

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇİFT EKSEN ATKI ÖRGÜLÜ TERMOPLASTİK KOMPOZİTLERİN
EĞİLME VE DARBE DAYANIMI ÖZELLİKLERİNE KARBONNANOTÜP
TAKVİYESİNİN ETKİSİ**

UMUT AHMET ŞİMŞEK

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2020**

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Umut Ahmet ŞİMŞEK tarafından hazırlanan ‘‘Çift Eksen Atkı Örgülü Termoplastik Kompozitlerin Eğilme ve Darbe Dayanımı Özelliklerine Karbon Nanotüp Takviyesinin Etkisi’’ adlı tez çalışması 08/07/2020 tarihinde aŐağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Engin BURGAZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliğı Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Mehmet YILDIZ
Sabancı Üniversitesi
Malzeme Bilimi ve Nanomühendislik Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım. 08/07/2020

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

../ ../2020

Umut Ahmet ŞİMŞEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çift Eksen Atkılı Örgülü Termoplastik Kompozitlerin Eğilme ve Darbe Dayanımı Özelliklerine Karbon Nanotüp Takviyesinin Etkisi

Umut Ahmet ŞİMŞEK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN

Yapılan çalışmada üretilen kompozitler çift eksenli atkılı örme kumaşlardan oluşmaktadır. Deneyler kapsamında çeşitli ilmek uzunluklarına sahip (8 mm, 9.2 mm ve 10.5 mm) 3 çeşit çift eksenli atkılı örgülü kumaşlar çok duvarlı karbon nanotüp (MWCNT) entegre (ağırlıkça %0 ve %1.7), polipropilen (PP) reçine ipliği ve cam elyafından (GF) oluşan termoplastik kompozit üretmek için kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri, kompozitlerden alınan numuneler üzerinde üç noktalı eğilme ve Charpy darbe testleri yapılarak araştırılmıştır. 10.5 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT içeren kompozitlerden çözgü yönünde (0°) alınan numuneler, 10.5 mm ilmek uzunluğuna sahip MWCNT içermeyen kompozitlerden 0° yönünde alınmış numunelere kıyasla eğilme mukavemetinde %15'lik bir iyileşme ile en yüksek eğilme mukavemetini göstermiştir. 8 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT içeren kompozitlerden atkılı yönünde (90°) alınan numuneler, 8 mm ilmek uzunluğuna sahip MWCNT içermeyen kompozitlerden 90° yönünde alınmış numunelere kıyasla Charpy darbe enerjisinde yaklaşık %23'lük bir iyileşme ile en yüksek kırılma enerjisini göstermiştir. Kompozitlerin eğilme ve darbe özelliklerindeki iyileşme, karbon nanotüplerin varlığından dolayı ara yüzey bağlarındaki bir artışa bağlanabilir.

TEMMUZ 2020, 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Örme, karma elyaflar, karbon nanotüpler, Termoplastik kompozitler, eğilme charpy

ABSTRACT

Master's Thesis

EFFECTS OF INTEGRATION OF CARBON NANOTUBES ON FLEXURAL AND IMPACT PROPERTIES OF THERMOPLASTIC COMPOSITES WITH BIAXIAL WEFT-KNITTED REINFORCEMENT

Umut Ahmet ŞİMŞEK

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Özgür DEMİRCAN

The composites produced in the study consist of biaxial weft-knitted fabrics. Within the scope of experiments, three types of the biaxial weftknitted fabrics with various loop lengths (8mm, 9.2mm and 10.5mm) consisting polypropylene (PP) resin thread and glass fiber are integrated (0 and 1.7 wt%) with multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) to produce thermoplastic composites. The mechanical properties of the produced composites were investigated by performing three-point bending and Charpy impact tests on the samples taken from the composites. Samples taken in the warp direction (0°) from composites containing 10.5 mm loop length and 1.7% MWCNT by weight showed the highest bending strength with an improvement of 15% in flexural strength compared to samples taken in the 0 ° direction from MWCNT-free composites with 10.5mm loop length. Samples taken from the composite containing 8 mm loop length and 1.7% by weight MWCNT in the weft direction (90°) showed the highest refractive energy with an approximate 23% improvement in Charpy impact energy compared to samples taken in the direction of 90° from MWCNT-free composites with an 8 mm loop length. Improvement in the bending and impact properties of composites can be attributed to an increase in the interface bonds caused by the presence of carbon nanotubes.

JULY 2020, 54 pages

KeyWords: Knitting, commingled fibers, carbon nanotubes, thermoplastic composites, flexural properties

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitim sürecimin bir üst noktası olan yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca çalışmayı yönlendiren ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Özgür DEMİRCAN'a teşekkürü borç bilirim. Beni bugünlere getirmek için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan annem Hatice NAYIR ve dedem Azmi NAYIR'a sonsuz teşekkür ederim. Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne projemizin sonuçlanmasında ki büyük katkılarından dolayı teşekkürü kendime borç bilirim.

TEMMUZ 2020, Samsun

Umut Ahmet ŞİMŞEK

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırması.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Çift Eksenli Çok Katmanlı Atkı Örgülü Kumaş(BWK).....	7
2.2. İplik İçeriği.....	8
2.3. Karbon Nanotüpler (CNTs).....	8
2.3.1. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (SWCNT).....	9
2.3.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT).....	9
2.3.3. Karbon Nanotüplerin Özellikleri.....	10
3. MATERYAL VE METHOD.....	11
3.1. BWK Kumaşının Boyutlandırılması.....	12
3.2. MWCNT Nano Malzemesinin Kumaşa Emdirilmesi.....	13
3.3. Pres İşlemi.....	14
3.3.1. Numune Hazırlama.....	15
3.4. Yakma Testi.....	16
3.4.1. Numune Hazırlama.....	16
3.5. Eğme Deneyi.....	19
3.6. Charpy-Darbe Deneyi.....	20
3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri (Fiber Takviye Malzemesi).....	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
4.1. Eğme Deneyi Sonuçları.....	24

4.2. Charpy-Darbe Deneyi Sonuçları	27
4.3. Optik Mikroskop Analizleri	28
4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri (Kompozit Malzeme)...	30
4.5. FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi) Analizleri.....	30
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	1



SİMGELER VE KISALTMALAR

V	Hacim
T	Kalınlık
W	En
L	Boy
m_b	Boş kroze ağırlığı
m_n	Numuneli kroze ağırlığı
m_s	Yakma testi sonrası numuneli kroze ağırlığı
m_f	Elyaf ağırlığı
d	Yoğunluk
d_f	Elyaf yoğunluğu
V_f	Tez Elyaf/hacim oranı
V_{f_a}	Tezde kullanılan Atkı ipliği elyaf/hacim oranı
$V_{f_ç}$	Tezde kullanılan Çözümlü ipliği elyaf/hacim oranı
V_{f_d}	Tezde kullanılan Dikiş ipliği elyaf/hacim oranı
V_{f_2}	Literatür elyaf/hacim oranı
$V_{f_{a_2}}$	Literatür Atkı ipliği elyaf/hacim oranı
$V_{f_{ç_2}}$	Literatür Çözümlü ipliği elyaf/hacim oranı
$V_{f_{d_2}}$	Literatür Dikiş ipliği elyaf/hacim oranı
S	Span/Mesnetler arası mesafe
St_1	Eğilme gerilimi
St_2	Eğilme gerinimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çift eksen atkı örgülü yapının şematik gösterimi a) Çift eksen atkı örgü yapısı, b) Düz atkı örme kumaş, c) Takviye iplikler sistemi , d) Çözümlü takviye iplikleri tabakası , e) Atkı takviye iplikleri tabakası (Hasani vd, 2015)	7
Şekil 2.2. BWK kumaşında kullanılan ipliklerin temsili kesit görüntüsü.....	8
Şekil 2.3. SWCNT'lerin şematik yapıları: (a) Zikzak, (b) Koltuk ve (c) İki farklı kiralite veya sarmallık (Thiraphattaraphun, 2013).....	9
Şekil 2.4. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Görseli (Thiraphattaraphun, 2013;Rajiv, 2003)	10
Şekil 3.1. BWK kumaş kesim planı	12
Şekil 3.2. BWK kumaşın simetrik şekilde istiflenmesinin şematik gösterimi.....	13
Şekil 3.3. CNT püskürtülmüş 10 kat kumaşın görüntüsü	14
Şekil 3.4. ST40 numunesinin dikiş sonrası görünümü.....	14
Şekil 3.5. Sıcak pres makinesinin şematik çizimi (Demircan vd, 2015)	15
Şekil 3.6. Pres işlemi sonrası CNT takviyeli ve saf haldeki numunelerin görünümü	15
Şekil 3.7. 6.5 cm x 1.5 cm Boyutlarında ki numunelerin görünümü	16
Şekil 3.8. Porselen kroze.....	17
Şekil 3.9. Üç nokta eğme testi.....	20
Şekil 3.10. Charpy-Darbe deneyi düzeneği.....	21
Şekil 3.11. 9.2 mm ilmek aralığına sahip saf ve MWCNT'li numunenin darbe testi sonrası görünümü	22
Şekil 3.12. CNT takviyesinden sonra PP cam karışmış elyaf yüzey morfolojileri SEM görüntüleri. SEM: tarama elektron mikroskopisi, PP: polipropilen, CNTs: karbon nanotüpler.....	23
Şekil 4.1. Eğme testinin ortalama Gerilme-Gerinim değerleri grafiği.....	25
Şekil 4.2. Kompozitlerin standart sapmalı test sonuçları a) Eğilme mukavemeti, b) Eğilme modülü	26
Şekil 4.3. Eğme numunelerinin optik mikroskop görüntüleri ((a) ağırlıkça %0.0 MWCNT ve (b) ağırlıkça %1.7 MWCNT, MWCNT: çok duvarlı karbon nanotüpler)	29
Şekil 4.4. Eğme testine tabii tutulmuş MWCNT'li kırık örneklerin SEM görüntüleri	30
Şekil 4.5. FTIR karakterizasyonu sonuçları. FTIR: Fourier dönüşümü kızılötesi.	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. BWK kumaşında kullanılan iplik içeriği ve kalınlıkları	8
Çizelge 3.1. BWK kumaşlarının özellikleri	11
Çizelge 3.2. Yakma testi için alınan numunelerin test öncesi kalınlık, en, boy ve hacim verileri	17
Çizelge 3.3. Yakma testi sonrası hesaplanan elyaf ağırlığı, elyaf yoğunluğu, elyaf hacim oranı verileri	18
Çizelge 3.4. Kompozitlerin elyaf hacim oranları ve kalınlıkları (Demircan vd, 2015)	18
Çizelge 3.5. Tez kapsamında kullanılan BWK kumaşın elyaf hacim oranları	19
Çizelge 4.1. Standart sapmaları ile birlikte üç nokta eğme deneyi sonuçları	24
Çizelge 4.2. BWK kompozit numunelerinin darbe testi sonuçları.....	28



1.GİRİŞ

Son birkaç on yılda, kompozitler endüstride önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Yüksek mukavemeti, yüksek sertliği ve düşük ağırlığı nedeniyle, otomotiv, havacılık, savunma sanayii, inşaat ve hatta sağlık sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Havacılık sektöründeki mevcut metal yapılar, sınırlı esneklik, büyük kütle, karmaşık parçaların zor üretimi, pahalı ekipman gereksinimi ve elektrostatik düzenleme problemlerine sahiptir.

Her ne kadar termoplastik kompozitler maliyetleri, geri dönüştürülebilirliği ve seri üretim kolaylığı nedeniyle oldukça tercih edilmekle olsalar bile yüksek viskoziteleri termoplastik matris kompozitlerinin işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için termoplastik malzemeler elyaf biçiminde üretilebilir. Son zamanlarda mekanik özelliklerinden dolayı çok katmanlı çift eksenli örme kumaşın kompozit takviyesine özel önem verilmiştir.

Çift eksenli atkı örme kumaşların (BWKF) spesifik geometrik yapısı, iyi gerilme özellikleri (kuvvet ve sertlik) , nispeten yüksek eğilme ve darbe dayanımı gibi kompozit uygulamalar için yeterli mekanik özellikler sağlar. Çift eksenli atkı örme kumaşlar arasında atkı ve çözgü ipliği katmanları bulunur. Kombine elyaflar, çift eksenli atkı örme kumaşlarda atkı ve çözgü iplikleri olarak kullanılabilir.

Bu araştırmanın amacı, kumaşta 8.0 mm, 9.2 mm ve 10.5 mm ilmek uzunluklarına sahip karbon nanotüp entegre cam elyaf takviyeli PP matris kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemektir. Bu çalışmada kompozitleri üretmek için GF / PP kombine edilmiş iplikleri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda ilmek uzunluğu ve nano malzemelerin termoplastik kompozitlerin bükülme ve Charpy darbe özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

1.1. Literatür Araştırması

Son birkaç yılda karbon nanotüplerle ilgili çalışmalar artış gözlemlenmiştir. Farklı karbon nanotüp içerikli 3B baskılı numunelerin elektriksel iletkenlik, çekme özellikleri, eğilme özellikleri, özdirenç ve döngüsel eğilme deformasyonu arasındaki ilişki Ye ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır (Ye vb, 2019). Dydek ve diğerleri karbon nanotüp katkılı yeni termoplastikler üzerine çalışarak karbon fiber takviyeli polimerlerin (CFRP) elektriksel iletkenliğini incelemiştir (Dydek vd, 2019). Plazma yüzey işleminin, polikarbonat (PC), karbon nanotüp (CNT) ve karbon fiberden (CF) oluşan çok ölçekli hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri Cho ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır (Cho vd, 2019). Çalışmalarında, çok kademeli hibrit kompozitlerin dinamik mekanik özellikleri ve darbe enerjisi emilimi çeşitli işlem koşulları altında ölçülmüş ve verileri literatüre kazandırılmıştır. Hong ve diğ. iletken dolgu maddesi olarak CNT kullanan karbon fiber takviyeli polipropilen (PP) matris kompozitlerin elektromanyetik geçirgenliği (EMI) koruyucu etkinliği (SE) üzerine çalışmıştır (Hong vd, 2014). Kompozitlerin elektromanyetik geçirgenliğinin, lif uzunluğunun fonksiyonu nedeniyle artan karıştırma hızı ile arttığını keşfetmişlerdir. Karbon nanotüp (CNT) ilavesinin termoplastik polimerlerin elektriksel iletkenliği ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi Burmistov ve ark. tarafından araştırılmıştır (Burmistov vd, 2017). Araştırılan konsantrasyon aralığında (ağırlıkça% 0 ila% 20) artan CNT içeriği ile iletkenliğin büyük ölçüde arttığını göstermişlerdir. PP'de tek duvarlı karbon nanotüplerin (SWCNT) iyi düzgün dağılımını sağlamak için, çalışmalardan birinde kesme karıştırma tekniği kullanılmıştır (Manchado vd, 2005). Kompozitlerin gerilme özelliklerinin, ağırlıkça %0.75 SWCNT (tek duvarlı karbon nanotüp) mevcudiyeti ile arttığına dikkat çekmişlerdir. PP matrisin hacimce %0, %0.1 ve %0.2 SWCNT'lerle gerilme davranışı Acierno ve ark. tarafından çalışılmıştır (Acierno vd, 2017). Hacimce %0.2 tek cidarlı karbon nanotüpleri içeren filamanların saf PP fiberlere göre, modülde ve akma dayanımında yaklaşık %16 ve %6 oranında artış göstermiştir.

