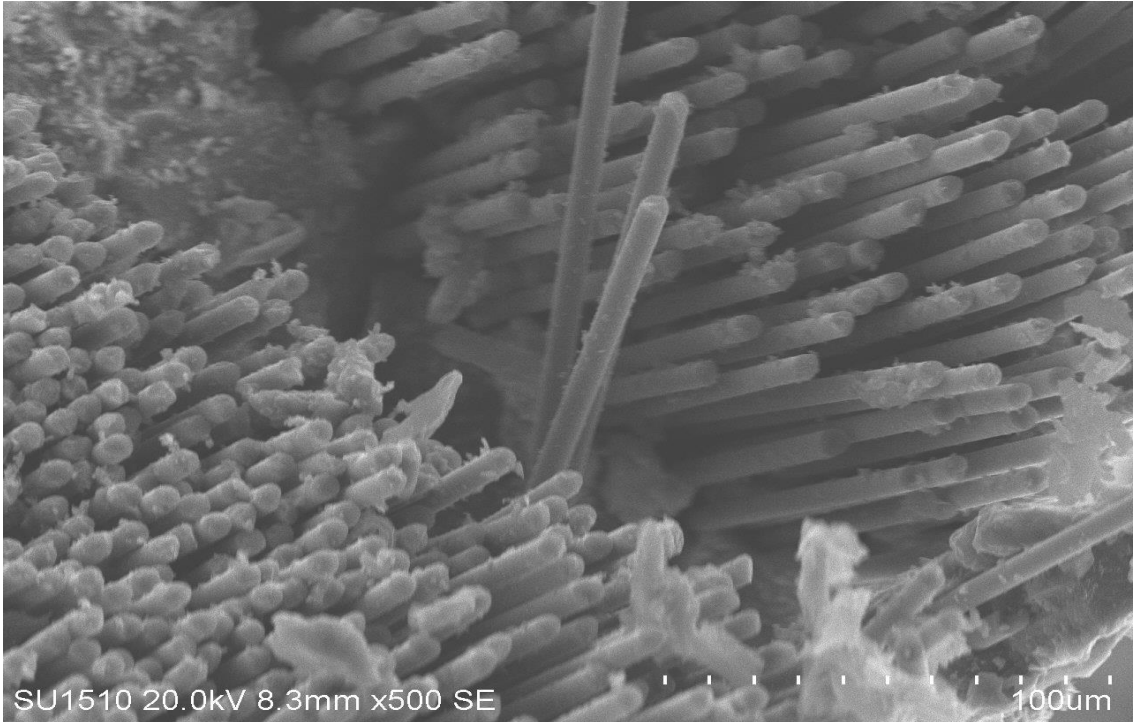
Deney numunelerinin mekanik testleri sonucunda elde edilen kırılma yüzeyleri iletken yüzey elde etmek ve daha iyi görüntü alabilmek için Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Uygulama Ve Araştırma Merkezinde (BİTAM) altına kaplanıp Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak çeşitli büyütme oranlarında incelenerek kompozitlerde ki ara yüzeyi ve aralarındaki etkileşim incelenmiştir.

SEM mikrograflarından matris sistemi olan epoksi reçinenin, takviye sistemi olan karbon fiber kumaşı ıslatabilirliğinin ve ara yüzey yapışmalarının başarılı olduğu düşünülmüştür. Mikrograflarda kumaş doğrultuları açıkça görülebilmektedir. Ayrıca, karbon elyaf oranlarının arttığı doğrultuda birim alana düşen elyaf miktarının arttığı ve

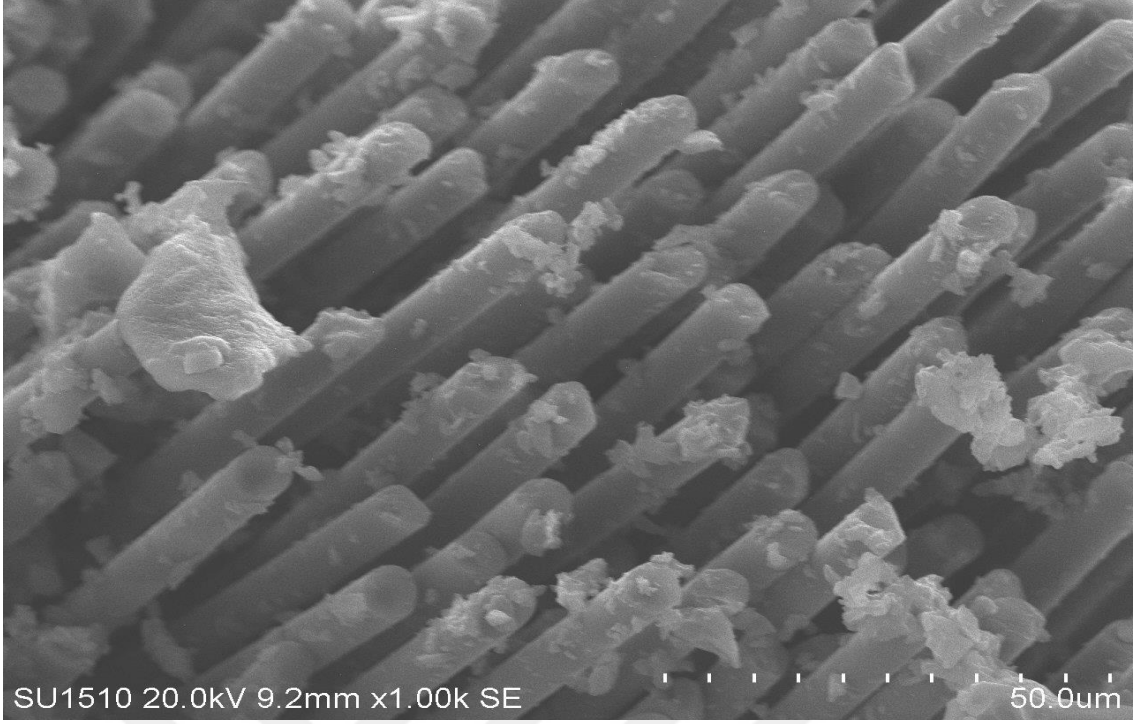
karbon elyafların düzenli dağılım gösterdikleri de açıkça görülmüştür. Matrisin kumaş üzerinde kalıcı plastik deformasyon yapışması olduğu görülüyor bu da yüksek ara yüzey bağına sahip olduklarını desteklemiştir.



