



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GRAFEN NANOPARTİKÜL TAKVİYESİNİN
KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Tuba BAĞATIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2018
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Tuba Bağatır tarafından hazırlanan ‘‘Grafen Nanopartikül Takviyesinin Kompozit Malzemelerin Mekanik  zellikleri  zerindeki Etkisinin Araştırılması’’ adlı tez çalışması 20/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK L SANS TEZ  olarak kabul edilmiştir.

Jüri  yeleri

Başkan

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

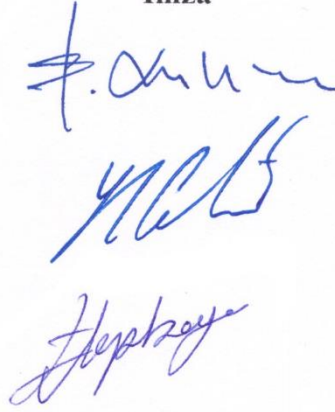
Danışman

Doç. Dr. Yahya Hışman  EL K

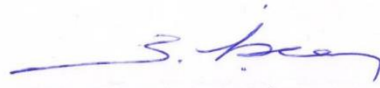
 ye

Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA

 mza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin IřCAN
FBE Müdürü

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.

İmza

Tuba BAĞATIR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GRAFEN NANOPARTİKÜL TAKVİYESİNİN KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Tuba BAĞATIR

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2018, 46 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP

Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Tolga TOPKAYA

Kompozit malzemeler günümüzde mühendislik yapılarının büyük bir kısmında kullanım alanına sahiptir. Bu doğrultuda üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesi ve bu özelliklerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda araştırmacılar kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yoğunlaşmıştır. Bunun neticesinde nanoboyutlu Grafenin (G), kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmede önemli bir etkiye sahip takviye elemanı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, G'nin kompozitin çekme dayanımı üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda, epoksiye % 0 (takviyesiz); % 0,1; % 0,2; % 0,3; % 0,4; % 0,5 ve % 1 oranlarında G eklenmiştir. G eklenmiş epoksi karışımlar sırasıyla ASTM standartlarına göre hazırlanan kalıplara dökülmüştür ve kürleşmesi sağlanmıştır. Ayrıca ağırlıkça % 0 (takviyesiz), % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren epoksi karışımlar, cam fiber (CF), karbon fiber (KF) ve aramid fiber'e (AF) elle yatırma yöntemi ile ilave edilmiştir. Böylece farklı ranlarda G içeren cam fiber takviyeli plastik (CFTP), karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) ve aramid fiber takviyeli plastik (AFTP) kompozitler üretilmiştir. G takviyeli epoksi matrisli kompozitler ile CF, KF, AF ve G takviyeli kompozitler çekme deneylerine tabii tutulmuştur. G takviyesinin epoksi matris malzemesi ve kompozitler üzerinde önemli bir mukavemet artışı sağladığı tespit edilmiştir. Takviyesiz epoksi malzeme en düşük çekme mukavemetine sahipken, epoksi matrisli G takviyeli kompozitlerde en yüksek çekme mukavemeti % 0,2 G içeren kompozitten elde edildiği görülmüştür. Epoksiye % 0,2'ye kadar G takviyesi eklenmesiyle malzemenin çekme dayanımı artmıştır. Daha fazla oranda eklenmesiyle bu artış düşüşe geçmiştir. Bu doğrultuda maksimum çekme dayanımı % 0,2 G takviyeli epoksi kompozitte gözlemlenmiştir. Ayrıca CF, KF ve AF'ye, G takviyesinin eklenmesiyle elde edilen G/fiber takviyeli kompozitlerin çekme dayanımları sürekli artmıştır. Ancak % 0,4 G takviyeli fiber kompozitlerin çekme dayanımı en yüksek değeri almasına rağmen % 0,2 G takviyeli fiber kompozite nazaran belirgin bir artış görülmemiştir. Ayrıca fiber takviyeli kompozitlerde, matris malzemesine G takviyesinin eklenmesiyle çekme mukavemetleri farklı davranışlar sergilemiştir. G nano partikülün CF, KF ve AF'ye eklenmesiyle elde edilen G/fiber takviyeli kompozitlerde, en fazla artış KFTP kompozitin çekme dayanımında görülürken en az artış AFTP kompozitin çekme dayanımında görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Aramid Fiber, Cam Fiber, Çekme Dayanımı, Epoksi, Grafen, Karbon Fiber, Kompozit.