Çok duvarlı karbon nanotüpleri (MWCNT'ler) iyi elektrik, termal, modül ve güç özellikleriyle ünlüdür. İletken kumaş takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri ve elektromanyetik parazit koruyucu etkinliği Lin ve ark. tarafından araştırılmıştır (Lin vd, 2017). Test sonuçları, iletken kumaşların, ağırlıkça %2 MWCNT'den

meydana geldiğinde optimal gerilme mukavemetine ve optimum patlama mukavemetine sahip olduğunu göstermiştir.

Birçok araştırmacı MWCNT'lerin kompozitlerdeki dağılımı üzerine çalışmalar yapmıştır. Matris viskozitesinin farklı termoplastik nanokompozitlerde MWCNT dispersiyonu ve elektriksel özellikleri üzerindeki etkisi literatürde incelenmiştir (Socher vd, 2012). MWCNT içeriğinin ahşap / polipropilen nanokompozitlerin yüzey pürüzlülüğü, ıslanabilirlik ve çizilme sertliği özellikleri üzerindeki etkisi Kaymakçı ve ark. tarafından araştırılmıştır (Kaymakçı vd, 2019). Ahşap / polipropilen nanokompozitlerin yüzey pürüzlülüğünün, ıslanabilirliğinin ve çizilme sertlik özelliklerinin MWCNT içeriği artırılarak iyileştirildiğini keşfetmişlerdir. MWCNT'lerin çeşitli nanomateryal çaplarına (10-50 nm) sahip PP nanokompozitlerinin üretilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Polimer matrisin termal stabilitesinin MWCNT'lerin büyüklüğü ve yüklenmesi ile arttığını bulmuşlardır (Bhuiyan vd, 2013). MWCNT'lerin ağırlık yüzdelerinin (%0.5, %1 ve %1.5) kısa cam lifi (SGF) takviyeli polipropilen ve polipropilen köpük kompozitlerin titreşim ve morfolojik özellikleri üzerindeki etkileri Albooyeh tarafından çalışılmıştır (Albooyeh, 2019). Elde ettiği sonuçlar, numunelere MWCNT eklenmesinin, PP ve SGF / PP kompozitlerinin sönümlenme faktörünün ve doğal frekanslarının arttığını göstermiştir.

3D para-aramid / fenolik / nano (MWCNT) kompozitlerin eğilme davranışı Bilisik ve ark. tarafından çalışılmıştır. Dikişli / nano kompozitlerin bükülme mukavemeti ve modülünün, dikiş ipliği ve çok duvarlı karbon nanotüplerin (MWCNT'ler) ilave edilmesine bağlı olarak saf kompozitlerinkine kıyasla biraz iyileştiğini bulmuşlardır (Bilisik vd, 2018). 3D prepreg / dikişli karbon / epoksi / çok duvarlı karbon nanotüp preformlarının ve kompozitlerinin eğilme karakterizasyonu Bilisik ve ark. tarafından raporlanmıştır. MWCNT'lerin hem dikilmesinin hem de birleştirilmesinin, büyük ölçüde kısıtlanmış delaminasyon nedeniyle düzlem dışı arıza özelliklerini geliştirdiğini bulmuşlardır (Bilisik vd, 2018).

Kompozitlerde ara yüzün iyileştirilmesi için aramid liflerinin grafen oksit ile yüzey modifikasyonu Zeng ve diğerleri tarafından raporlanmıştır. Elyaf yüzey modifikasyonunun, ara yüzey kayma mukavemetini %210 arttırdığını ve elyaf gerilme mukavemetinin GO-PDA kaplama ile korunduğunu bulmuşlardır (Zeng vd,

2018). Çok ölçekli takviye olarak CF / seçici olarak entegre grafen ile yüksek performanslı epoksi matris kompozitlerinin üretimi Zanjani ve ark. tarafından araştırılmıştır. Hem ara yüz değiştirici hem de matris takviye maddesi olarak grafen tabakalarının mevcut olması nedeniyle, kırılmada yaklaşık %55 ve bükülme mukavemetinin yaklaşık %51 oranında kayda değer bir iyileşme ve diğer mekanik özelliklerde kayda değer bir gelişme gözlemlenmiştir (Zanjani vd, 2016). AlKhateab ve diğ. tarafından karbon fiber takviyeli polimerik (CFRP) kompozitleri hem halositli(HNT) hem halositsiz şekilde üretim eğilme ve düzlem içi kesme yükleri altında test edilmiştir. Eğilme ve düzlem içi kesme modülleri sırasıyla% 18.1 ve% 27.3 oranında iyileştirilmiştir. Akustik emisyon sonuçları ve SEM fraktografi analizine dayanarak, HNT'lerin öncelikle matris çatlama ve delaminasyon mekanizmalarını etkilediği bulunmuştur. Yaptıkları dijital görüntü korelasyonu ve kızılötesi termografi görüntüleri HNT'lerin çatlak büyümesini, çatlak ucu ayrılmasını ve çatlak birleşmesini engellemedeki rolünü daha belirgin hale getirmiştir. Sayısal sonuçları ile HNT kümelerinin çatlak büyümesini engellediğini ve çatlak birleşmesini önlediğini göstermişlerdir (AlKhateab vd, 2020).

Cesano ve diğerleri eriyik karıştırma ile hazırlanan MWCNT (ağırlıkça %1'den %7'ye kadar) / polipropilen kompozitlerin elektriksel özelliklerini incelemiştir (Cesano vd, 2016). MWCNT eklenmiş PP nano kompozitlerin mekanik, termal ve reolojik özellikleri Yetgin tarafından araştırılmıştır (Yetgin, 2019). Eritici işleme yöntemleri kullanılarak ekstrüder ve enjeksiyon kalıplama teknikleri kullanılarak MWCNT'lerle dolu polipropilen (PP) nanokompozitler hazırlanmıştır. Zhang ve diğerleri MWCNT'lerle dolu polipropilenin darbe davranışını raporlamışlardır (Zhang ve Zhang, 2007) Çalışmalarında farklı uzunluklardaki karbon nanotüpleri kullanmışlardır. Çentikli Charpy darbe testleri, daha uzun nanotüplerin daha kısa olanlara kıyasla sertleştirmede daha etkili performans gösterdiğini göstermiştir. Benzer bir çalışmada, yükleme hızı ve sıcaklığın PP / CNT nanokompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri Bao ve Tjong tarafından bildirilmiştir (Bao ve Tjong, 2008).

MWCNT'lerin ağırlık içeriğinin PP'nin reolojik ve dinamik mekanik özellikleri üzerindeki etkileri Teng ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır. Sonuçları MWCNT / PP'nin eriyik akış indeksinin MWCNT içeriğinin artmasıyla azaldığını göstermiştir (Teng vd, 2008). MWCNT ve grafen nano toz (GSMH) yüklemelerinin

(hacimce %0-1) epoksi kompozitlerin gerilme özellikleri üzerindeki etkileri Ervina ve diğerleri tarafından bildirilmiştir. MWCNT'leri ve GSMH dolgulu epoksi kompozitlerini ultrasonikasyon ve döküm yöntemleri kullanarak üretmişlerdir. Çalışmaları, dolgu maddesinin (MWCNT ve GNP) ilave edilmesinin, epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerini azalttığını göstermiştir (Ervina vd, 2016). Peng ve diğerleri katyonik su bazlı epoksi emülsiyon yöntemi ile MWCNT'lerin dağılımını geliştirmek için çalışılmıştır. MWCNT'lerin iyi dağılmasını sağlayarak matris ile dolgu maddesi arasındaki ara yüzey etkileşimini geliştirmişlerdir (Peng vd, 2019). MWCNT dolu polivinil klorür kompozitlerinin dispersiyon kalitesi ve işlem koşulları Yazdani ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır. Bulguları daha yüksek dispersiyon kalitesine sahip numunelerin daha büyük bir mukavemet sergilediğini göstermiştir (Yazdani vd, 2016).

MWCNT'lerin termoplastik kompozitlere eklenmesi bazı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Darkazali vd, 2018). Termoplastik kompozitler maliyeti, geri dönüştürülebilirliği ve seri üretim kolaylığı nedeniyle oldukça tercih edilir, ancak yüksek viskoziteleri termoplastik matris kompozitlerinin işlenmesini zorlaştırır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, termoplastik malzemeler elyaf formunda üretilebilir. Moore ve diğerleri karbon nanotüplerle polipropilen liflerin mukavemetini arttırmak için çalışmıştır. Tek cidarlı karbon nanotüpler (SWCNT), kompozitler üretmek için iki farklı tip polipropilen sınıfına eklenmiştir. Daha sonra fiberler, hem geleneksel bir çekme çekme test cihazı hem de dinamik mekanik analiz ile test edilmiştir (Moore vd, 2004).

Literatürde örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. İlmek yoğunluklarının GF / PP ile karıştırılan iplikler ile gerilme mukavemeti üzerindeki etkileri Zaixia ve arkadaşları tarafından bildirilmiştir (Zaixia vd, 2006). Kompozitlerin gerilme mukavemetinin arttığını, ardından rib 1:1 kumaş preformunun ilmek yoğunluğu arttıkça hafifçe azaldığını göstermiştir. Atkı örülmüş kompozitlerin enerji emilimi için gerilme özellikleri Xue ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır (Xue vd, 2002). Elde edilen sonuçlar, naylon / polyester termoset tekstil kompozit numunelerinin çekme gerilimi-gerinim eğrilerinde ideal bir çift doğrusal karakter sergilediğini göstermiştir. Hamada ve diğerleri ise örme kumaş kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemiş ve örme

kompozitlerde çekme, üç nokta eğme ve plaka bükme testleri yapmışlardır (Hamada vd, 2000).

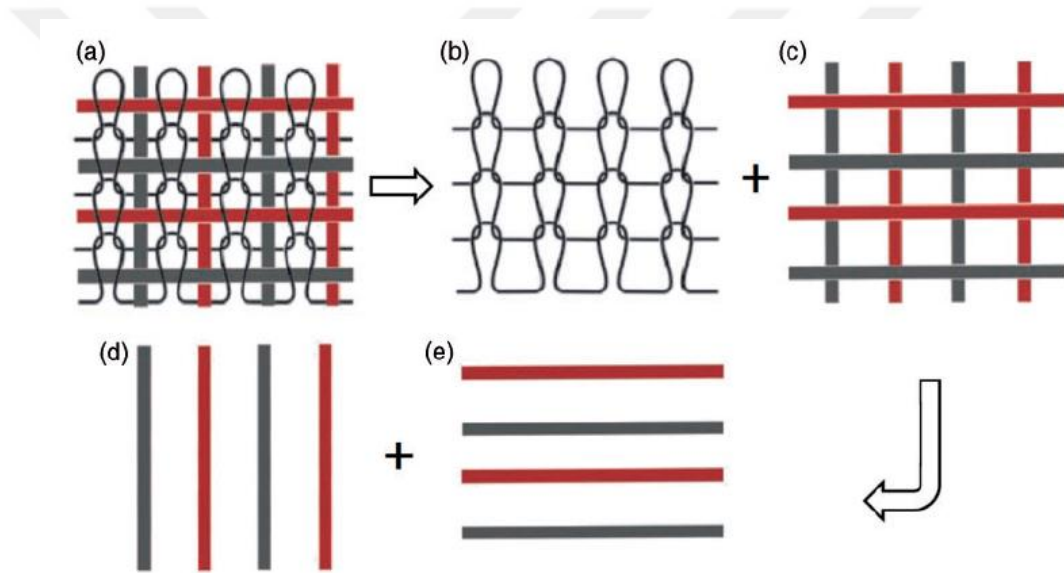
Son zamanlarda, mekanik özellikleri nedeniyle çok tabakalı çift eksenli atkı örme (BWK) kumaşa özel önem verilmiştir. Çift eksenli atkı-örme kumaşların spesifik geometrik yapısı, iyi gerilme özellikleri (mukavemet ve sertlik), nispeten yüksek eğilme ve darbe mukavemetleri gibi kompozit uygulamalar için yeterli mekanik özellikler sağlar. Çift eksenli atkı örme kumaşlar, atkı ve çözgü ipliği katmanlarını içerir. Karıştırılan lifler, çift eksenli atkı örme kumaşlarda atkı ve çözgü iplikleri olarak kullanılabilir. Termoplastik lifler, birleştirilmiş iplikleri oluşturmak için birlikte karıştırılır. Çalışmalar, yapısal özellikleri nedeniyle BWK kumaşlarının kompozit üretimi için ideal bir preforma sahip olduğunu göstermiştir (Hasani vd, 2000). Demircan ve diğerleri çeşitli ilmek uzunluklarının iki eksenli atkı örülü termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır (Demircan vd, 2015). 8.0 mm ilmeğin çekme, üç nokta bükme ve üç nokta bükme darbe özelliklerinin kompozit yapıların diğer dört tipinden (9.2 mm, 10.5 mm, 11.9 mm ve 13.5 mm) daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Literatürde CNT modifiye laminatların Charpy etki özelliklerini ele alan az sayıda çalışma bulunmuştur. Papila ve diğerleri yüzey reaktif kopolimeri olarak P (St-co-GMA) kullanıldı ve P (St-co GMA) / MWCNT elyafı ara katmanları takviye malzemesi olarak geleneksel bir karbon fiber / epoksi prepreg üzerine yerleştirdi. Katmanlı Charpy darbe numunelerin katmansız olanlara kıyasla %20 daha fazla enerji emildiği raporlamıştır (Papila vd, 2012). Nano-SiO₂ ve silan karışımı ile işlenen epoksi / cam kumaşın bükülme ve Charpy darbe davranışı Safi ve arkadaşları tarafından raporlanmıştır. Enerji tüketiminin, kumaş boyutlandırmasında nano silika ile silan karışımı birleştirilerek bükülme ve çarpma altında arttığını göstermişlerdir (Safi vd, 2017). Wang ve diğerleri çok duvarlı karbon nanotüplerin bir epoksi reçine matrisi ile dispersiyon üzerindeki amino-fonksiyonelleşmesinin etkisini incelemiştir. Amino-fonksiyonel MWCNT'lerin epoksi reçineye eklenmesinin Charpy darbe dayanımını arttırdığını bulmuşlardır (Wang vd, 2006). Sharma ve Lakkad aşılınmış karbon fiber takviyeli epoksi matris çok ölçekli hibrid kompozitlerin etki davranışını ve fraktografik çalışmasını incelemiştir. Charpy ve Izod darbe testlerinden referans kompozitlere kıyasla %48.7 ve %42.2 daha yüksek enerji emilimi, CNT aşılınmış karbon fiber epoksi kompozitler kullanılarak elde edildi (Sharma ve Lakkad, 2015).