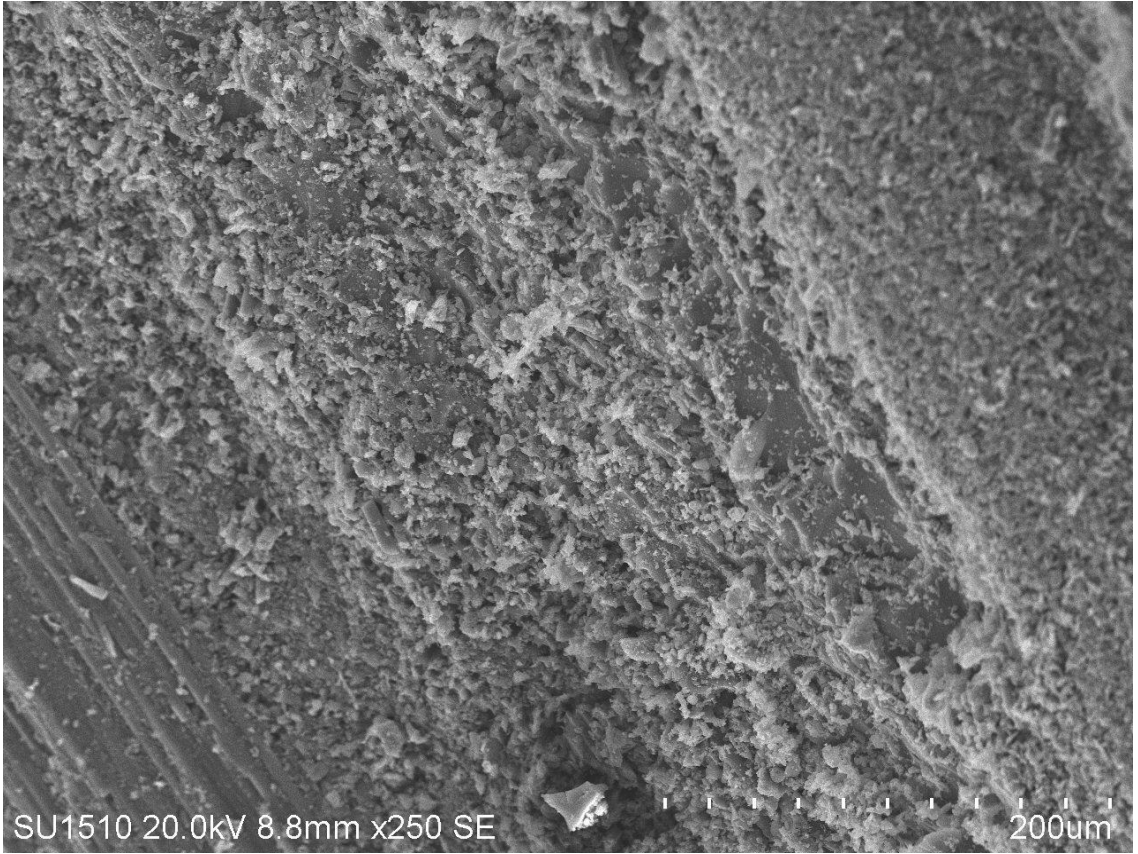
Şekil 40. KNT Takviyesiz Numunenin X250 SEM Mikrografi



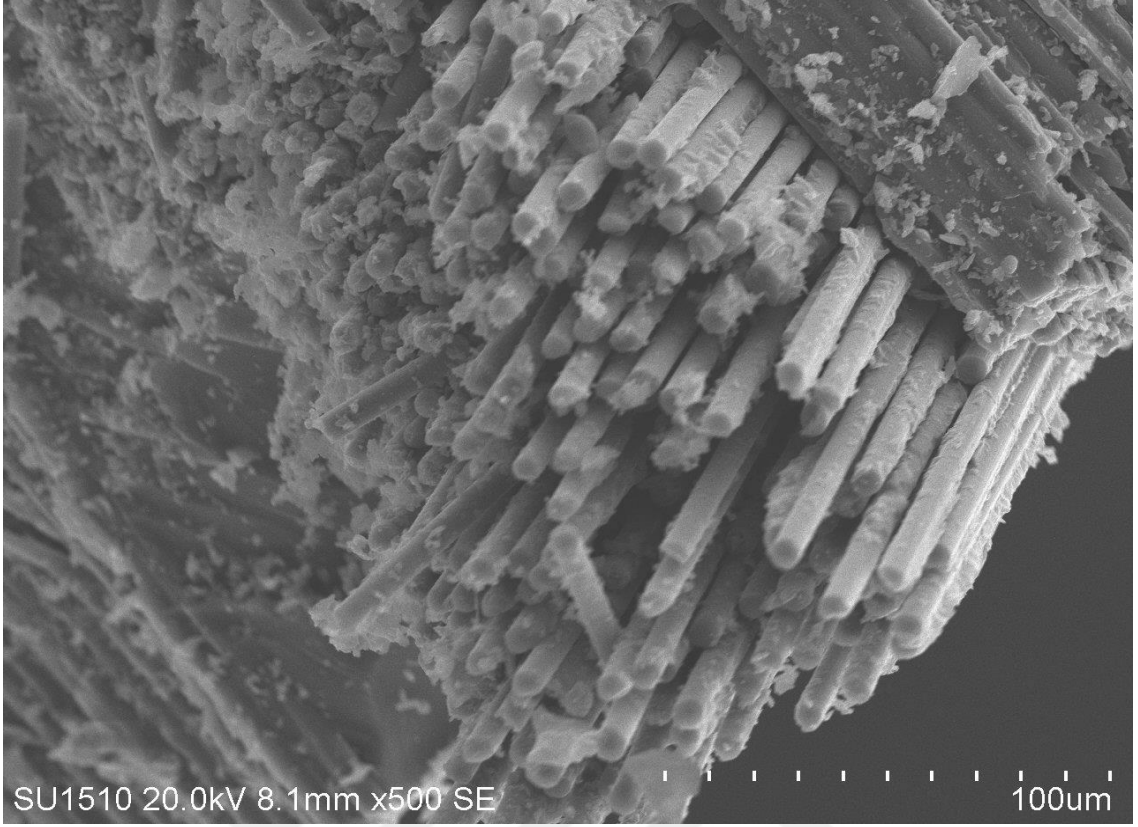
Şekil 41.KNT Takviyesiz Numunenin X500 SEM Mikrografi