ABSTRACT

MSTHESIS

INVESTIGATION OF EFFECT OF GRAPHENE NANOPARTICLE REINFORCED ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS

Tuba BAĞATIR

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

2018, 46 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Erol KILIÇKAP
Assoc. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK
Asst. Prof. Dr. Tolga TOPKAYA**

Composite materials, nowadays, have usage area in the majority of engineering structures. In this direction, it is of great importance to determine the mechanical properties of the produced composite materials and to improve their properties. In recent years, researchers have concentrated on improving the mechanical properties of composite materials. As a result, it has been found that nanosize graphene (G) is a reinforcement element which has a significant effect on improving the mechanical properties of the composite. In this study, the effects of G on tensile strength of composite were determined. In this direction, G having 0% (unreinforced), 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, and 1% rates was added to epoxy matrix. Epoxy mixtures reinforced with G were, respectively, poured into molds prepared according to ASTM standards and allowed to cure. In addition, the epoxy mixtures containing 0% (unreinforced), 0.2% and 0.4% G by weight was added to the glass fiber (GF), carbon fiber (CF) and aramid fiber (AF) by hand lay-up. Thus, glass fiber reinforced plastic (GFRP), carbon fiber reinforced plastic (CFRP) and aramid fiber reinforced plastic (AFRP) composites, which contain different rates of G, were fabricated. Epoxy matrix composites reinforced with G, and composites reinforced with GF, CF, AF, and G were subjected to tensile testing. It was found that G reinforcement provided a significant increase in the strength of the epoxy matrix material and composites. While the unreinforced epoxy material had the lowest tensile strength, it was seen that the highest tensile strength in the composites reinforced with G was obtained from the composite containing 0.2% G. The tensile strength of the material increased with the addition of G up to 0.2% to epoxy. When it was added more, this increase decreased. In this respect, the maximum tensile strength was observed in epoxy composite reinforced with 0.2% G. Furthermore, the tensile strengths of G/fiber reinforced composites obtained by the addition of G to GF, CF, and AF continuously increased. However, despite the tensile strength of fiber composites reinforced with 0.4% G was highest, a significant increase wasn't observed compared to fiber composites reinforced with 0.2% G. In addition, in the fiber reinforced composites, tensile strengths by the addition of G reinforcement to the matrix material exhibited different behavior. In G/fiber reinforced composites obtained by the addition of G nanoparticle to GF, CF, and AF; it was observed that the highest increase was seen the tensile strength of the CFRP composite while the least increase was seen the tensile strength of the AFRP composite.

Keywords: Aramid Fiber, Carbon Fiber, Composite, Epoxy, Glass Fiber, Graphene, Tensile Strength

ÖNSÖZ

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışması Giriş, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Sonuçlar ve Tartışma, Genel Sonuçlar olmak üzere 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde kompozit malzemeler hakkında genel bilgilere ve yapılan literatür çalışmalarına, Genel Bilgiler bölümünde kompozit malzemelerin tarihçeleri hakkında genel bilgilere yer verilerek cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber malzemelerine değinilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde üretilen farklı oranlara sahip epoksi kompozitler ile cam, karbon ve aramid fiber takviyeli kompozitlerin üretimlerine ve çekme deneylerinin yapıışlarına yer verilmiştir. Sonuçlar ve Tartışma bölümünde deneylerin çekme analiz sonuçları verilmiştir. Genel Sonuçlar bölümünde ise en iyi ve en kötü sonuçların hangi numuneden elde edildiğine değinilmiştir.

Tüm Yüksek Lisans çalışmam boyunca bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bana akademik bilgi ve tecrübesiyle ışıktutan değerli danışman hocam Doç. Dr. Yahya Hışman ÇELİK'e, deneylerimde ve analizlerimde emeği geçen Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü hocalarına, tüm eğitim hayatım boyunca bana çok değerli bilgiler kazandıran tüm hocalarıma ve her koşulda bana destek olan aileme teşekkür ederim.