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çift Eksenli Çok Katmanlı Atkı Örgülü Kumaş(BWK)

İki eksenli takviyeli örme kumaşlar ve çok katmanlı kumaşlar, kompozit ürünlerin mekanik davranışlarını geliştirmek için kullanılan en etkili örme yapılar olarak kabul edilir. Bu yapılar projemizde dikiş aralıkları ile sınıflandırılmıştır. ST40, ST50 ve ST60 kumaşları sırasıyla 8.0 mm, 9.2 mm ve 10.5 mm ilmek aralıklarına sahiptir. Atkı örme kumaşlar üzerinde gerilme yükü altında mekanik performansın daha iyi anlaşılması ve gerilme özelliklerinin araştırılması için yapısal birim hücre iyice anlaşılmalıdır. Şekil 2.1’de çift eksen atkı örgülü yapının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Çift eksen atkı örgülü yapının şematik gösterimi a) Çift eksen atkı örgü yapısı, b) Düz atkı örme kumaş, c) Takviye iplikler sistemi , d) Çözgü takviye iplikleri tabakası , e) Atkı takviye iplikleri tabakası (Hasani vd, 2015)

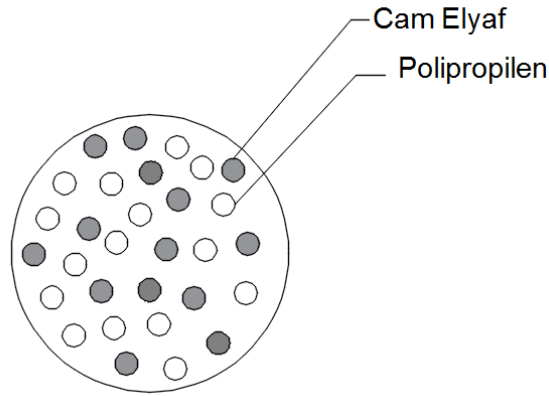
Son yıllarda sağladığı yüksek mekanik özellikleri sebebi ile çok katmanlı çift eksenli örgülü kumaşlara kompozit takviye olarak özel bir önem verilmektedir. Çift eksen atkı örgülü kumaşların spesifik geometrik yapısı, iyi çekme özellikleri (mukavemet ve sertlik), nispeten yüksek eğilme ve darbe dayanımı gibi kompozit uygulamalar için gerekli olan düzlem içi ve dışı mekanik özellikleri sağlar.

2.2. İplik İçeriği

Kullanılan BWK kumaşların iplikleri polipropilen ve cam elyaftan oluşmaktadır. İplik kalınlıkları uluslararası bir tekstil kalınlık birimi olan Tex şeklinde verilmiştir. Tex 1000 metre tekstil malzemesinin gram cinsinden ağırlık değeri olarak tanımlanır. Şekil 2.1'de gösterilmiş olan ipliklerin içeriği ve kalınlık bilgileri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. BWK kumaşında kullanılan iplik içeriği ve kalınlıkları

	Cam Elyaf (%)	Polipropilen(%)	Kalınlık (Tex)
Çözümlü İpliği	52	48	410
Atkı İpliği	52	48	410
Örgü İpliği	27	73	138



Şekil 2.2. BWK kumaşında kullanılan ipliklerin temsili kesit görüntüsü

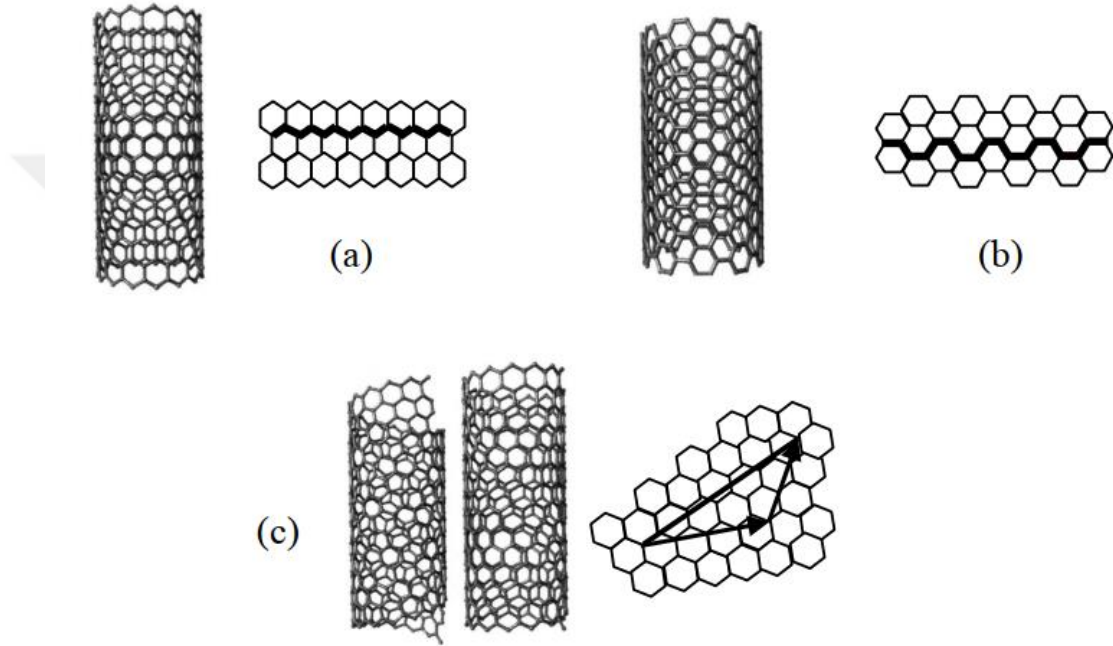
2.3. Karbon Nanotüpler (CNTs)

Karbon nanotüpler, grafen düzlemi dediğimiz örülü yapının bir silindir şekline sarılması ve uçlarının küresel bir silindir kapağı şeklinde kapatılmasıyla oluşturulur. Bu tip CNT'lere Tek duvarlı karbon nanotüp (SWCNT) adı verilir. Çok hafif olması, yüksek elastiklik modülüne sahip olması, karbon nanotüplerin en önemli özelliklerindedir. Mukavemet artışı amacıyla birden fazla sarım üst üste yapılarak çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) elde edilir. Karbon nanotüplerin uzunluk, kalınlık ve tabaka sayısı bakımından farklı birçok yapısı vardır. Nanotüplerin

özellikleri grafen tabakanın boruyu oluşturmak için nasıl yuvarlandığına bağlı olarak farklı olabilir (Küçükyıldırım vd, 2012).

2.3.1. Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler (SWCNT)

SWCNT yapıları, Şekil 2.3.1.1. 'de görüldüğü gibi zikzak bir yapı, koltuk yapısı ve şiral veya sarmal yapıya sahip olabilir. Ek olarak, SWCNT'ler 1-2nm (Luo vd, 2001) ve çeşitli mikron uzunlukları (Thiraphattaraphun, 2013) arasında değişen çapları sergilerler.

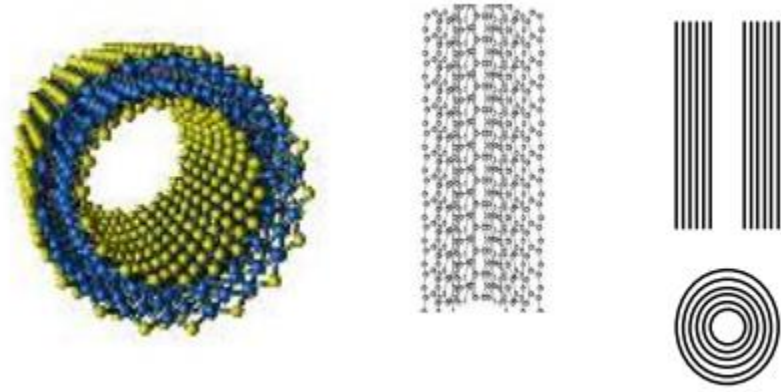


Şekil 2.3. SWCNT'lerin şematik yapıları: (a) Zikzak, (b) Koltuk ve (c) İki farklı kiralite veya sarmallık (Thiraphattaraphun, 2013)

2.3.2. Çok Duvarlı Karbon Nanotüpler (MWCNT)

MWCNT'ler, 2 ila 25 nm ve çeşitli mikron uzunlukları olan dış çaplara sahip içi boş bir çekirdek (Şekil 2.4) boyunca iki veya daha fazla eş merkezli silindirik grafen tabakalarından oluşan bir eş eksenli diziden oluşur. Grafen tabakalarının tek tek silindirik katmanları, van der waals kuvvetleri ile etkileşime girer (Mani vd, 2005).

CNT üretmek için üç ana yöntem vardır; ark-deşarji, lazer ablasyon ve kimyasal buhar biriktirme (CVD). CVD metodu, üretim maliyetinin düşük olması nedeniyle sanayi ölçeğinde en çok tercih edilen en yaygın yöntemdir (Thiraphattaraphun, 2013).



Şekil 2.4. Çok Duvarlı Karbon Nanotüp Görseli (Thiraphattaraphun, 2013;Rajiv, 2003)

2.3.3. Karbon Nanotüplerin Özellikleri

CNT'ler çok yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bireysel MWCNT'ler için 1 TPa'ya yaklaşan bir elastik modül ve 100 GPa'lık bir gerilme kuvvetine ulaşabilirler (Peng vd, 2010). Bu mukavemet, herhangi bir endüstriyel elyafından daha yüksektir. Bireysel CNT duvarları, kiralitesine bağlı olarak metalik veya yarı iletken olabilir. MWCNT'ler normalde metaliktir ve 10^9 A cm⁻²'ye kadar akım kapasitesine sahiptir.

CNT'lerin bazı önemli ve benzersiz özellikleri şöyle sıralanabilir (Rajiv, 2003);

- Yaklaşık 1000m²/g geniş yüzey alanına sahiptir.
- CNT'lerin kimyasal stabilitesi mükemmeldir.
- CNT'ler diyamanyetiktir ve belirgin bir anizotropi duyarlılığı göstermektedir.
- CNT'ler mükemmel elektriksel özelliklere sahiptir. Özdirenç değeri 10^{-4} Ω cm'dir.
- CNT'lerin termik iletkenliği ~ 2000 /m/ K'dir .

3. MATERYAL VE METHOD

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda kumaş rulolarından 22 cm x 7.5 cm boyutlarında kesilen kumaşlar CNT'lü ve saf halde sıcak pres yardımı ile kompozit haline getirilmiştir. Üretilen tüm kompozit plakalarda takviye olarak cam elyaf (GF) ve reçine ipliği olarak polipropilen (PP) kullanıldı. Kompozit panellerde, GF / PP ile karıştırılmış iplikleri içeren BWK kumaşları kullanıldı. Karıştırılan iplikler, BWK kumaşlarında çözgü (410 tex), atkı (410 tex) ve bağlayıcı (138 tex) iplikler olarak kullanıldı. Karıştırılan ipliklerdeki GF ve PP liflerinin hacim yüzdeleri, %52 GF ve %48 PP idi. Tüm BWK kumaşları düz örgü yapısına sahiptir. Düz yataklı bir örme makinesinde (Shima Seiki Mfg. Ltd., Japonya) çeşitli ilmek uzunluklarına (8.0 mm, 9.2 mm ve 10.5 mm) sahip GF / PP karışımına sahip üç tip BWK düz örgü kumaş üretilmiştir (Demircan vd, 2015). Atkı ipliklerinin çeşitli ilmek uzunlukları ve yoğunluğu Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Çok duvarlı karbon-nanotüpler (MWCNT'ler), farklı ilmek uzunluklarına sahip olan her bir kompozit plakaya eklenmiştir. MWCNT'ler ilave edilmiş kompozit plakalar üretildikten sonra kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılması hedeflenmiştir. MWCNT'ler Ege Nanotek Kimya Sanayi Limited Şirketi, İzmir, TÜRKİYE'den temin edilmiştir. MWCNT'lerin özellikleri: 10-20 nm (dış çap), 5-10 nm (iç çap), 10-30 µm (MWCNT'lerin uzunluğu) ve MWCNT'lerin yüzey alanı 200 m²/g 'dan büyüktür.

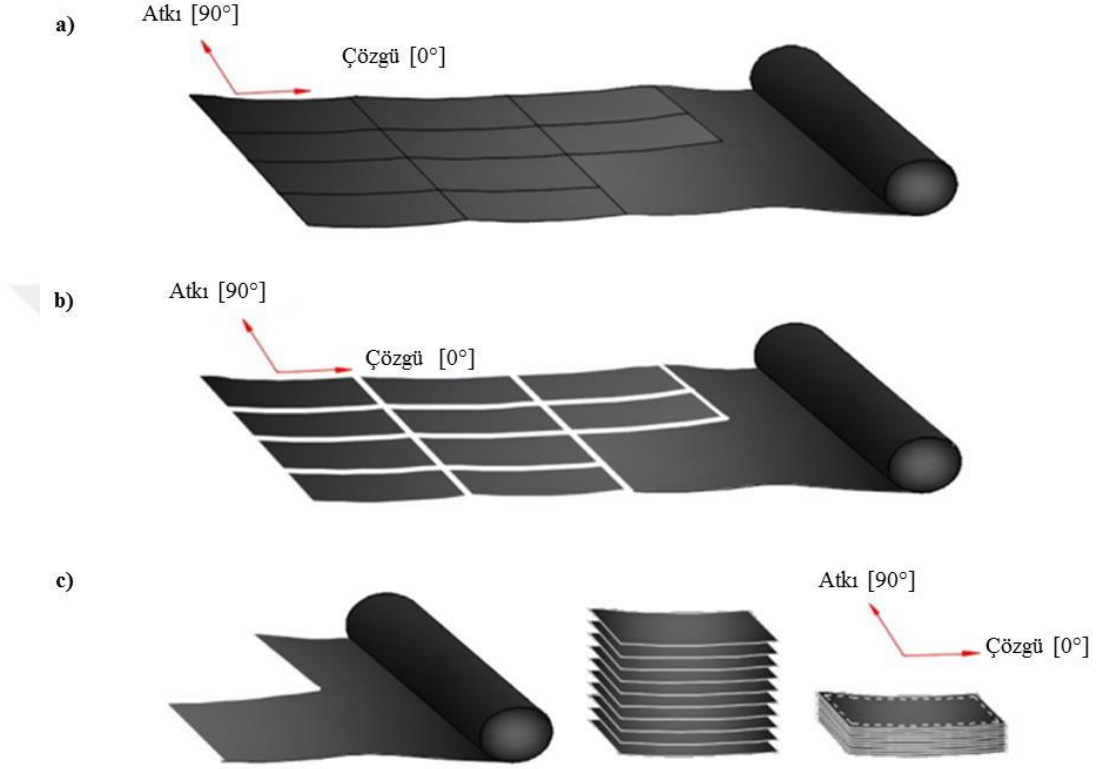
Kompozit haline getirilen saf ve CNT ekli numunelerden eğme deneyi için her bir plakadan (8 mm, 8 mm-CNT, 9.2 mm, 9.2 mm-CNT ve 10.5 mm, 10.5 mm-CNT) çözgü yönünde 6.5cm x 1.5cm boyutunda üçer adet numune kesilmiştir. Alından 18 numune eğme testine tabi tutulmuştur. Darbe deneyi için ise aynı boyutlarda her plakadan atkı yönünde alınan numuneler deneye tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.1. BWK kumaşlarının özellikleri

BWK Malzemesinin İlmek Uzunluğu (mm)	8	9.2	10.5
Atkı İpliği yoğunluğu (tel/cm)	7.6	5.8	4.9

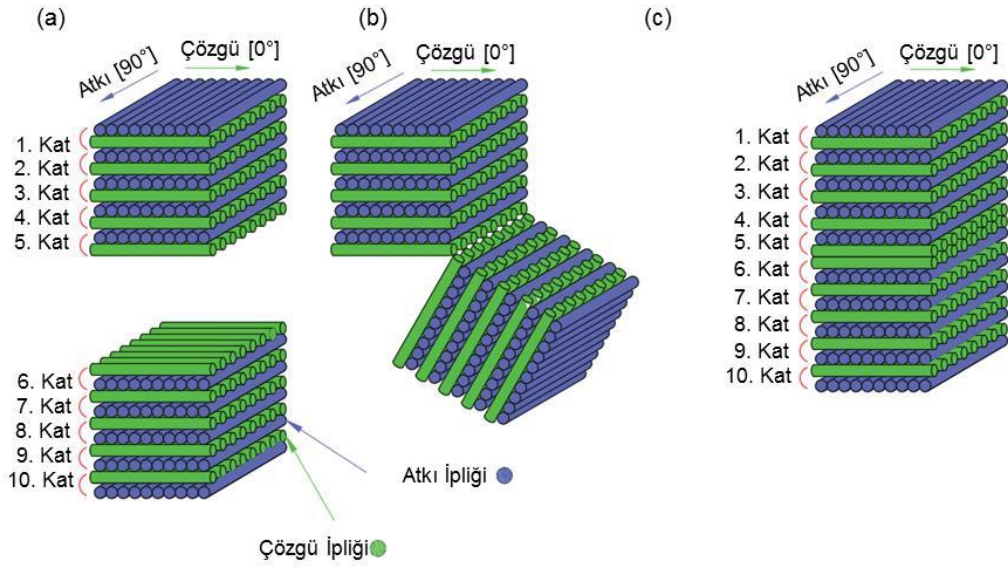
3.1. BWK Kumaşının Boyutlandırılması

Çift eksen atkı örgülü kumaş rulosu kompozit plaka üretimi için 22 cm x 7.5 cm boyutlarında BWK kumaşları on tabaka halinde hazırlanmıştır. Kesim planı Şekil 3.1'deki gibidir. Kesim işlemi her farklı ilmek aralığı (8 mm, 9.2 mm ve 10.5 mm) için tekrarlanmıştır.