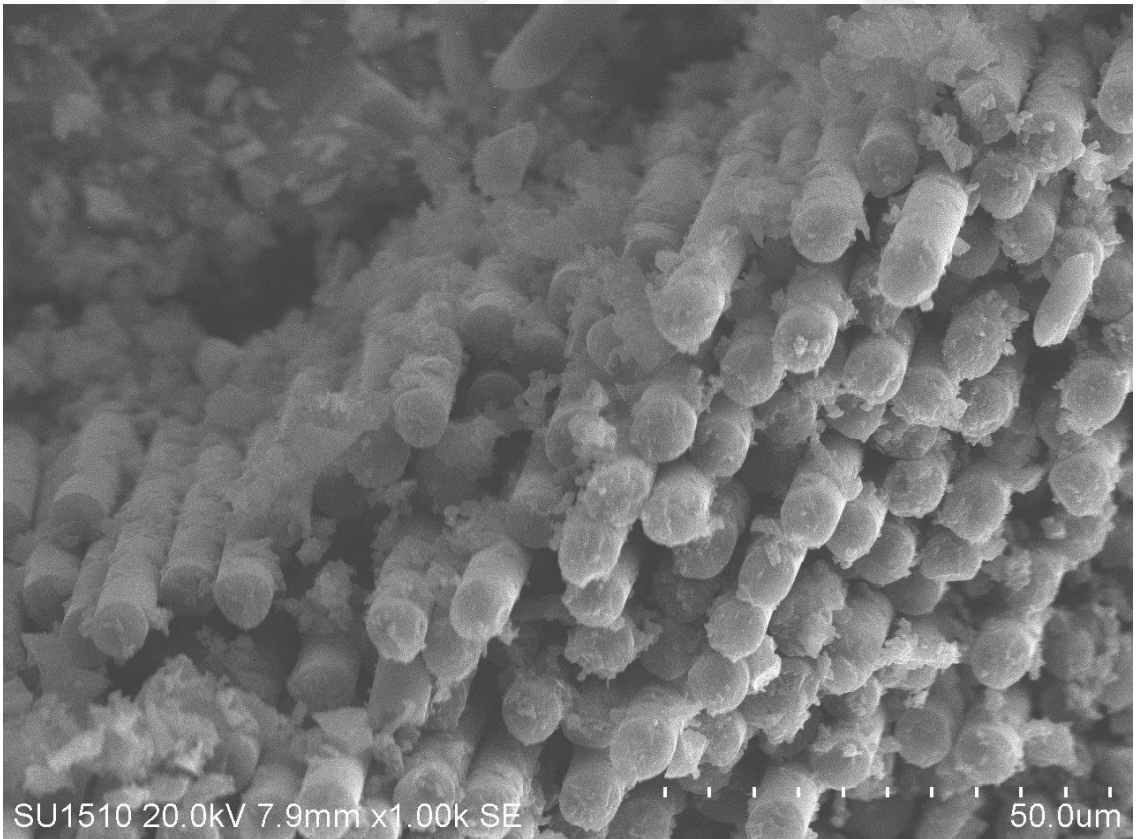
Şekil 42.KNT Takviyesiz Numunenin X1000 SEM Mikrografi



Şekil 43.KNT Takviyeli Numunenin X250 SEM Mikrografi



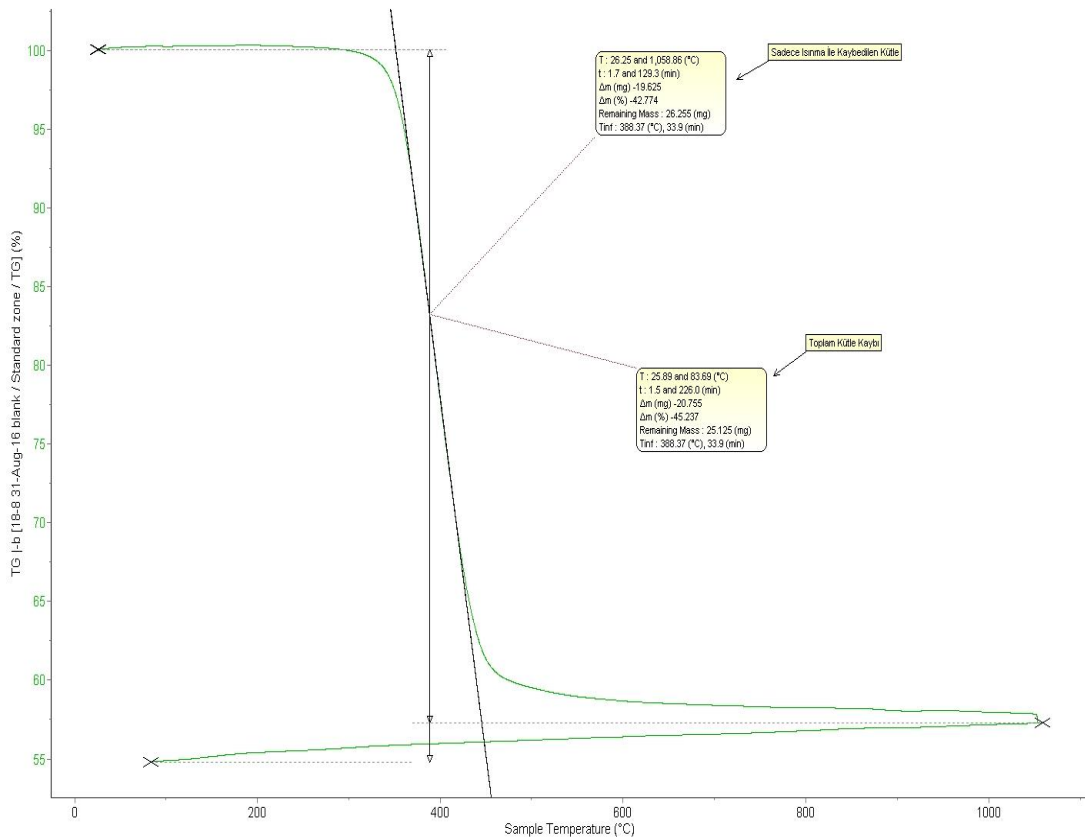
Şekil 44. KNT Takviyeli Numunenin X500 SEM Mikrografi