Tuba Bağatır
BATMAN-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışmaları	3
2. GENEL BİLGİLER	9
2.1. Kompozit Malzemeler	9
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel gelişimi	10
2.1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları	11
2.1.3. Kompozit malzemelerdeki takviye elemanları	12
2.1.4. Polimer matris malzemeleri	13
2.2. Fiber Takviyeli Kompozitler	13
2.2.1. Cam fiberler	14
2.2.1.1. Cam fiber çeşitleri.....	15
2.2.1.2. Genel amaçlı cam fiberler.....	15
2.2.1.3. Özel amaçlı cam fiberler.....	15
2.2.2. Karbon fiberler.....	17
2.2.2.1. Karbon fiberlerin özellikleri	18
2.2.2.2. Karbon fiberlerin uygulama alanları.....	18
2.2.3. Aramid Fiberler	19
2.2.3.1. Aramid fiberin formları ve uygulamaları	20
2.3. Nanoboyutlu Takviyeler ve Nanokompozitler	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Grafen Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Üretimi	23
3.2. Grafen/Fiber Takviyeli Kompozitlerin Üretimi.....	26
3.3. Çekme Deneyinin Yapılışı.....	29
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Grafen Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Çekme Sonuçları.....	30
4.2. Grafen/Fiber Takviyeli Kompozitlerin Çekme Sonuçları	35
5. GENEL SONUÇLARI.....	41
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. G ve Karbon Fiber (KF) takviyeli kompozit malzemeler	9
Şekil 2.2. Kerpiç kompozit malzemeler (İnternet adresi 2, 2018).....	10
Şekil 2.3. Boeing 787 uçağında kullanılan malzemeler (İnternet adresi 3, 2018).....	11
Şekil 2.4. Kırpılmış (kesikli) ve dokuma cam fiber malzemeler.....	14
Şekil 2.5. Dokumalı karbon fiber malzemeler.....	17
Şekil 2.6. Kırpılmış aramid fiber (İnternet adresi 4, 2018)	19
Şekil 2.7. Dokumalı aramid fiber malzemeler.....	19
Şekil 2.8. Aramid hamuru (Chang, 2001)	20
Şekil 3.1. Grafen tozu ve SEM görüntüsü	23
Şekil 3.2. RIMR300 epoksi reçine ve RIMH300 sertleştirici.....	23
Şekil 3.3. Takviye ve matris elemanlarının hassas terazide tartılması	24
Şekil 3.4. Tartılan malzemelerin manyetik karıştırıcıda karıştırılması	24
Şekil 3.5. Karışımların kalıba dökülmesi	24
Şekil 3.6. Kalıptan çıkarılan numune resimleri	25
Şekil 3.7. Üretilen numunelerin boyutları (Tip 1 çekme numunesi)	25
Şekil 3.8. CF kumaş.....	26
Şekil 3.9. KF kumaş	26
Şekil 3.10. AF kumaş	26
Şekil 3.11. Elle yatırma yöntemiyle üretilen kompozitler.....	27
Şekil 3.12. Çekme numunesi için hazırlanan kompozitlerin görüntüleri	28
Şekil 3.13. Papuç takılmış numunelerin görüntüsü	28
Şekil 3.14. Çekme deneyine tabi tutulan numune	29

Şekil 4.1. G takviyesiz epoksi numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	30
Şekil 4.2. Ağırlıkça % 0,1 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	31
Şekil 4.3. Ağırlıkça % 0,2 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	31
Şekil 4.4. Ağırlıkça % 0,3 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	32
Şekil 4.5. Ağırlıkça % 0,4 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	33
Şekil 4.6. Ağırlıkça % 0,5 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	33
Şekil 4.7. Ağırlıkça % 1 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	34
Şekil 4.8. Ağırlıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren CFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	35
Şekil 4.9. Ağırlıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren KFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	36
Şekil 4.10. Ağırlıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	37
Şekil 4.11. Takviyesiz CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	37
Şekil 4.12. Ağırlıkça % 0,2 oranlarında G içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	38
Şekil 4.13. Ağırlıkça % 0,4 oranlarında G içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği	39
Şekil 4.14. Kompozitlerde çekme testi sonucu oluşan hasar yüzeyleri.....	39

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Cam fiberlerin bileşenleri (Wallenbergerve ark., 2001)	17