Şekil 3.1. BWK kumaş kesim planı

Hazırlanan 10 kat kumaş, sıcak press işleminde katmanlar arasında bir kayma olmaması için Warp (Çözüğü) ve Weft (Atkı) yönü dikkate alınarak simetrik şekilde birbirine dikilmiştir. Dikim simetrisi Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. BWK kumaşın simetrik şekilde istiflenmesinin şematik gösterimi

3.2. MWCNT Nano Malzemesinin Kumaşa Emdirilmesi

İlme aralıkları farklı olan her kumaş için bir MWCNT-Etanol solüsyonu hazırlanıp çift eksen atkı örgülü kumaşların her bir yüzü çözelti kullanılarak kaplanmıştır.

22 cm x 7.5 cm boyutlarında BWK kumaşları on tabaka halinde hazırlanmıştır (Şekil 3.1). BWK'lerin her bir yüzü MWCNT ve etanol çözeltisi kullanılarak kaplanmıştır. Solüsyon 200 gram etanole 1.25 gram MWCNT eklenmesi ile elde edilmiştir. Homojen bir karışım elde etmek için hazırlanan solüsyon manyetik karıştırıcıda 7 dakika, ultrasonik karıştırıcıda 10 dakika karıştırılmıştır. BWK kumaşlarının MWCNT çözeltisi ile kaplanmasından sonra, etanolün tam olarak buharlaşmasını sağlamak için örnekler oda sıcaklığında iki gün bekletildi (Şekil 3.3). Hazırlanan solüsyon Şekil 3.1'deki gibi kesilmiş 10 kat kumaşın her yüzeyine (toplam 20 yüzey) eşit şekilde spreyle uygulanmıştır. MWCNT'ler kaplanmış on katmanlı kumaş, çözgü yönünde simetrik bir istifleme sırasına ($0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$) kalıp boşluğuna döşendi. Her katmanın simetrik istifinden sonraki görünüşü, Şekil 3.2. (c) 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. CNT püskürtülmüş 10 kat kumaşın görüntüsü

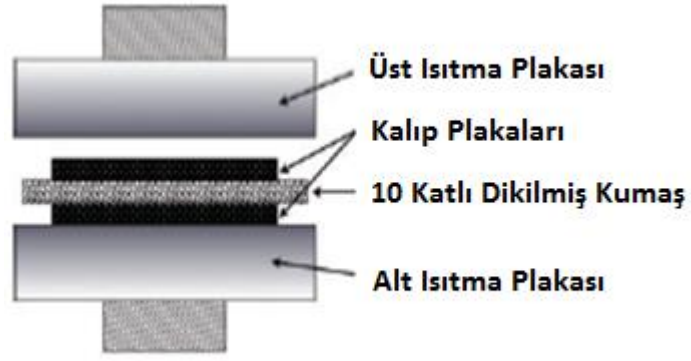
3.3. Pres İşlemi

BWK kumaşlarının on katmanına sahip BWK kompozitleri sıcak pres makinesinde imal edilmiştir. Her bir kompozit üretim sırasında aynı kalıplama koşullarında üretilmiştir. Kompozitlerin imalatı sırasında, BWK kumaşındaki PP reçine elyafları eriyip reçine haline gelmiştir. Kompozitlerin içinde cam elyaf çözgü, atkı ve bağlayıcı lifleri kalmıştır. Pres işlemi öncesi birbirine dikilmiş kumaş katmanları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

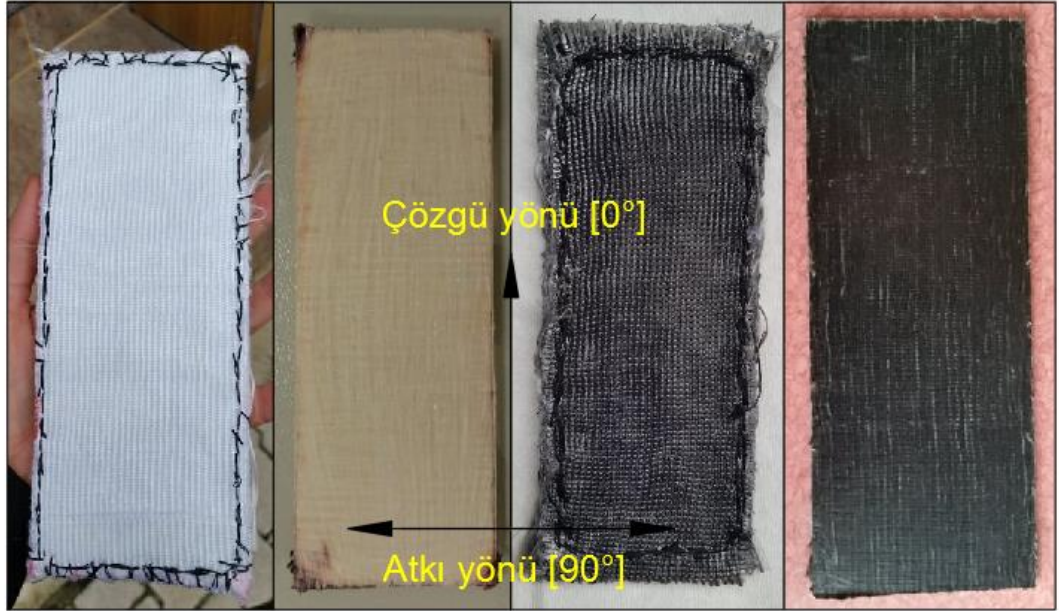


Şekil 3.4. ST40 numunesinin dikiş sonrası görünümü

Kalıplama basıncı ve sıcaklığı 9.8 bar, 165 °C'dir. Kalıp 165 °C'ye ulaştıktan sonra aynı basınç altında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Oda sıcaklığına ulaşan kompozitler kalıptan çıkarılmıştır. Sıcak pres makinesinin şematik çizimi Şekil 3.5'da gösterilmiştir. Presten çıkan 10 katlı BWK kompozitlerin görünümü ise Şekil 3.6'da verilmiştir.



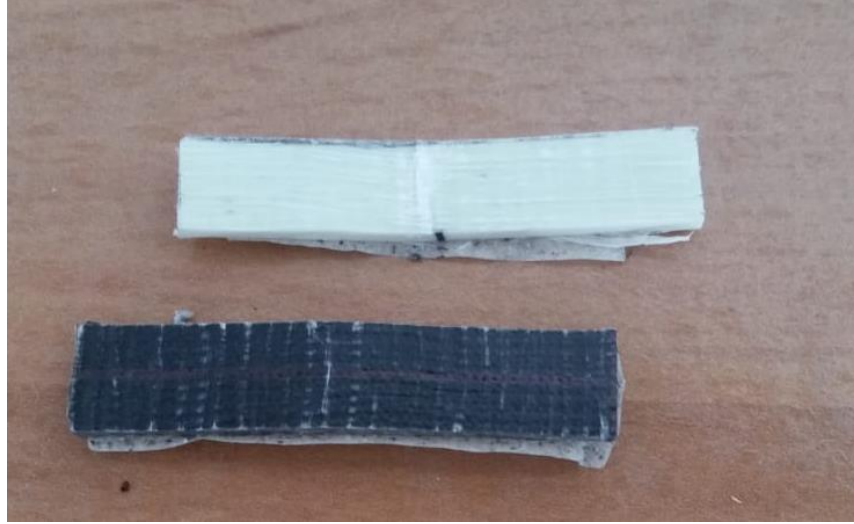
Şekil 3.5. Sıcak pres makinesinin şematik çizimi (Demircan vd, 2015)



Şekil 3.6. Pres işlemi sonrası CNT takviyeli ve saf haldeki numunelerin görünümü

3.3.1. Numune Hazırlama

Üretmiş olduğumuz 6 adet BWK kompozit plakalardan eğme ve darbe deneyi için 6.5 cm x 1.5 cm boyutlarında her plakadan üçer tane olmak kaydıyla alınmıştır. Alınan numuneler Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Eğme deneyi için alınan numuneler Çözgü yönünde (0°), darbe deneyi için alınan numuneler ise Atkı yönünde (90°) yönünde alınmıştır.



Şekil 3.7. 6.5 cm x 1.5 cm Boyutlarında ki numunelerin görünümü

3.4. Yakma Testi

Yakma testi kumaşı oluşturan lifin veya ipliğin ağırlığı hakkında bilgi edinmek için kullanılmıştır. Çalışmalar süresince üretilen kompozit plakaların kütle içeriğini incelemek için her bir numuneden alınan yaklaşık 1 cm x 1 cm boyutunda ki parçalar yakma testine tabi tutulmuştur. Bu alınan numuneler dakikada 10 °C olmak üzere 620 °C 'a kadar ısıtılıp o sıcaklıkta 4 saat bekletilmiştir. Sonrasında dakikada 10 °C hız ile soğutulmuştur.

3.4.1. Numune Hazırlama

Alınan numuneler Şekil 3.8'deki porselen krozeler içerisinde test edilmiştir. Test sonucunda elyaf kütlelerini elde etmek için krozelerin hem numuneli hem boş ağırlıkları kaydedilmiştir. Test sırasında polipropilen yanıp geriye sadece elyaf kütleleri kalmıştır.



Şekil 3.8. Porselen kroze

Farklı ilmek aralıklarına sahip, saf ve CNT takviyeli her bir numuneden alınan yaklaşık 1 cm x 1 cm boyutlarında ki parçaların kalınlık, genişlik, boy ve hacim verileri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yakma testi için alınan numunelerin test öncesi kalınlık, en, boy ve hacim verileri

Numuneler	Kalınlık (mm) [T]	En (mm) [W]	Boy (mm) [L]	Hacim (cm ³) [V]
8 mm	3.27	9.16	9.69	0.29
8 mm CNT	3.19	9.26	10.22	0.30
9.2 mm	2.54	9.40	8.11	0.19
9.2 mm CNT	2.45	8.31	8.96	0.18
10.5 mm	1.88	8.71	9.58	0.16
10.5 mm CNT	2.31	8.64	10.66	0.21

Numunelerin hacim hesabı Denklem 1 yardımıyla yapılmıştır.

$$V = \frac{T \times W \times L}{1000} \quad (1)$$

Porselen krozelerin boş (m_b), numuneli test öncesi (m_n) ve test sonrası numuneli ağırlıkları (m_s) Çizelge 3.3'te verilmiştir. Denklem 2 yardımıyla yoğunluk hesaplanmıştır. Elyaf ağırlığını (m_f) Denklem 3, Elyaf-Hacim oranını V_f yüzdesel olarak Denklem 4 yardımıyla hesaplanmıştır. Kullandığımız elyafın yoğunluğunu (d_f) 2.6 g/cm³ 'tür. Sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

$$d = \frac{m_n - m_b}{V} \quad (2)$$

$$m_f = m_s - m_b \quad (3)$$

$$V_f = \frac{m_f}{m_n - m_b} \times 100 \times \frac{d}{d_f} \quad (4)$$

Çizelge 3.3. Yakma testi sonrası hesaplanan elyaf ağırlığı, elyaf yoğunluğu, elyaf hacim oranı verileri

Numuneler	m_b (g)	m_n (g)	m_s (g)	d (g/cm ³)	m_f (g)	d_f (g/cm ³)	V_f (%)
8 mm	23.52	23.97	23.82	1.57	0.30	2.60	40.40
8 mm CNT	17.98	18.44	18.29	1.52	0.30	2.60	38.70
9.2 mm	19.77	20.08	19.97	1.55	0.20	2.60	39.28
9.2 mm CNT	19.88	20.16	20.07	1.56	0.19	2.60	39.59
10.5 mm	19.14	19.39	19.31	1.62	0.18	2.60	43.66
10.5 mm CNT	22.65	22.96	22.85	1.47	0.19	2.60	35.04

Tez kapsamında kullanılan BWK kumaşlarla yapılan bir başka çalışmada atkı, çözgü ve dikiş ipliklerinin hesaplanan elyaf hacim oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kompozitlerin elyaf hacim oranları ve kalınlıkları (Demircan vd, 2015)

Numuneler	Atkı (V_{fa_2}) (%)	Çözgü ($V_{fç_2}$) (%)	Dikiş (V_{fd_2}) (%)	V_{f_2} (%)	Kalınlık(mm)
8 mm	16.40	7.90	17.00	41.40	0.93
9.2 mm	14.40	8.80	17.50	40.80	0.83
10.5 mm	11.90	9.50	16.80	38.30	0.72

Çizelge 3.4.'teki V_{f_2} i Çizelge 3.3.'deki V_f ile oranlayarak tez kapsamında kullanılan BWK kumaşların atkı (V_{fa}), çözgü ($V_{fç}$) ve dikiş (V_{fd}) ipliklerinin elyaf hacim oranları Denklem 5, Denklem 6 ve Denklem 7 ile elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.5.'teki gibidir.

$$V_{fa} = \frac{V_{fa_2} \times V_{f_2}}{V_f} \quad (5)$$

$$V_{fç} = \frac{V_{fç_2} \times V_{f_2}}{V_f} \quad (6)$$

$$V_{fd} = \frac{V_{fd_2} \times V_{f_2}}{V_f} \quad (7)$$

Çizelge 3.5. Tez kapsamında kullanılan BWK kumaşın elyaf hacim oranları

Numuneler	Atkı (V_{fa}) (%)	Çözü ($V_{fç}$) (%)	Dikiş (V_{fd}) (%)
8 mm	16.00	7.71	16.59
8 mm CNT	15.33	7.39	15.89
9.2 mm	13.86	8.47	16.85
9.2 mm CNT	13.97	8.54	16.98
10.5 mm	13.57	10.83	19.15
10.5 mm CNT	10.89	8.69	15.37

3.5. Eğme Deneyi

Eğme deneyi ile bir numunenin maruz kaldığı yük ile elastik deformasyonu arasındaki ilişki anlaşılmaya çalışılır. Tez kapsamında şekil 3.7'de gösterilmiş numunelere ASTM D790 standardına üç noktalı eğme testleri yapılmıştır. Üç noktalı eğme testleri için, her bir kompozit panel türünden çözü yönünde 6.5 cm x 1.5 cm boyutunda ve ortalama 2.7 mm kalınlığında üç örnek test edildi.