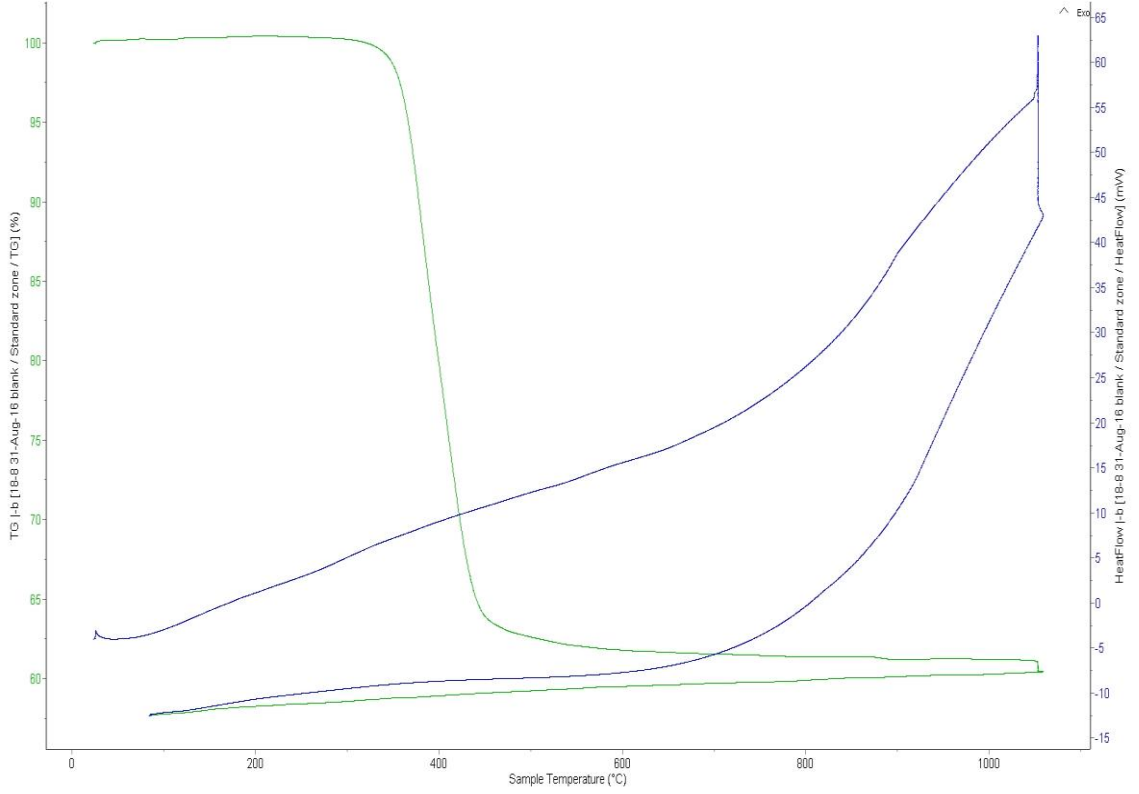
Şekil 45. KNT Takviyeli Numunenin X1000 SEM Mikrografi

5.2 Termal Karakterizasyon Test Sonuçları

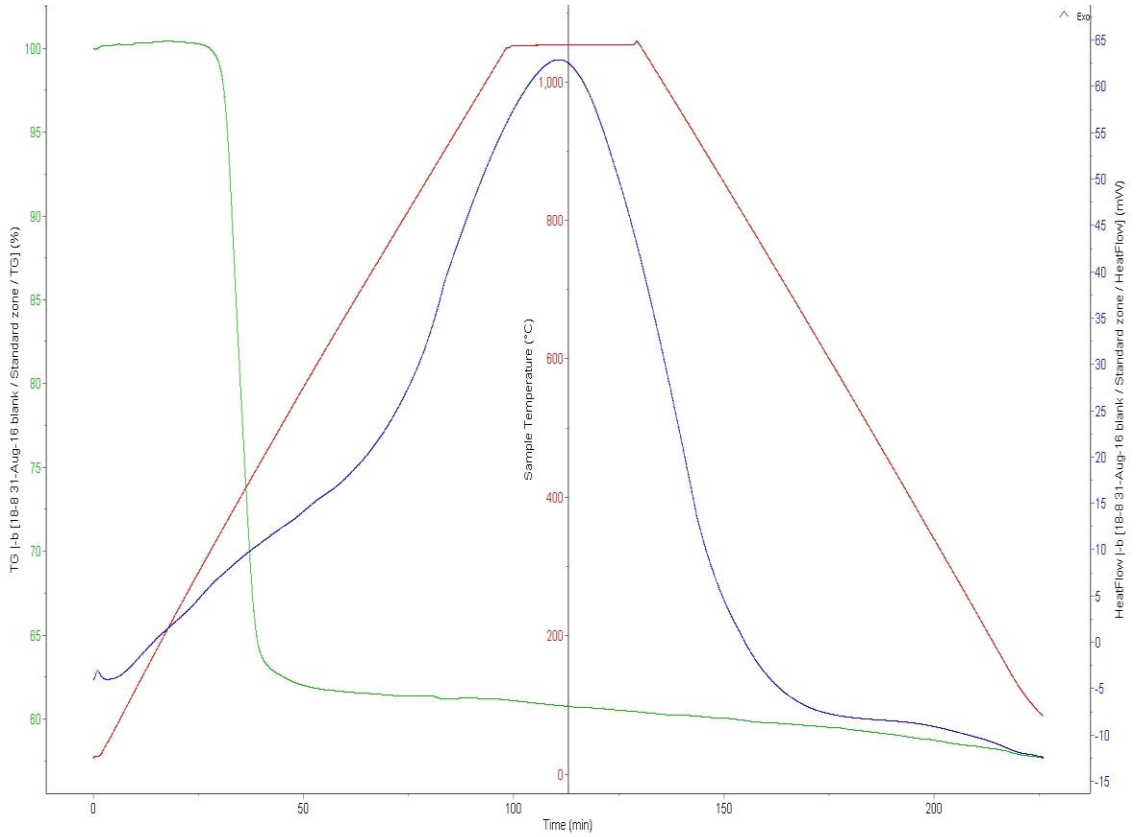
KNT takviyeli ve takviyesiz karbon fiber kumaş sarımlı kompozit numunelerin termal etki karşısında ne şekilde etkilendiği incelenmiştir. KNT takviyeli ve takviyesiz olan 6'şer boru numunelerinde yaklaşık 1 °C'lik farkın ölçüm esnasında çok küçük numune boyutu kullanılması veya cihazdan kaynaklanabileceği düşünülmüştür. TGA termogramları incelendiği zaman KNT takviyesiz numuneler için bozunma sıcaklığı değeri 388,37 °C ve toplam kütle kaybı 25,125 mg olarak bulunmuştur. KNT takviyeli numuneler için bozunma sıcaklığı değeri 424,32 °C ve toplam kütle kaybı 22,426 mg olarak bulunmuştur. Genel olarak epoksi reçinelerin bozunma sıcaklığı değeri yaklaşık 300-350 °C civarındadır. Karbon nanotüp ilavesi epoksi malzemenin termal dayanımını arttırmıştır.



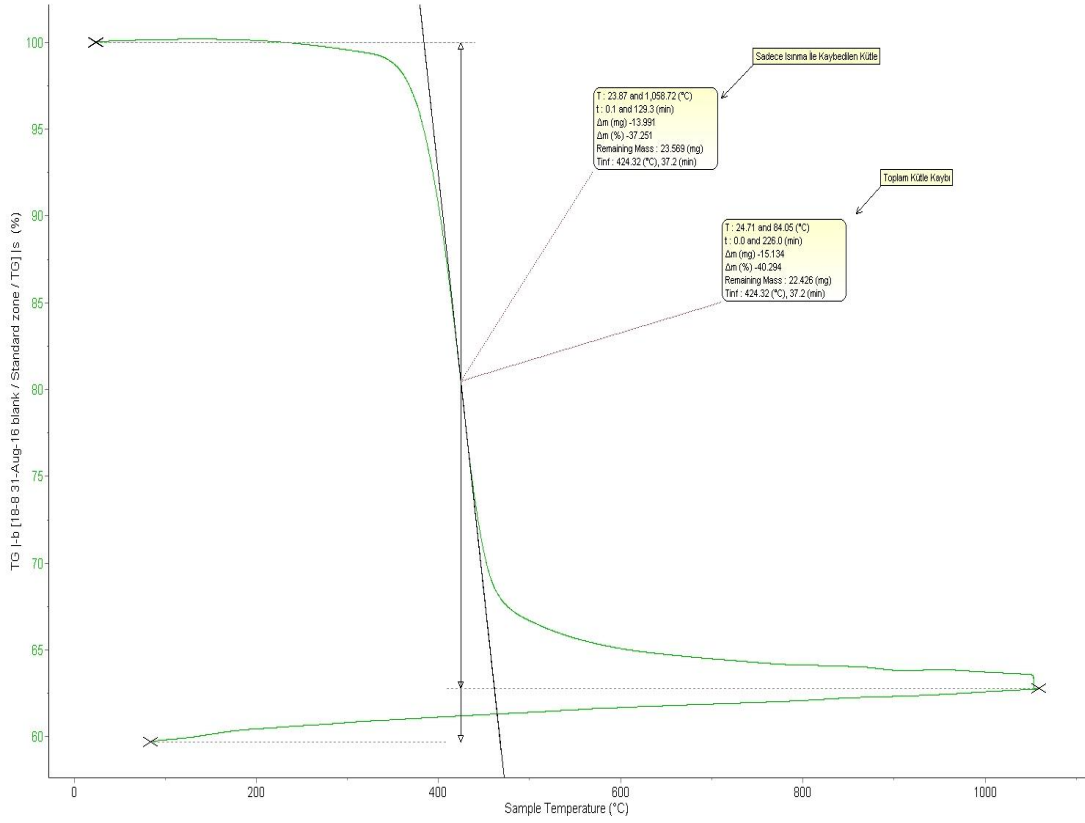
Şekil 46.KNT Takviyesiz Numunenin TGA Sıcaklık Skalası-Kütle Değişim Miktarı Grafiği



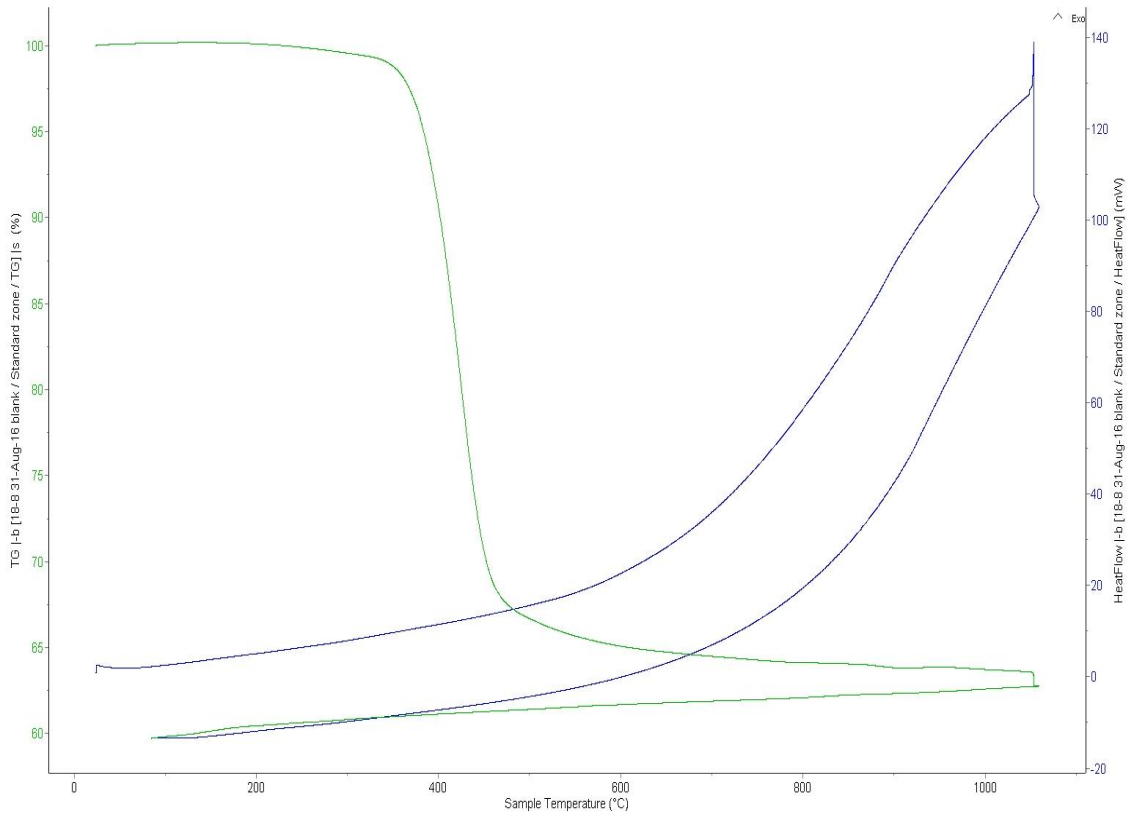
Şekil 47.KNT Takviyesiz Numunenin TGA-DSC Sıcaklık Skalası Grafiği