Örnekler, Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMU) Merkez Laboratuvarı (KITAM) INSTRON 5982 100KN Eğilme Testleri kullanılarak test edildi.. Üç noktalı bükülme testi aparatı, Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Eğme testine tabi tutulan numunelerin mesnet aralığı(S) Denklem 8 yardımıyla hesaplanmıştır. Uygulanan yük (N) göz önünde bulundurularak test sırasında numunenin maruz kaldığı eğilme gerilimi(St_1) Denklem 9, eğilme gerinimi (St_2) ise uzama miktarı (E) göz önünde bulundurularak Denklem 10 yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Üç nokta eğme testi

$$S = W \times 16 \quad (8)$$

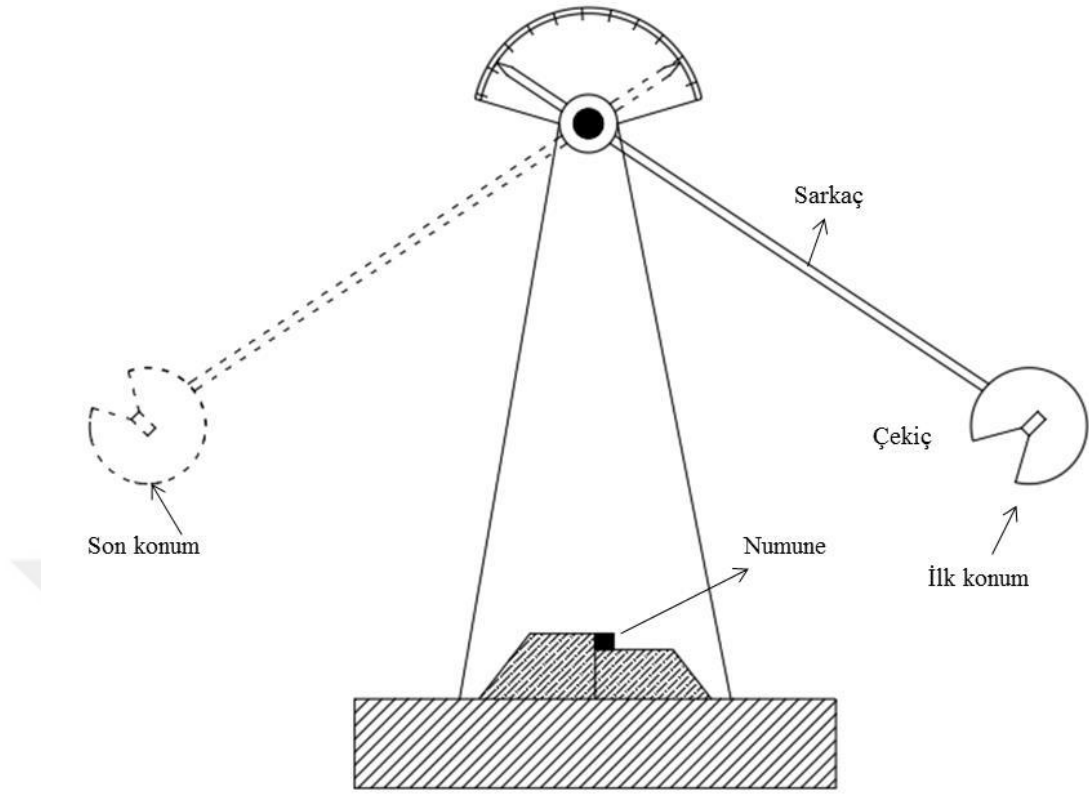
$$(St_1) = \frac{3xNxS}{2xWxT^2} \quad (9)$$

$$(St_2) = \frac{6xExT}{S^2} \quad (10)$$

Her bir yük başına hesaplanan gerilim değerleri incelenerek maksimum değeri, bir başka deyişle maksimum dayanımı gözlemlenmiştir.

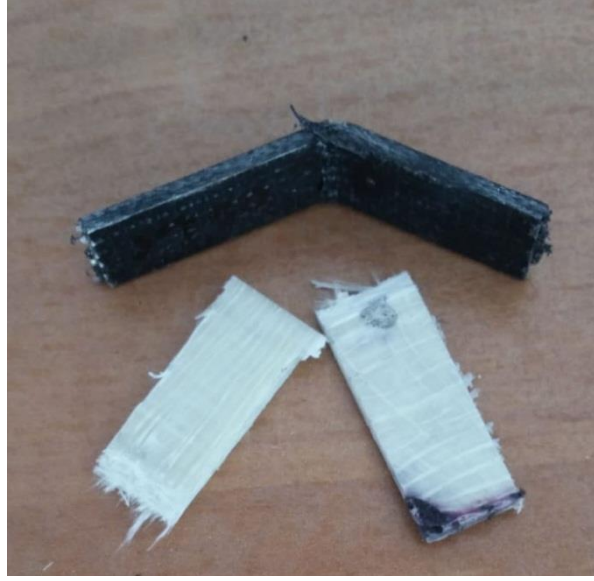
3.6. Charpy-Darbe Deneyi

Darbeye karşı gösterilen direnç, bir malzeme tasarımı sırasında dikkate alınması gereken en önemli hususlardan biridir. Kompozitlerin çeşitli kullanım alanlarında darbeyi absorblleme kabiliyetleri kullanım ömründe önemli rol oynayan bir ölçüdür. Charpy-Darbe deneyi belirli bir yükseklikten bırakılan sarkacın ucundaki çekiç ile numuneye darbe yapılması ile gerçekleşir. Kırılan numune tarafından absorbe edilen darbe enerjisi, çekicinin numuneye dokunduğu andaki potansiyel enerjisi ile numuneyi kırdıktan sonra çekiçte kalan potansiyel enerji farkıdır. Örnek darbe deneyi düzeneği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Charpy-Darbe deneyi düzeneği

Charpy-Darbe testinde eğme testinden farklı olarak atkı yönünde aynı boyutlarda üç örnek alınmıştır. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'nın üç noktalı eğme darbe cihazında (ALSA ZBC 2000) deney yapılmıştır. Charpy-Darbe testinin 9.2 mm öncesi son görüntüsü Şekil 3.11'de gösterilmektedir.

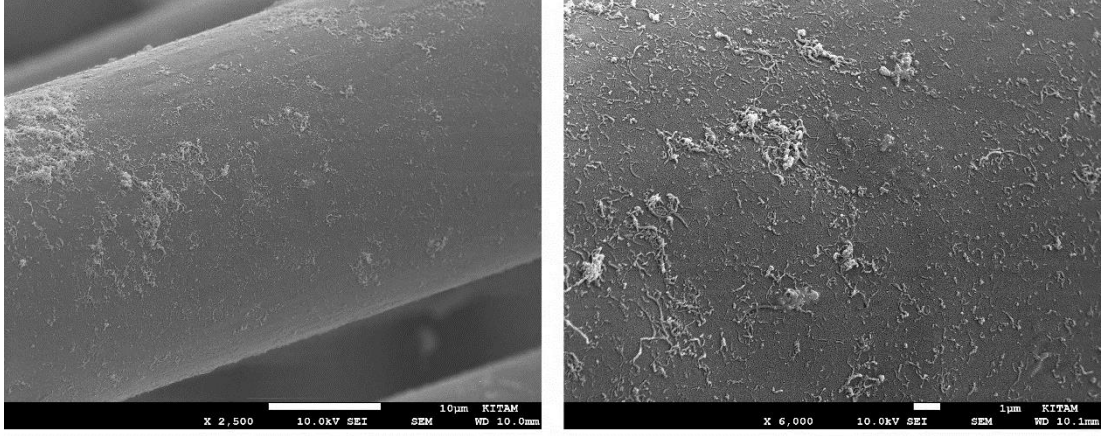


Şekil 3.11. 9.2 mm ilmek aralığına sahip saf ve MWCNT'li numunenin darbe testi sonrası görünümü

3.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri (Fiber Takviye Malzemesi)

Taramalı elektron mikroskobu, elektron mikroskopları arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. Yüksek çözünürlüklü bir şekilde numunelerin yüzeyini tarayarak onların mikroskobik yapılarını inceler. Bir SEM görüntüsü, bir numunenin yüzey alanını tarayan odaklanmış bir elektron ışını tarafından oluşturulur. SEM in en önemli özelliği yüksek alan derinliği sebebiyle görüntülerde 3 boyuta sahip olmasıdır.

CNT'lerin takviyesinden sonra PP-cam karıştırılmış elyafların yüzey morfolojilerinin SEM görüntüleri Şekil 3.12 (a) ve (b) 'de gösterilmiştir. Şekil 3.12 (a)'da, CNT takviye işleminden sonra tek bir cam elyafın SEM görüntüsünü verilmiştir. Cam elyafın yüzeyi homojen CNT tabakası ile örtülmüştür. Cam elyaf yüzeyi üzerindeki kaplanmamış bölgelerin bazıları da gözlenmiştir. Tek tek CNT takviye edilmiş cam elyafın büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 3.12 (b) 'de gösterilmiştir. Cam elyaflar üzerindeki CNT'ler çoğunlukla homojen olarak dağılmıştır ve birkaç CNT birikimi gözlenmiştir. Homojen dağılmış CNT'ler, CNT'lerin takviye edildiği fiber matris arayüzü ve ek sertleştirme mekanizmaları arasındaki arayüzey etkileşimlerinde önemli rol oynar.



Şekil 3.12. CNT takviyesinden sonra PP cam karışmış elyaf yüzey morfolojileri SEM görüntüleri. SEM: tarama elektron mikroskopisi, PP: polipropilen, CNTs: karbon nanotüpler.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda üretilen kompozit plakalar yakma, eğme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Bu çalışma kapsamında üretmiş olduğumuz kompozitlerin mekanik dayanımına, ilmek aralığı ve karbon nanotüplerin takviyesinin etkilerini inceledik.

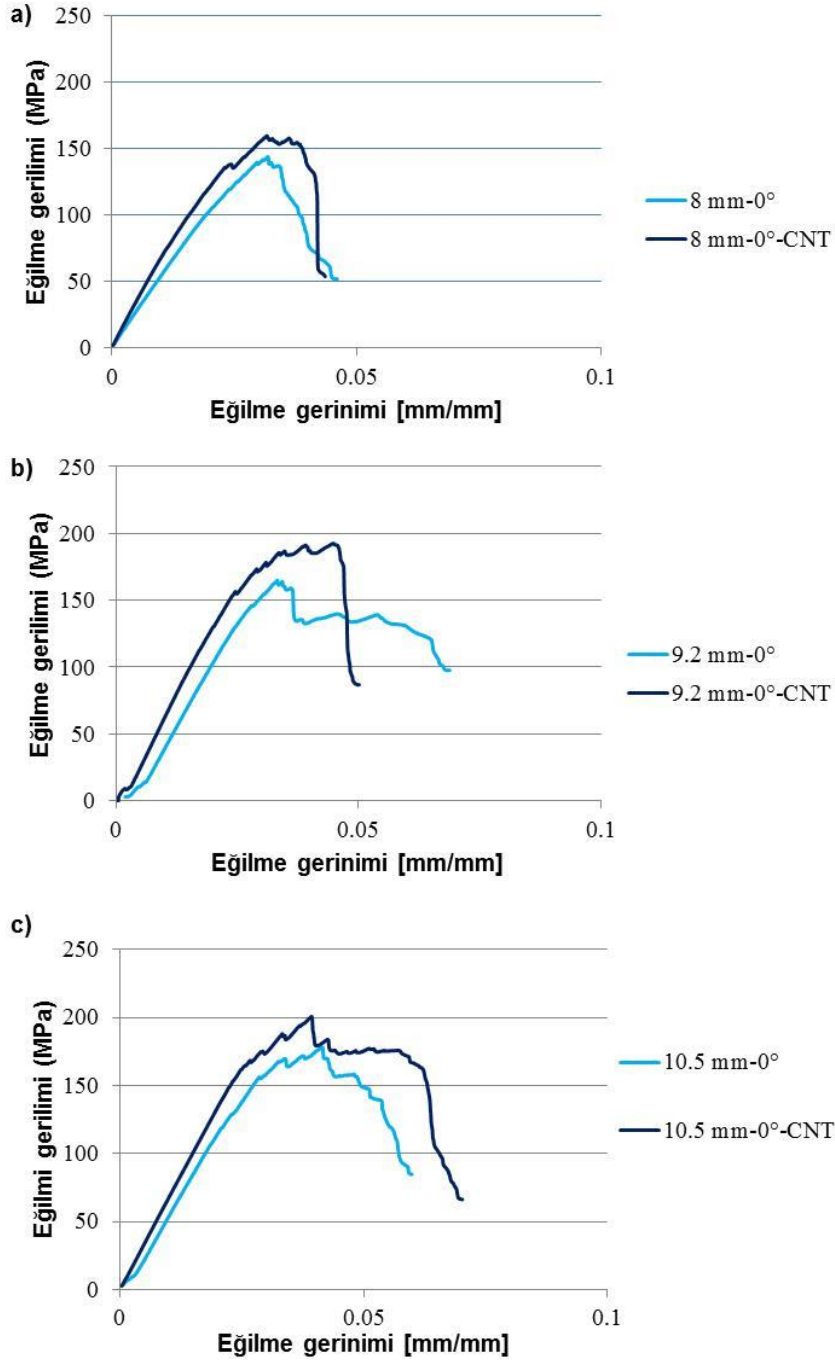
4.1. Eğme Deneyi Sonuçları

Spesifik döngü uzunluklarına sahip her kompozitin maksimum dayanımı ve modülleri standart sapmaları ile birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Standart sapmaları ile birlikte üç nokta eğme deneyi sonuçları

Çözümlü Yönde Numuneler	Maksimum Dayanım [MPa]	Modüller [GPa]
8 mm	136.8±11.5	5.23±0.12
8 mm CNT	162.6±11.6	6.33±0.34
9.2 mm	175.6±20.3	6.71±0.44
9.2 mm CNT	192.2±8.4	7.17±0.19
10.5 mm	179.2±3.5	6.23±0.12
10.5 mm CNT	206.7±13.4	6.87±0.39

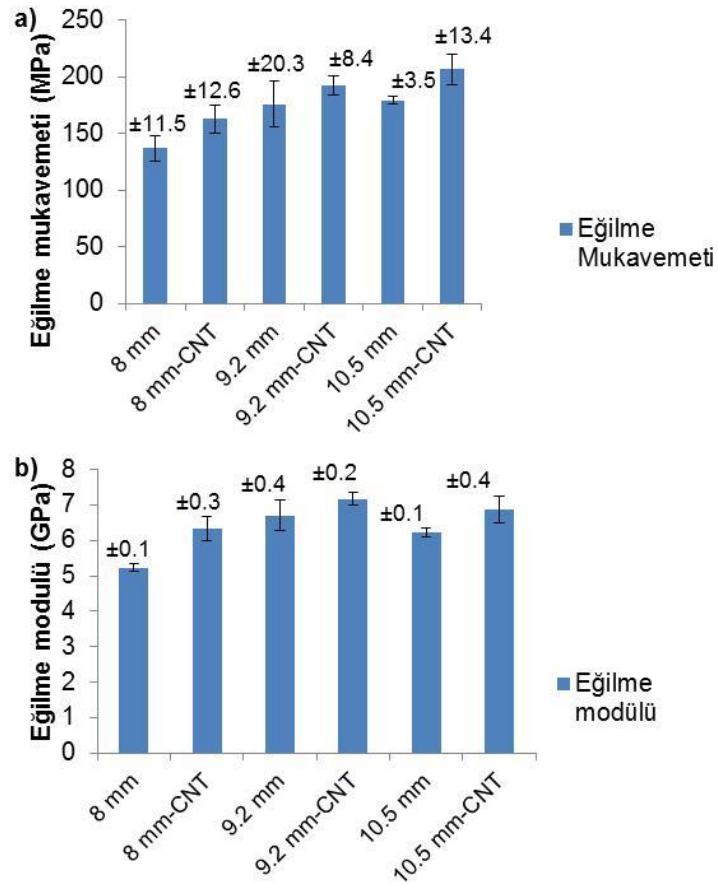
Şekil 4.1 (a) ila (c) üç noktalı bükülme testinden gerilim-gerinim eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.1 (c)'de, 10.5 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'ye sahip örnekler diğere örnekler arasında en yüksek eğilme gerilmesine sahipken, 8.00 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %0.0 MWCNT'lere sahip örnek, en düşük eğilme gerilmesine sahiptir.