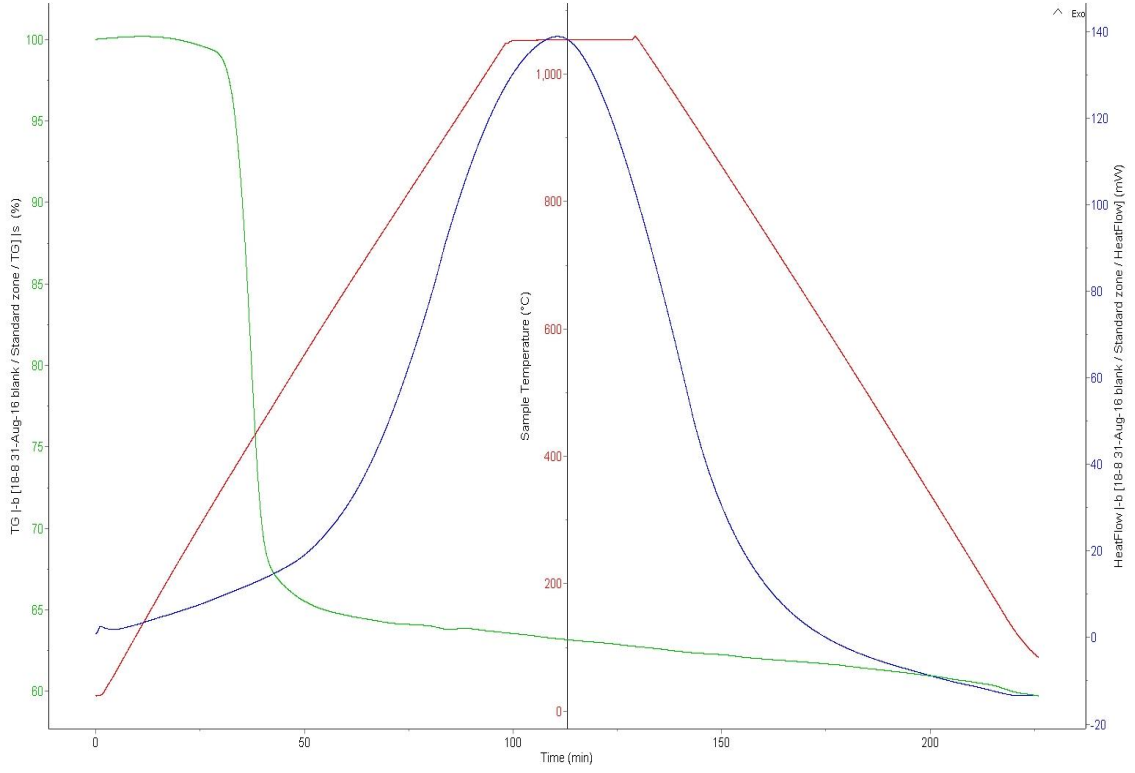
Şekil 48.KNT Takviyesiz Numunenin TGA-DSC Sıcaklık-Zaman Skalası Grafiği



Şekil 49.KNT Takviyeli Numunenin TGA Sıcaklık Skalası-Kütle Değişim Miktarı Grafiği



Şekil 50.KNT Takviyeli Numunenin TGA-DSC Sıcaklık Skalası Grafiği



Şekil 51.KNT Takviyeli Numunenin TGA-DSC Sıcaklık-Zaman Skalası Grafiği

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

- Kuvvet-Zaman grafikleri incelendiğinde 25J de KNT takviyeli boruda ki kuvvet maksimum 5000 N'e kadar yükselmesine rağmen, KNT takviyesiz numune de 3200 N'da kalmıştır. Aynı zamanda zaman parametresi KNT takviyeli numunede 0,005 sn değerindeyken, KNT takviyesiz numune de 0,003 sn'de kalmıştır. Yani numuneler arasında %35 civarında kuvvet artışı gerçekleşmiştir. 15J ve 20J enerji seviyelerinde de hemen hemen aynı oranlarda kuvvet ve zaman değişimleri gözlemlenmiştir.
- KNT takviyesiz numunelerde Hertzian hasarından sonra meydana gelen ek temas güç artışı 2300 N civarındayken KNT takviyeli numune de 3200 N civarında gerçekleşmesi matris çatlamaının bu kuvvet değerlerinde meydana geldiğini göstermiştir.
- KNT takviyeli ve KNT takviyesiz numunelere uygulanan maksimum temas kuvvetinin darbe hızlarının artmasıyla beklendiği şekilde yükselmiştir. Bu durum literatürdeki çalışmalar ile uyumludur.
- Kuvvet-Yer değiştirme grafiğinde darbe hızları artarken yer değiştirme değerleri literatüre uygundur.
- Borularda maksimum temas kuvvetine ulaşıldığında geometriden kaynaklanan boruda depolanan elastik enerjinin serbest kalmasıyla elastik esnemenen dolayı yer değiştirmeler, maksimum temas kuvvetine göre daha düşük değerlerine ulaşmıştır. Bu durum literatürdeki çalışmalara uygundur.
- KNT takviyeli ve KNT takviyesiz numunelerde Kuvvet-Yer değiştirme grafiğindeki kuvvetlerin yüksek olmasına karşın yer değiştirmelerin daha düşük seviyelerde çıkması, KNT takviyesinin % 0,3 takviye oranının yeniden irdelenmesine, nanotüplerin TDKNT ve ÇDKNT arasındaki tercih durumunun incelenmesine yol açacağı ve KNT'lerin imalat esnasında homojen dispersiyonunun gerçekleşmemesine bağlı olduğu değerlendirilmektedir.
- Enerji-Zaman grafiğinde malzemeyi tahrip eden enerji beklendiği ve literatüre uygun olduğu şekilde geri tepme enerjisinden daha fazladır. Diğer bir deyişle malzemeyi tahrip eden etki enerjisi radyal ve aksenal lifler

boyunca çeşitli kırılmalarla çatlak yayılması şeklinde dağıldığı gözükmemektedir.

- KNT takviyeli ve takviyesiz Enerji-Zaman grafiğindeki farklılıklarda KNT takviyeli numuneler hasar (etki) enerjisini daha hızlı ve ani şekilde yutmuş buna bağlı olarak geri tepme enerjisini de ani olarak düşmüştür. Bu durum KNT takviyeli malzemenin daha gevrek olduğu sonuca varmamıza neden olabilir.
- KNT takviyesiz numunede aksel ve radyal yönde yapılan incelemelerde atkı ve çözgü sınırlarında kıvrım etkisinden dolayı matris çatlama hasarları meydana gelmiştir. Bu malzemenin mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir.
- Metal mikroskobunda çatlak yüzeyinde yapılan incelemede çatlak ilerlemesinin atkı-çözgü geometrisini takip eder şekilde kıvrım bölgelerinde meydana geldiği ve bu çatlak ilerlemesinin aksel yönde radyal yönden daha uzun mesafede olduğu görülmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç, malzemenin darbe hasarına radyal yönde aksel yönden daha fazla direnç göstermesidir.
- KNT takviyesiz borularda darbe bölgesindeki et kalınlığı incelendiğinde delaminasyon ve fiber kırıkları gözlenmiştir. Bu durumda malzemenin radyal yönde mukavemetinin azaldığı sonucuna varılabilir. KNT takviyeli borularda ise dıştan içe doğru fiber kırıkları ve delaminasyon hasarlarının birlikte oluştuğu, boru et kalınlığının iç bölgelerine doğru delaminasyon hasarlarının daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bu durum KNT takviyeli borularda Enerji-Zaman grafiğinde etki enerjisi boşalma zamanının tüm enerji seviyelerinde kısa olması ile izah edilebilir.
- KNT takviyeli ve takviyesiz boruların iç yüzeyinde radyal yönde fiber kırıkları gözlenmiştir.
- KNT takviyesiz SEM mikrografları incelendiğinde düzgün lif dağılımının gözlenmesi, malzeme üretimi esnasında sarım geometrisinin bozulmadığını ve malzemenin aksel ve radyal yönde liflere eşit yükleme yapılması dolayısıyla mukavemet artışı sağlayacağı öngörülmüştür.
- KNT takviyeli numunelerin SEM mikrograflarında ise elyaf doğrultularının açıkça görüldüğü, birim alandaki elyaf yoğunluğunun fazlalığı ve düzenli

dağılım gösterdiği açıkça görülmektedir. Her iki mikrograftan karbon elyaflarının ıslanabilirliği ve ara yüzey yapışmalarının başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

- Darbe esnasında mikroskop numunelerinde görülen fiber ve matris hasarları SEM mikrograflarında tespit edilememiştir.
- Genel olarak otoklav sisteminde kullanılan reçinelerin bozunma sıcaklığı 300-350 °C civarındadır. Numunelerimizde ki TGA termogramları incelendiğinde karbon/elyaf takviyeli kompozit borunun bozunma sıcaklığı 388,37 °C olarak bulunmuştur. Bu literatürde ki ve pratikteki değerlere tam uyumludur. Karbon elyaf ilavesi epoksi malzemenin termal dayanımını arttırmıştır. DSC termogramlarından elde edilen 424 °C sonuç bu sonucu desteklemektedir.
- KNT takviyeli numunenin toplam kütle kaybının KNT takviyesiz numuneye göre yaklaşık %5 civarında daha az olması KNT takviyesinin malzemenin termal bozunmaya karşı direncinin arttığı sonucuna varılmıştır.
- KNT takviyesiz numune KNT takviyeli numuneye göre termal stabilitesi (reaksiyona girme kararlılığı) daha fazladır. Literatürde KNT takviyesi termal stabilitesini arttırdığı söylenmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Güler H., Güler S. 2016, Sıvı Faz Eksfolasyon Yöntemiyle Grafen/Karbon Nanotüp Hibrit Yapısının Oluşumu , Science and Eng. J of Fırat Univ., 29(1), 67-72.
- Kozminkafor 2018, Evrende En Fazla Bulunan Elementler (Bolluk Sıralaması), Tarihinde 09 Mayıs 2019, adresinden erişildi. Website : <https://www.kozminkafor.com/evrende-en-fazla-bulunan-elementler-bolluk-siralamasi/>
- Korkmaz, N., 2014, Karbon Elyaf Takviyeli Dokuma Kumaş İçeren Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 158s, Isparta.
- Bekyarova, E, Thostenson, E.T., Yu, A., Kim, H., Gao, J., Tang, J., 2007, Multiscale Carbon Nanotube-Carbon Fiber Reinforcement for Advanced Epoxy Composites., Langmuir, 23(7):3970-4.
- Zhou, Y., Pervin, F., Lewis, L., Jeelani, S., 2008, Fabrication and Characterization of Carbon/Epoxy Composites Mixed with Multi- walled Carbon Nanotubes. Mater Sci Eng A, 475, 157-65.
- Soliman, M., Al-Haik, M., Taha, M.R., 2012, On and Off-Axis Tension Behavior of Fiber Reinforced Polymer Composites Incorporating Multi-walled Carbon Nanotubes, J Compos Mater 46(14), 1661-75.
- Dong, L., Hou, F., Li, Y., Wang, L., Gao, H., Tang, Y., 2014, Composites Preparation of Continuous Carbon Nanotube Networks in Carbon Fiber/Epoxy Composite. Composite: Part A, 56, 248-255.
- Yavari, F., Rafiee, M. A., Rafiee, J., Yu, Z. Z. and Koratkar, N. 2010, Dramatic Increase in Fatigue Life in Hierarchical Graphene Composites. Acs Applied Materials and Interfaces, 2, 2738-2743.
- Tetik E., 2012, Karbon Nanotüplerin Fiziksel Özellikleri Üzerine Katkılamının Etkilerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 169s, Adana.
- Hao, L. C. and Yu, W. D. 2010, Comparison of the morphological structure and thermal properties of basalt fiber and glass fiber. Proceedings of 2009 International Textile Science and Technology Forum, Xian, China.
- Li, X., F., Lau, K., T., Yin, Y., S. 2008, Mechanical properties of epoxy-based composites using coiled carbon nanotubes”, Composites Science and Technology, 68, 2876-2881.