Şekil 4.1. Eğme testinin ortalama Gerilme-Gerinim değerleri grafiği

Şekil 4.2 BWC kompozit numunelerinin bükülme modülü ve mukavemetinin sonuçlarını göstermektedir. Kompozitlerin eğilme modülü ve mukavemeti, MWCNT'lerin ilave edilmesi ve çözgü yönünde ilmek uzunluklarının artırılmasıyla geliştirilmiştir. 10.5 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'lere sahip BWC kompozitler, test edilen diğer örneklere kıyasla üstün eğilme modülü ve mukavemeti (6.87 GPa ve 206.7 MPa) sergiledi. 10.5 mm döngü ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'lere sahip BWC kompozitleri, 0° yönünde 8.00 mm ilmek ve ağırlıkça

%1.7 MWCNT'ye sahip kompozitler (6.33 GPa ve 162.6 MPa) ile karşılaştırıldığında %8.5 ve %27 daha yüksek eğilme modülü ve mukavemeti sergiledi. 10.5 mm döngü ve ağırlıkça %1.7 MWCNT (6.87 GPa ve 206.7 MPa) içeren BWK kompozitleri, 0° yönünde 10.5 mm döngü ve ağırlıkça% 0.0 MWCNT (6.2 GPa ve 179 MPa) ile karşılaştırıldığında yaklaşık %11 ve %15 daha yüksek eğilme modülü ve mukavemeti sergilemiştir.



Şekil 4.2. Kompozitlerin standart sapmalı test sonuçları a) Eğilme mukavemeti, b) Eğilme modülü

CNT'lerin eklenmesi sırasında eğilme modülü ve mukavemetindeki iyileşme, MWCNT içermeyen örneklerle kıyasla 9.2 mm ilmek uzunluğu için %6 ve %9 ve 8.0 mm ilmek uzunluğu için %21 ve %19 idi. 10.5 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %0.0 MWCNT'ye sahip örnekler, 8.0 mm ve 9.2 mm ilmek uzunluklarına sahip ve 0° yönünde MWCNT içermeyen örneklerle kıyasla bükülme mukavemetinde yaklaşık %31 ve %2'lik bir gelişme göstermiştir.

8.0 ve 9.2 mm'lik BWK kompozitlerine kıyasla 10.5 mm ilmek uzunluğuna sahip kompozitlerin sahip olduğu yüksek çözgü elyaf hacmi oranı nedeniyle, daha yüksek eğilme mukavemeti sonuçları elde edilmiştir. MWCNT eklenmiş numuneler için gelişmiş eğilme özelliklerinin elde edilmesinin olası nedeni, kompozit malzemede MWCNT'ler tarafından oluşturulan lif ve matris arasındaki sinerjidir.

Bu sonuçları literatürde bulunanlarla karşılaştırdığımızda, Demircan ve ark., ağırlıkça %0.9 MWCNT içeren nano-güçlendirilmiş laminatlar için eğilme modülünde %33 ve %65 oranında artış olduğunu bildirmişlerdir (Demircan vd, 2019). Karbon fiber takviyeli PP matris kompozitlerde CNT büyümesine bağlı olarak gerilme modülünde ve mukavemetinde %104 ve %64 artış Shazed ve ark. Tarafından bildirilmiştir (Shazed vd, 2014).

4.2. Charpy-Darbe Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.2, BWK kompozit numunelerinin Charpy darbe testlerinin sonuçlarını göstermektedir. Kompozitlerin Charpy darbesi tarafından emilen enerjisi, MWCNT'lerin ilave edilmesi ve atkı yönündeki ilmek uzunluklarının azaltılmasıyla geliştirilmiştir.

8.0 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'lere sahip BWK kompozitler, test edilen diğer örneklerle kıyasla yüksek Charpy darbe enerjisi (7.78 Joule) sergiledi. 8.0 mm ilmek ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'lere sahip BWK kompozitleri, 90° yönünde 10.5 mm döngü (3.29 Joule) ve ağırlıkça %0.0 MWCNT içeren numuneden %136 daha fazla enerji absorbe etmiştir. 8.0 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'ye sahip örnekler, 8.0 mm ilmekli ve 90° yönünde MWCNT içermeyen örneklerle kıyasla Charpy darbe enerjisinde yaklaşık %23'lük bir iyileşme göstermiştir. CNT'lerin eklenmesi sırasında Charpy darbe enerji artışı, MWCNT içermeyen örneklerle kıyasla 9.2 mm ilmek uzunluğu için yaklaşık

%9 ve 10.5 mm ilmek uzunluğu için %23 idi. Daha önce de belirtildiği gibi, MWCNT'lere dahil edilen numuneler için geliştirilmiş Charpy darbe özelliklerini elde etmenin olası nedeni, kompozit malzemede MWCNT'ler tarafından oluşturulan lif ve matris arasındaki sinerjidir.

Çizelge 4.2. BWK kompozit numunelerinin darbe testi sonuçları

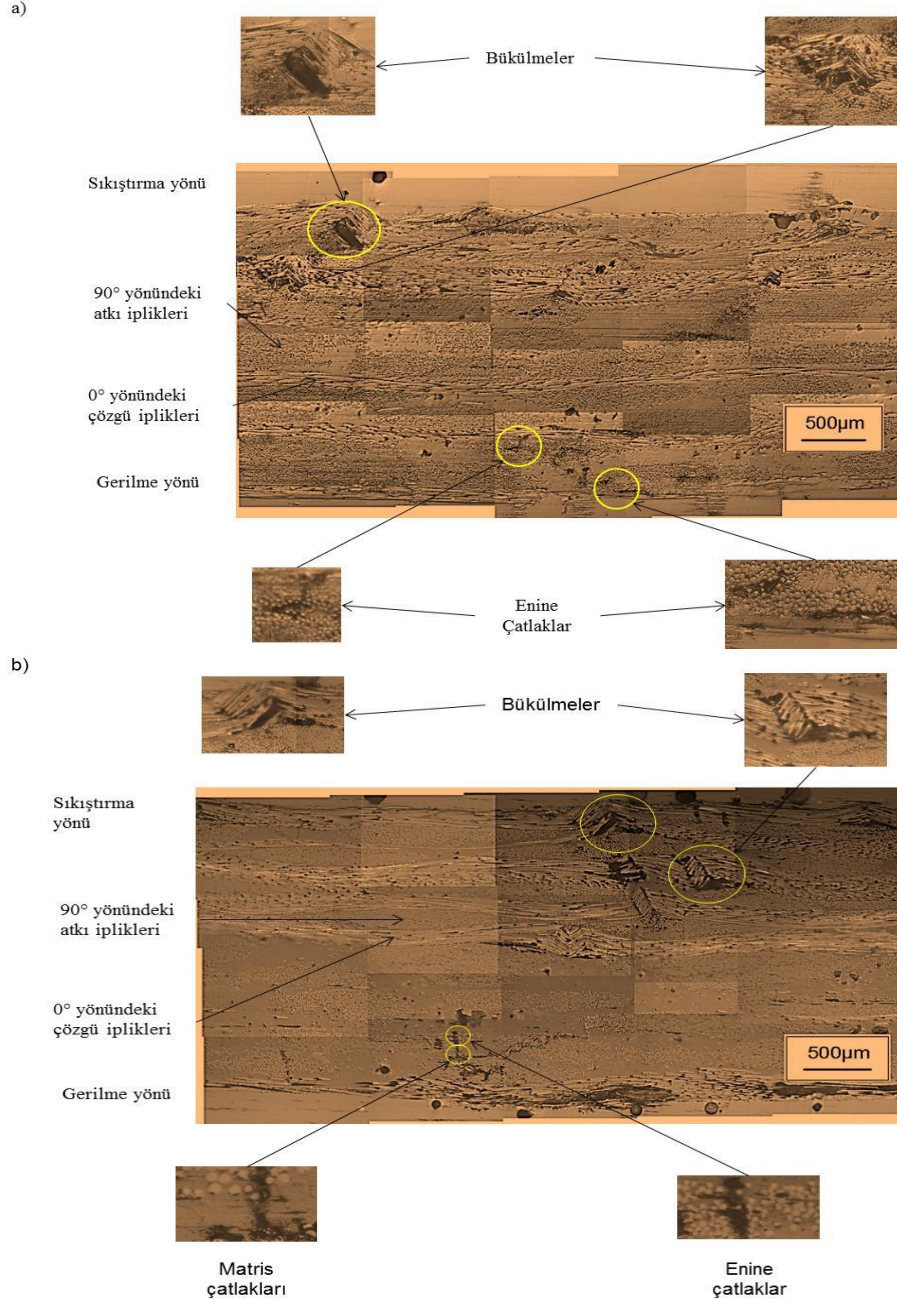
Numuneler	Darbe Enerjisi (Joule)	Atkı yönündeki Elyaf/Hacim Oranı	Kırılma Enerjisi Artışı (%)
8 mm	6.33	16.00	%22.91
8 mm CNT	7.78	15.33	
9.2 mm	3.29	13.86	%9.73
9.2 mm CNT	3.61	13.97	
10.5 mm	3.29	13.57	%22.8
10.5 mm CNT	4.04	10.89	

8.0 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %0.0 MWCNT'ye sahip 90° yönünde ki numuneler, 9.2 mm ve 10.5 mm ilmek uzunluklarına ve 90° yönünde MWCNT içermeyen numunelere kıyasla Charpy darbe enerjisinde yaklaşık %92'lik bir iyileşme göstermiştir. 9.2 ve 10.5 mm'lik BWK kompozitlere kıyasla 8.0 mm ilmek uzunluğuna sahip kompozitlerin daha yüksek atkı lif hacmi fraksiyonu nedeniyle, Charpy darbe enerjisinin daha yüksek sonuçları elde edilmiştir. CNT'lerin eklenmesinin kompozitlerin enerji emme özellikleri üzerindeki etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Papila ve ark., Ağırlıkça %0.2 MWCNT ara katmanları varlığında Charpy çarpma enerjisi emiliminde %20 artış bildirmiştir (Papila vd, 2012). Sharma ve arkadaşları, MWCNT'li fabrikasyon kompozitlerden Charpy testlerinde %48.7 daha yüksek enerji emilimi bildirmişlerdir (Sharma vd, 2015).

4.3. Optik Mikroskop Analizleri

Şekil 4.3. (a) ve 4.3. (b), 0° yönünde test edilen örneklerin bükülmesinden oluşan optik mikrogramın kırık yönlerini göstermektedir. Her iki kompozitte numunelerin gerilme ve sıkıştırma tarafındaki burkulmalar, enine çatlaklar, matris çatlakları ve lif

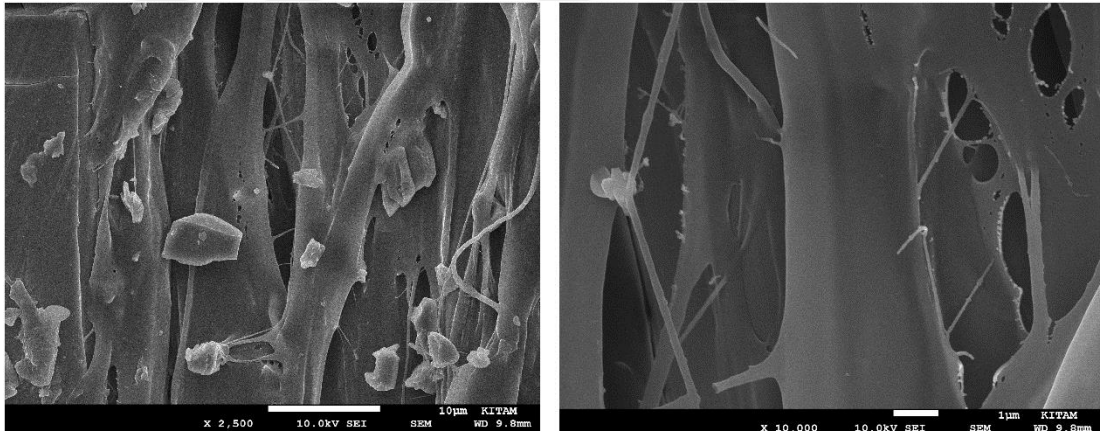
çatlakları görülmektedir. Enine çatlakların sayısı, ağırlıkça %0.0 MWCNT'li örneklerde (Şekil 4.3. (a)) ağırlıkça %1.7 MWCNT'li örneklerle kıyasla daha yüksektir (Şekil 4.3. (b)). Ağırlıkça %1.7 MWCNT içeren numunelerdeki daha az sayıda çatlak, kumaş yüzeyinin MWCNT çözeltisi ile kaplanması nedeniyle GF'ler ve PP matrisi arasında üstün arayüzey bağı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Eğme numunelerinin optik mikroskop görüntüleri ((a) ağırlıkça %0.0 MWCNT ve (b) ağırlıkça %1.7 MWCNT, MWCNT: çok duvarlı karbon nanotüpler)

4.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri (Kompozit Malzeme)

Şekil 4.4 (a) ve (b), eğme test numunelerinin SEM görüntülerini göstermektedir. Şekil 4.4 (b), Şekil 4.4 (a) 'nın büyütülmüş görüntüsüdür. Bağlanmış MWCNT'ler, kompozitlerdeki PP polimer ve cam elyaflar arasında görülmektedir. CNT ile modifiye edilmiş lamine kompozitlerde fiber köprüleme, CNT'lerin çekilmesi ve çatlak dallanması gibi birçok tokluk mekanizmasının aynı anda kırık tokluğuna katkıda bulunduğu inanılmaktadır. Cam elyaf ve PP matris arasındaki arayüzey bağının, elyafların yüzeyi üzerine MWCNT'lerin aşılmasıyla iyileştirilebildiği görülmektedir. Elyaf yüzeyindeki CNT'ler çatlak nano ölçekli olarak köprüler ve çatlak büyümesi sırasında kompozitin tokluğunu artırır. Bu, CNT entegre edilmiş termoplastik kompozitlerin CNT'sizden daha yüksek mekanik özelliklerinin elde edilmesiyle sonuçlanmıştır.