- Zhang, Y., C., Chen, X., Wang, X. 2008, Effects of temperature on mechanical properties of multi-walled carbon nanotubes”, *Composites Science and Technology*, 68, 572-581.
- Tarakçıoğlu, N., Gemi, L., Yapıcı, A. 2005, Fatigue failure behavior of glass/epoxy ±55 filament wound pipes under internal pressure”, *Composites Science and Technology*, 65, 703-708.
- Tarakçıoğlu, N., Akdemir, A., Avci, A. 2001, Strength of filament wound GRP pipes with surface crack, *Composites: Part B*, 32, 131-138.
- Tarakçıoğlu, N., Taşyürek M. 2015, Damage Behavior of Filament Winding Pipes Modified with Carbon Nanotubes Under Internal Pressure, *Journal of Polytechnic*, 18(4), 211-217
- Loos, M., R., Yang, J., Feke, D., L., Manas-Zloczower, I., Unal, S., Younes, U. 2013, Enhancement of fatigue life of polyurethane composites containing carbon nanotubes, *Composites: Part B* 44, 740-744.
- Tang, L., C., Zhang, H., Han, J., H., Wu, X., P., Zhang, Z. 2011, Fracture mechanism of epoxy filled with ozone functionalized multi-wall carbon nanotubes, *Composites Science and Technology* 72, 7-13.
- Yu, N., Zhang, Z., H., He, S., Y. 2008, Fracture toughness and fatigue life of MWCNT/epoxy composites, *Materials Science and Engineering A* 494, 380-384.
- Xia M., Takayanagi H., Kemmochi K. 2002, Bending behavior of filament-wound fiber-reinforced sandwich pipes, *Compos Struct* 56, 201-10.
- Lee, C. J., Lyu, S. C., Kim, H. W., Park, C. Y., & Yang, C. W. 2002. Large-scale production of aligned carbon nanotubes by the vapor phase growth method. *Chemical Physics Letters*, 359(1-2), 109-114.
- Stanislaw O., and Gotowicki P. 2009, Experimental assessment of energy absorption capability of carbon-epoxy and glass-epoxy composites, *Composite structures*, vol. 87, pp. 215 – 224.
- Hadavand B.S., Javid K.M. and Gharagozlou M. 2010, Mechanical properties of multi-walled carbon nanotube/epoxy polysulfide nanocomposite. *Materials & Design*, 50: pp. 62-67.
- Acar V., Sarıkanat M., Seki Y., Erden S., Akbulut H. & Seydibeyoğlu M. 2015, Karbon Elyaf Takviyeli Karbon fiber kumaş Kompozitlerde Arayüzey Mekaniğinin Karbon Nanoyapı Katkısıyla İyileştirilmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 10, 43-51.
- Keriere J., Kligys M., Laukaitis A., Yakovlev G., Spokausk A. and Aleknevičius M. 2013. The influence of multi-walled carbon nanotubes additive on properties of non-autoclaved and autoclaved aerated concretes. *Construction and Building Materials*. Volume 49, pp. 527-535..

- Ajayan P.M. 1999, "Nanotubes from Carbon," Chemical Reviews, Vol. 99, pp. 1787-1799.
- Terrones M., 2003, Science And Technology Of The Twenty-First Century: Synthesis, Properties, and Applications of Carbon Nanotubes. Annual Review of Materials Research, vol. 33, pp.419-501.
- Dresselhaus M., 2004, Unusual Properties And Structure Of Carbon Nanotubes. Annual Review Of Materials Research, Vol. 34: 247-278.
- Kuchibhatla V.N.T., Karakoti A.S., Bera S. And Seal S. 2007, One Dimensional Nanostructured Materials. Progress in Materials Science 52: 699–913.
- Shellzero.Wordpress 2012, Arc Discharge Method!, Tarihinde 12 Haziran 2019, Adresinden Erişildi. Website: <https://shellzero.wordpress.com/2012/05/14/arc-discharge-method/>
- Nickl J.J., Reichle M. 1972, Chemical Vapor Deposition In The Titanium-Carbon System. Journal of the Less Common Metals, 24(1):63-72.
- O'Brien P., Huang L., Wind J.S. 2001, Controlled Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes from an Ordered Mesoporous Silica Template. Nano Letters 3, 299-303.
- Wong S.P., Cheung W.Y., Ke N., Peng S.Q. 1997, The growth mechanism of carbon clusters in the gas phase. Composites Science and Technology, Vol 35, 6, pp. 723-867.
- Mittal G., Dhand V., Rhee K., JinPark S., RoLee W., 2011, A Review On Carbon Nanotubes And Grapheme As Fillers In Reinforced Polymer Nanocomposites. Journal of industrial and engineering chemistry, Vol 21, 25, pp. 11-25.
- Wagner H.D., Lourie O 1998, Evaluation of Young's modulus of carbon nanotubes by micro-Raman spectroscopy. J. Mater. Res., 13, pp. 2418-2422.
- Fernlund G., Hubert P., Poursartip A. 2018, Autoclave Processing For Composites. Woodhead Publishing Series In Composites Science And Engineering, pp. 414-434.
- Iijima S. 1991, Helical microtubules of graphitic carbon. Nature, 354, 56
- Siddiqui NA., Khan SU., Ma PC., Li CY., Kim JK, 2011, Manufacturing and characterization of carbon fibre/epoxy composite prepregs containing carbon nanotubes, Composites: Part A 42, 1412-1420.
- Zhou, Y., Pervin, F., Lewis, L., Jeelani, S., 2007, "Experimental study on the thermal and mechanical properties of multi-walled carbon nanotube-reinforced epoxy", Materials Science and Engineering A 452– 453, 657–664.

- De Volder, M., Tawfick, S., Baughman, R., Hart, A., 2013. "Carbon nanotubes: present and future commercial applications. Science, 339, 535-539.
- Küçükyıldırım, B.O. ve Akdoğan Eker, A. 2012, Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları, TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, 53, 34-44.
- Smitherman, D. V. 2000, Space elevators: an advanced earth - space infrastructure for the new millennium. NASA, Marshall Space Flight Center, Huntsville, Alabama, s47.
- NetComposites. 2019, Autoclave Design. Tarihinde 1 Ağustos 2019, adresinden erişildi. website: <https://netcomposites.com/guide/manufacturing/autoclave-design//>
- Toğrul, T., 1995, "İnstrümental Analiz", Editör, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 101-117 .
- Gemi, L., Kayırcı, M., Uludağ, M., Soylu, D., Şahin Ö.S., 2018. "Experimental and statistical analysis of low velocity impact response of filament wound composite pipes. Composite : Part B II, 149, 38-48.
- Demirel, A., 2007, Karbon Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerin Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan Hüseyin TAŞER
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Karatay / 28.10.1993
Telefon :
Faks :
e-mail : hasan.taser@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Atatürk Lisesi. KONYA	2011
Üniversite	: Karabük Üniversitesi Mekatronik Müh.	2017
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Müh.	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	OMT Onaranlar Makina	Mekatronik Müh.

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

-İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

HOBİLER: Robotik Uygulamalar, 3D Tasarım Modelleme