Şekil 4.4. Eğme testine tabii tutulmuş MWCNT'li kırık örneklerin SEM görüntüleri

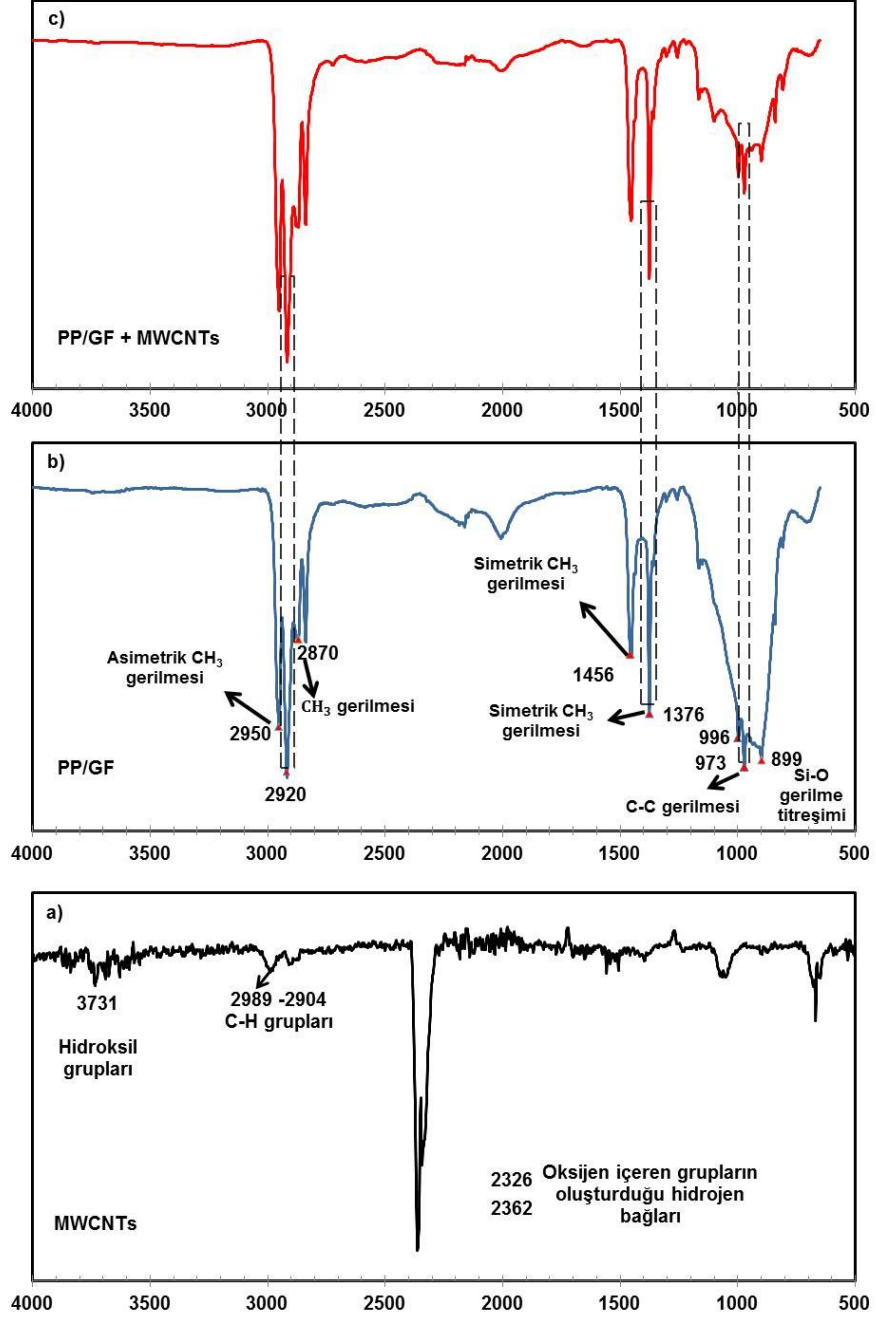
4.5. FTIR (Fourier Dönüştürümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi) Analizleri

FTIR spektroskopisi, malzemelerin kimyasal yapısını araştırmak için önemli bir yöntemdir. FTIR spektroskopisinin temeli kızılötesi ışığın incelenen numune tarafından soğurulmasına dayanır. FTIR, moleküller tarafından soğurulan kızılötesi ışınları ölçer ve moleküllerdeki çeşitli bağların titreşim frekansları ve moleküldeki fonksiyonel gruplar hakkında bilgi verir.

MWCNT'lerin FTIR spektrumu Şekil 4.5 (a) 'da gösterilmiştir. MWCNT'lerin FTIR spektrumu nanotüp yüzeyinde dikkate değer miktarda fonksiyonel grup bulunduğunu gösterir. 3731 cm^{-1} 'deki pik, serbest hidroksil gruplarıyla ilişkilidir.

2989 ve 2904 cm^{-1} 'deki bantlar, C-H bağlarının gerilme titreşimlerini temsil eder, nanotüp yüzeyi üzerindeki CH_3 emilimini gösterir. 2326-2362 cm^{-1} 'deki pikler, oksijen içeren gruplara (-COOH) bağlı hidrojen bağlanması ile ilgilidir (V. Eskizeybek vd, 2017; V. Eskizeybek vd, 2014; Qui vd, 2011). PP / GF'nin FTIR spektrumu Şekil 4.5 (b) 'de gösterilmiştir. 973 cm^{-1} 'deki tepe noktası sallanan CH_3 ve gerilme titreşimi C-C bağı ile ilgilidir ve 996 cm^{-1} 'deki tepe noktası sallanan CH_3 ile ilgilidir. 2870 cm^{-1} 'deki tepe noktası CH_3 'ün gerilme titreşimi ile ilgilidir. 1378 cm^{-1} ve 1456 cm^{-1} 'deki pikler CH_3 'ün simetrik bükülmesine tahsis edilmiştir. 2950 cm^{-1} 'deki tepe noktası, CH_3 'ün asimetrik olarak gerilmesine tahsis edilmiştir (V. Eskizeybek vd, 2017; V. Eskizeybek vd, 2014; Qui vd, 2011; Fang vd, 2012). 899 cm^{-1} deki tepe noktası Si-O-Si bağlarındaki gerilme titreşimini gösterir.

PP / GF + MWCNT'lerin FTIR spektrumu Şekil 4.5(c)'de gösterilmiştir. BWK kumaşının PP / GF + MWCNT'lerle kaplanmasından sonra, C-C germe titreşimlerinin şiddeti azalmıştır ve spektrumun özellikleri, dalga sayıları ve yoğunlukları üzerinde başka önemli değişiklikler gözlenmemiştir (Şekil 4.5 (c)). Kompozit laminatların imalat işlemi, yüksek sıcaklıkta sıcak presleme (165 °C) ile yapılır ve bu işlem koşulları, MWCNT yüzeyindeki $-\text{CH}_3$ ve $-\text{COOH}$ gibi fonksiyonel gruplar ile GF üzerindeki serbest silanol grupları arasında kimyasal bağların oluşmasını sağlar(V. Eskizeybek vd, 2017; V. Eskizeybek vd, 2014).



Şekil 4.5. FTIR karakterizasyonu sonuçları. FTIR: Fourier dönüşümü kızılötesi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamız, termoplastik kompozitlerin BWK kumaşı ile eğilme ve Charpy darbe özelliklerinin, MWCNT'lerin kumaş tabakalarının arayüzüne dahil edilmesiyle geliştirilebileceğini ortaya koymuştur. Kompozitlerin eğilme modülü ve mukavemeti, çözgü doğrultusunda ilmek uzunlukları arttırılarak geliştirildi. Kompozitlerin eğilme modülü ve mukavemeti, çözgü doğrultusunda ilmek uzunluklarının artması ile doğru orantılıdır. Kompozitlerin Charpy darbesi tarafından emilen enerjisi, atkı yönünde ki ilmek uzunlukları ile ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

10.5 mm ilmek uzunluğu ve ağırlıkça %1.7 MWCNT içeren BWK kompozitler, ağırlıkça %0.0 ve %1.7 MWCNT takviyeli 8.0 mm ve 9.2 mm ilmek uzunluklarına sahip test edilen diğer örneklerle karşılaştırıldığında üstün eğilme modülü ve mukavemeti (6.87 GPa ve 206.7 MPa) sergiledi. 8.0 mm ilmek uzunluğuna ve ağırlıkça %1.7 MWCNT'lere sahip BWK kompozitler, test edilen diğer örneklerle kıyasla daha çok Charpy darbe enerjisi (7.78 Joule) absorblemiştir.

Çözgü ve atkı yönlerindeki daha yüksek elyaf hacim oranı nedeniyle, eğme ve Charpy darbe dayanımı artmıştır. Kompozite takviye edilmiş halositlerin çatlak büyümesi ve çatlakların birleşmesi konusunda önemli bir role sahip olduğu literatürde gösterilmiştir(AIKhateab vd, 2020). Buradaki mekanizmaya benzer şekilde de çalışmamızda lif üzerindeki homojen dağılmış CNT'ler ve lif üzerinde yer yer kümelenmiş CNT'ler çatlak ilerlemesi sırasında kompozitin tokluğunu arttırarak çatlak ilerlemesini ve çatlakların birleşmesini önlemiştir. Test edilen eğme numunelerinin optik mikrografları ve SEM görüntüleri, numunelerin eğilme özelliklerinin sonuçları ile daha iyi anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Acierno, S., Barretta, R., Luciano, R., Sciarra, F. M. ve Russo, P. 2017. Experimental evaluations and modeling of the tensile behavior of polypropylene/single-walled carbon nanotubes fibers. *Composite Structures*, 174, 12-18. doi:10.1016/j.compstruct.2017.04.049
- Albooyeh, A. R. 2019. The effect of addition of Multiwall Carbon Nanotubes on the vibration properties of Short Glass Fiber reinforced polypropylene and polypropylene foam composites. *Polymer Testing*, 74, 86-98. doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.12.014
- AlKhateab, B., Tabrizi, I. E., Zanjani, J. S. M., Rahimi, M. N., Poudeh, L. H., Kefal, A. ve Yildiz, M. 2020. Damage mechanisms in CFRP/HNT laminates under flexural and in-plane shear loadings using experimental and numerical methods. *Composites Part A*, 136, 105962. doi: 10.1016/j.compositesa.2020.105962
- Bao, S. P. ve Tjong, S. C. 2008. Mechanical behaviors of polypropylene/carbon nanotube nanocomposites: The effects of loading rate and temperature. *Materials Science and Engineering A*, 485, 508-516. doi:10.1016/j.msea.2007.08.050
- Bhuiyan, K. H., Rahman, M., Mina, F., Islam, M. R., Gafur A. ve Begum, A. 2013. Crystalline morphology and properties of multi-walled carbon nanotube filled isotactic polypropylene nanocomposites: Influence of filler size and loading. *Composites: Part A*, 52, 70-79. doi:10.1016/j.compositesa.2013.05.011
- Bilisik, K., Erdogan, G. ve Sapancı E. 2018. Flexural behavior of 3D para-aramid/phenolic/nano (MWCNT) composites. *RSC Advances*, 8, 7213-7224. doi: 10.1039/c7ra13437a
- Bilisik, K., Karaduman N. S. ve Sapancı E. 2019. Flexural characterization of 3D prepreg/stitched carbon/epoxy/multiwalled carbon nanotube preforms and composites. *Journal of Composite Materials*, 53:5, 563-577. doi:10.1177/0021998318787861
- Burmistrov, I., Gorshkov, N., Ilinykh, I., Muratov, D., Kolesnikov, E., Yakovlev, E., Mazov, I., Issi, J.P. ve Kuznetsov, D. 2017. Mechanical and electrical properties of ethylene-1-octene and polypropylene composites filled with carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 147, 71-77. doi:10.1016/j.compscitech.2017.05.005
- Cesano, F., Zacccone, M., Armentano, I., Cravanzola S., Muscuso, L., Torre, L., Kenny, J. M., Monti M. ve Scarano D. 2016. Relationship between morphology and electrical properties in PP/MWCNT composites: Processing-induced anisotropic percolation threshold. *Materials Chemistry and Physics*, 180, 284-290. doi:10.1016/j.matchemphys.2016.06.009
- Chen H, Witharana S, Jin Y, Kim C ve Ding Y (2009). Predicting thermal conductivity of liquid suspensions of nanoparticles (nanofluids) based on rheology. *Particuology*, 7(2): 151–157.

- Cho., B. G., Hwang, S. H., Park, M., Park, J. K., Park, Y. B. ve Chae, H. G. 2016. The effects of plasma surface treatment on the mechanical properties of polycarbonate/carbon nanotube/carbon fiber composites. *Composites Part B*, 160, 436-445. doi:10.1016/j.compositesb.2018.12.062
- Choi C, Yoo H S ve Oh J M (2008). Preparation and heat transfer properties of nanoparticle-in-transformer oil dispersions as advanced energy-efficient coolants. *Current Applied Physics*, 8(6): 710–712.
- Choi S U S, Zhang Z G, Yu Wl, Lockwood F E ve Grulke E A (2001). Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions. *Applied physics letters*, 79(14): 2252–2254.
- Chopkar M, Sudarshan S, Das P K ve Manna I (2008). Effect of particle size on thermal conductivity of nanofluid. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 39(7): 1535–1542.
- Chung S J, Leonard J P, Nettleship I, Lee J K, Soong Y, Martello D V ve Chyu M K (2009). Characterization of ZnO nanoparticle suspension in water: Effectiveness of ultrasonic dispersion. *Powder Technology*, 194(1–2): 75–80.
- Darkazali, A. A., Çolak, P., Kadioğlu, K., Günaydın, E., İnanç, İ. ve Demircan, Ö. 2018. Mechanical Properties of Thermoplastic and Thermoset Composites Reinforced with 3D Biaxial Warp-knitted Fabrics. *Applied Composite Materials*, 25, 939-951. doi: 10.1007/s10443-018-9725-x
- Demircan, O., Al-darkazali, A., İnanç, İ. ve Eskizeybek, V. 2019. Investigation of the effect of CNTs on the mechanical properties of LPET/glass fiber thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-22. doi:10.1177/0892705719833105
- Demircan, Ö., Ashibe, S., Kosui, T. ve Nakai, A. 2015. Effect of various loop lengths on mechanical properties of biaxial weft-knitted thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 28:7, 1075-1088. doi:10.1177/0892705714526918
- Dhinesh Kumar D ve Valan Arasu A (2018). A comprehensive review of preparation, characterization, properties and stability of hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(February 2017): 1669–1689. doi:10.1016/j.rser.2017.05.257
- Dydek, K., Latko-Duralek, P., Boczkowska, A., Sałaciński, M. ve Kozera, R. 2019. Carbon Fiber Reinforced Polymers modified with thermoplastic nonwovens. *Composites Science and Technology*, 173, 110-117. doi:10.1016/j.compscitech.2019.02.007
- Entering a R E W E, Age a G ve Gas O F (2011). World Energy. *Outlook*, 23(November): 329. doi:10.1049/ep.1977.0180
- Ervina, J., Mariatti M. ve Hamdan, S. 2016. Effect of Filler Loading on the Tensile Properties of Multi-walled Carbon Nanotube and Graphene Nanopowder filled Epoxy Composites *Procedia Chemistry*, 19, 897-905. doi: 10.1016/j.proche.2016.03.132

- Eskizeybek, V., Avcı, A. ve Gülce, A. 2017. Preparation and mechanical properties of carbon nanotube grafted glass fabric/epoxy multi-scale composites. *Advanced Composite Materials*, 26:2, 169-180. doi:10.1080/09243046.2015.1052188
- Eskizeyvek, V., Avcı, A. ve Gülce, A. 2014. The Mode I interlaminar fracture toughness of chemically carbon nanotube grafted glass fabric/epoxy multi-scale composite structures. *Composites: Part A*, 63, 94-102. doi:10.1016/j.compositesa.2014.04.013
- Fang, J., Zhang, L., Sutton, D., Wang, X. ve Lin t. 2012. Needleless Melt-Electrospinning of Polypropylene Nanofibres. *Journal of Nanomaterials*, 2012. doi:10.1155/2012/382639
- Goudarzi K, Nejati F, Shojaeizadeh E ve Asadi Yousef-abad S K (2015). Experimental study on the effect of pH variation of nanofluids on the thermal efficiency of a solar collector with helical tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60: 20–27. doi:10.1016/j.expthermflusci.2014.07.015
- Hamada, H. Sugimoto, K., Nakai, A., Takeda, N., Gotoh, S. ve Ishida, T. 2000. Mechanical Properties of Knitted Fabric Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 19:5, 364-376. doi:10.1177/073168440001900502
- Hassani, H., Hassanzadeh, S., Abghary, M. J. ve Omrani, E. 2017. Biaxial weft-knitted fabrics as composite reinforcements: A review. *Journal of Industrial Textiles*, 46:7, 1439-1473. doi:10.1177/1528083715624256
- Hassanpour M, Vaferi B ve Masoumi M E (2018). Estimation of pool boiling heat transfer coefficient of alumina water-based nanofluids by various artificial intelligence (AI) approaches. *Applied Thermal Engineering*, 128: 1208–1222. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.09.066
- Hemmat Esfe M, Ahangar M R H, Toghraie D, Hajmohammad M H, Rostamian H ve Tourang H (2016). Designing artificial neural network on thermal conductivity of Al₂O₃-water-EG (60–40%) nanofluid using experimental data. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 126(2): 837–843. doi:10.1007/s10973-016-5469-8
- Hong, M. S., Choi, W. K., An, K. H., Kang, S. J., Park S. J., Lee, Y. S. ve Kim, B. J. 2014, Electromagnetic interference shielding behaviors of carbon fibers-reinforced polypropylene matrix composites: II. Effects of filler length control. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 3901-3904. doi:10.1016/j.jiec.2013.12.096
- Jiang W, Ding G, Peng H ve Hu H (2010). Modeling of nanoparticles' aggregation and sedimentation in nanofluid. *Current Applied Physics*, 10(3): 934–941. doi:10.1016/j.cap.2009.11.076
- Kakaç S ve Pramuanjaroenkij A (2009). Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(13–14): 3187–3196.
- Kaymakçı, A., Birinci, E. ve Ayrılmış, N. 2019. Surface characteristics of wood polypropylene nanocomposites reinforced with multi-walled carbon nanotubes.

- Khaleduzzaman S S, Sohel M R, Saidur R ve Selvaraj J (2015). Stability of Al₂O₃-water nanofluid for electronics cooling system. *Procedia Engineering*, 105(Ictc 2014): 406–411. doi:10.1016/j.proeng.2015.05.026
- Küçükyıldırım, B.O. ve Akdoğan, Eker, A. 2012. Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53:630, 34-44.
- Lee S, Choi S-S, Li and S ve Eastman J A (1999). Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. *Journal of Heat transfer*, 121(2): 280–289.
- Leong K Y, Ku Ahmad K Z, Ong H C, Ghazali M J ve Baharum A (2017). Synthesis and thermal conductivity characteristic of hybrid nanofluids – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(May 2015): 868–878. doi:10.1016/j.rser.2016.11.068
- Li X, Zhu D ve Wang X (2007). Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions. *Journal of colloid and interface science*, 310(2): 456–463.
- Lin, Z. L., Lou, C. W., Pan, Y. J., Hsieh, C. T., Huang, C. H., Huang, C.L., Chen, Y. S. ve Lin, J. H. 2017. Conductive fabrics made of polypropylene/multi-walled carbon nanotube coated polyester yarns: Mechanical properties and electromagnetic interference shielding effectiveness. *Composites Science and Technology*, 141, 74-82. doi:10.1016/j.compscitech.2017.01.013
- Longo G A, Zilio C, Ortombina L ve Zigliotto M (2017). Application of Artificial Neural Network (ANN) for modeling oxide-based nanofluids dynamic viscosity. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 83: 8–14. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2017.03.003
- Luo, H., Shi, Z., Li, N., Gu, Z. ve Zhuang, Q. 2001. Investigation of the electrochemical and electrocatalytic behavior of single-wall carbon nanotube film on a glassy carbon electrode. *Analytical Chemistry*, 73:5, 915-920. doi:10.1021/ac0009671
- Maheshwary P B, Handa C C ve Nemade K R (2017). A comprehensive study of effect of concentration, particle size and particle shape on thermal conductivity of titania/water based nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 119: 79–88. doi:10.1016/j.applthermaleng.2017.03.054
- Manchado, M. A. L., Valentini L., Biagiotti, J. ve Kenny J. M. 2005. Thermal and mechanical properties of single-walled carbon nanotubes–polypropylene composites prepared by melt processing. *Carbon*, 43:7, 1499-1505. doi:10.1016/j.carbon.2005.01.031
- Mani, G., Fan, Q., Ugbolue, S. C. ve Yang, Y. 2005. Morphological studies of polypropylene-nanoclay composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 97, 218-226. doi:10.1002/app.21750
- Moghadassi A R, Hosseini S M, Henneke D ve Elkamel A (2009). A model of

- nanofluids effective thermal conductivity based on dimensionless groups. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96(1): 81–84.
- Moore, E. M., Ortiz, D. L., Marla, V. T., Shambaugh, R. L. ve Grady, B. P. 2004. Enhancing the strength of polypropylene fibers with carbon nanotubes. *Journal of Applied Polymer Science*, 93:6, 2926-2933. doi:10.1002/app.20703
- Nasr G E, Badr E A ve Joun C (2003). Backpropagation neural networks for modeling gasoline consumption. *Energy conversion and management*, 44(6): 893–905.
- Nikkhah V, Sarafraz M M, Hormozi F ve Peyghambarzadeh S M (2014). Particulate fouling of CuO-water nanofluid at isothermal diffusive condition inside the conventional heat exchanger-experimental and modeling. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 60: 83–95. doi:10.1016/j.expthermflusci.2014.08.009
- ns of hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(August): 1112–1122. doi:10.1016/j.rser.2017.05.221
- Özeriç S, Kakaç S ve Yazıcıoğlu A G (2010). Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review. *Microfluidics and Nanofluidics*, 8(2): 145–170.
- Papila, M., Bilge, K., Yenigün, E. O., Şimşek E. ve Menceloğlu, Y. Z. 2012. Structural composites hybridized with epoxy compatible polymer/MWCNT nanofibrous interlayers. *Composites Science and Technology*, 72, 1639-1645. doi:10.1016/j.compscitech.2012.07.005
- Peng, B., Jiang, Y. ve Zhu, A. 2019. A novel modification of carbon nanotubes for improving the electrical and mechanical properties of polyethylene composites. *Polymer Testing*, 74, 72-76. doi:10.1016/j.polymertesting.2018.12.018
- Peng, B., Locascia, M., Zapol, P., Li, S., Mielke, S. L., Schatz, G. C., Espinosa, H. D. 2008. Measurements of near-ultimate strength for multiwalled carbon nanotubes and irradiation-induced crosslinking improvements. *Nature Nanotechnology*, 3, 626-632. doi:10.1038/nnano.2008.211
- Qin C ve Coulombe S (2006). Synthesis of organic layer-coated copper nanoparticles in a dual-plasma process. *Materials Letters*, 60(16): 1973–1976.
- Qui, N. V., Scholz, P., Krech, T., Keller, T. F., Pollok, K., Ondruschka, B. 2011. Multiwalled carbon nanotubes oxidized by UV/H₂O₂ as catalyst for oxidative dehydrogenation of ethylbenzene. *Catalysis Communications*, 12, 464-469. doi:10.1016/j.catcom.2010.11.007
- Ranga Babu J A, Kumar K K ve Srinivasa Rao S (2017). State-of-art review on hybrid nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(April): 551–565. doi:10.1016/j.rser.2017.04.040
- Safi, S., Zadhoush, A. ve Ahmadi, M. 2017. Flexural and Charpy impact behaviour of epoxy/glass fabric treated by nano-SiO₂ and silane blend. *Plastics, Rubber and Composites*, 46:7, 314-321. doi:10.1080/14658011.2017.1345443
- Sajid M U ve Ali H M (2018). Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical

- review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126: 211–234. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.021
- Sangoi, R. N. 2003. Nanocomposites based on carbon nanotubes and poly (3-alkylthiophenes) for sensor and charge storage applications. Master's Thesis, Rochester Institute of Technology, 76, New York, USA.
- Sarkar J, Ghosh P ve Adil A (2015). A review on hybrid nanofluids: Recent research, development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43: 164–177. doi:10.1016/j.rser.2014.11.023
- Shao X, Chen Y, Mo S, Cheng Z ve Yin T (2015). Dispersion stability of TiO₂-H₂O nanofluids containing mixed nanotubes and nanosheets. *Energy Procedia*, 75: 2049–2054.
- Sharma S K ve Gupta S M (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: a review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79: 202–212.
- Sharma, P. S. ve Lakkad, S. C. 2015. Impact behavior and fractographic study of carbon nanotubes grafted carbon fiber-reinforced epoxy matrix multi-scale hybrid composites. *Composites: Part A*, 69, 124-131. doi:10.1016/j.compositesa.2014.11.005
- Shazed, M.A., Suraya, A. R., Rahmanian, S. ve Salleh, M. A. M. 2014. Effect of fibre coating and geometry on the tensile properties of hybrid carbon nanotube coated carbon fibre reinforced composite. *Materials and Design*, 54, 660-669. doi:10.1016/j.matdes.2013.08.063
- Smalley R E (2005). Future global energy prosperity: the terawatt challenge. *Mrs Bulletin*, 30(6): 412–417.
- Socher, R., Krause, B., Müller, M. T., Boldt, R. ve Pötschke, P. 2012. The influence of matrix viscosity on MWCNT dispersion and electrical properties in different thermoplastic nanocomposites. *Polymer*, 53, 495-504. doi:10.1016/j.polymer.2011.12.019
- Taylor R A, Phelan P E, Otanicar T, Prasher R S ve Phelan B E (2012). Socioeconomic impacts of heat transfer research. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(10): 1467–1473.
- Teng, C. C., Maa, C. C. M., Huang, Y. W., Yuen, S. M., Weng C. C., Chen, C. H. ve Su, S. F. 2008. Effect of MWCNT content on rheological and dynamic mechanical properties of multiwalled carbon nanotube/polypropylene composites. *Composites: Part A*, 39, 1869-1875. doi:10.1016/j.compositesa.2008.09.004
- Thiraphattaraphun, L. 2013. Structure/Property Relationships in Polypropylene Nanocomposites. Doctoral Dissertation, The University of Manchester School of Materials, 242, Manchester, United Kingdom.
- Trisaksri V ve Wongwises S (2007). Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(3): 512–523.

- Venkatachalapathy S, Kumaresan G ve Suresh S (2015). Performance analysis of cylindrical heat pipe using nanofluids - An experimental study. *International Journal of Multiphase Flow*, 72: 188–197. doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.02.006
- Wang, J., Z. Fang, Gu, A., Xu, L. ve Lui, F. 2006. Effect of amino-functionalization of multi-walled carbon nanotubes on the dispersion with epoxy resin matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 100:1, 97-104. doi:10.1002/app.22647
- Xue, P., Yu, T. X. ve Tao, X. M. 2002. Tensile properties and meso-scale mechanism of weft knitted textile composites for energy absorption. *Composites: Part A*, 33, 113-123. doi:10.1016/S1359-835X(01)00067-7
- Yazdani, H., Smith, B. E. ve Hatami, K. 2016. Multi-walled carbon nanotube-filled polyvinyl chloride composites: Influence of processing method on dispersion quality, electrical conductivity and mechanical properties. *Composites: Part A*, 82, 65-77. doi:10.1016/j.compositesa.2015.12.005
- Ye, W., Wu, W., Hu, X., Lin, G., Guo, J., Qu, H. ve Zhao, J. 2019. 3D printing of carbon nanotubes reinforced thermoplastic polyimide composites with controllable mechanical and electrical performance. *Composites Science and Technology*, 182, 107671. doi: 10.1016/j.compscitech.2019.05.028
- Yetgin, S. H. 2019. Effect of multi walled carbon nanotube on mechanical, thermal and rheological properties of polypropylene. *Journal of Materials Research and Technology*, 8:5, 4725-4735. doi:10.1016/j.jmrt.2019.08.018
- Yu W, Xie H, Chen L ve Li Y (2010). Investigation on the thermal transport properties of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Powder Technology*, 197(3): 218–221.
- Yu W, Xie H, Li Y, Chen L ve Wang Q (2012). Experimental investigation on the heat transfer properties of Al₂O₃ nanofluids using the mixture of ethylene glycol and water as base fluid. *Powder Technology*, 230: 14–19.
- Zaixia, F., Zhangyu, Yanmo, C. ve Hairu, L. 2006. Investigation on the Tensile Properties of Knitted Fabric Reinforced Composites made from GF-PP Commingled Yarn Preforms with Different Loop Densities. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 19:1, 113-126. doi:10.1177/0892705706055446
- Zanjani, J. S. M., Okan, B. S., Menciloglu, Y. Z. ve Yildiz, M. 2016. Nano-Engineered Design and Manufacturing of High-Performance Epoxy Matrix Composites with Carbon Fiber/Selectively Integrated Graphene as Multi-Scale Reinforcements. *RSC Advances*, 6, 9495-9506. doi:10.1039/C5RA23665G
- Zeng, L., Lui, X., Chen, X. ve Soutis, C. 2018. Surface Modification of Aramid Fibres with Graphene Oxide for Interface Improvement in Composites. *Applied Composite Materials*, 25, 843-852. doi:10.1007/s10443-018-9718-9
- Zhang X, Gu H ve Fujii M (2007). Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 31(6): 593–599.

Zhang, H. ve Zhang, Z. 2007. Impact behaviour of polypropylene filled with multi-walled carbon nanotubes. *European Polymer Journal*, 43,3197-3207. doi:10.1016/j.eurpolymj.2007.05.010

Zhu H, Lin Y ve Yin Y (2004). A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids. *Journal of colloid and interface science*, 277(1): 100–103.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı:Umut Ahmet ŞİMŞEK

Doğum Yeri :Çankaya

Doğum Yılı :22.09.1993

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum / Kurumlar)

Lise: Ankara Kanuni Lisesi (2011)

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (2016)

Yüksek Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı (09.2017---.2020)

İletişim Bilgileri

e-posta:umutasimsek@gmail.com

Tel No:554-483-71-73