1. GİRİŞ

Kompozitler birbiri içerisinde çözülmeyen ancak bir yapı olarak birlikte hareket edebilen iki veya daha fazla farklı malzemeden elde edilen malzemelerdir. Bu malzemeler tarih boyunca kullanılmıştır ve kullanımı gittikçe artmaktadır. İlk çağlardan beri insanoğlu kırılğan malzemelerin içine hayvan kılı ve saman gibi bitkisel/hayvansal lifleri koyarak ürettikleri malzemelerin dayanımını arttırmaya çalışmışlardır. Bu yapılardan en çok karşılaşılanı ev ve barınak yapımında kullanılan kerpiçlerdir. Günümüz endüstrisinde ise kompozit malzemelerin kullanımı, ticari uçaklardan askeri savaş uçaklarına kadar havacılık uygulamalarını, yarış arabalarından özel performanslı araçlara kadar otomotiv endüstrilerini, beysbol sopalarından yarış bisikletlerine kadar spor endüstrisini kapsar. Ancak kullanım alanları bunlarla sınırlı değildir.

Kompozit malzemeler, en az biri lif, tabaka veya parçacık halinde bulunan takviye elemanından, diğeri ise takviye elemanlarının gömülü olduğu matris elemanından oluşur. Genel olarak takviye elemanları düşük yoğunluğa sahip güçlü malzemelerdir. Matris ise sünek veya sert bir malzemedir. Takviye elemanı ve matris doğru bir şekilde tasarlanıp imal edilirse, metal alaşımlarında ve seramiklerde mevcut olmayan ancak yüksek mukavemet, yüksek korozyon ve ısı direnç ve yüksek sertlik gibi farklı özelliklere sahip mühendislik malzemeleri elde edilebilir (Mazumdar, 2002; Iyer, 2015). Mühendislik kompozit malzemelerinden daha iyi fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek için, takviye elemanının yapısı, kimyasal özellikleri, matris malzemesinin özellikleri, oranı ve takviye elemanı ile matris ara yüzündeki özellikler oldukça önemlidir (Callister, 2007). Bunlar optimum düzeyde kombinasyonlanırsa, elde edilen kompozitlere yukarıda bahsedilen mekanik özelliklere ilaveten hafiflik, gelişmiş yorulma özellikleri, çevre koşullarına dayanma eğilimi, yüksek sıcaklıklarda yüksek elastisite modülü ve mukavemetini koruma kabiliyeti kazandırılır (Gururaja ve Ramulu, 2010).

Teknolojik gelişmeler ve uygulama alanlarındaki farklılıklar, özellikle fiber takviyeli kompozitlerin önemini arttırmıştır. Bor fiber takviyeli epoksiler, 1969'da F-14 stabilizatörlerinde kaplama olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra karbon elyaf takviyeli kompozitler, Bomber B-2 ve Osprey V-22 askeri uçaklarının kanat, gövde ve kuyruk bölümünde birincil malzeme olarak kullanılmıştır. 1995'de Boeing 777, 1998'de Airbus A320'de fiber takviyeli kompozitler kullanıldı. Boeing 777'de toplam yapısal

ağırlığının yaklaşık % 10'u oranında kompozit kullanıldı. 2007'de piyasaya sürülen Airbus A380 uçağında karbon, cam ve kuvars fiberlerini içeren kompozitlerin oranı yaklaşık olarak toplam ağırlığının % 20'sini oluşturdu. Boeing 787 ve Airbus 350 XWB uçaklarında kullanılan karbon epoksi kompozitlerin kullanım oranları sırasıyla % 50 ve % 52'dir (Miller, 2014).

Karbon Fiber Takviyeli Plastik (KFTP) kompozitler, diğer fiber takviyeli kompozit malzemelerden daha yüksek spesifik modül ve özgül mukavemetinden dolayı çeşitli ana yapı bileşeni ve sistem imalatı için tercih edilmektedir (Callister, 2007). KFTP kompozitler yüksek sıcaklıklarda yüksek gerilme modülünü ve yüksek dayanımını korurlar. Arzu edilen mekanik özellikleri koruduğu ve yapı elemanlarının ağırlığını azalttığı için uzay ve havacılık sanayinde KFTP kompozit malzemeler tercih edilmiştir. Yakıt varil bölümleri, iç örgü ve kordonların yanı sıra uçak manevrası kontrol parçaları KFTP kompozit malzemelerden oluşur (Eneyew, 2014). Cam Fiber Takviyeli Plastik (CFTP) kompozitler, KFTP kompozitlere göre maliyetinin düşük olması nedeniyle tercih edilir. Aramid Fiber Takviyeli Plastik (AFTP) kompozitler ise yüksek dayanıklılık, yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma dayanımı, yüksek kimyasal dayanım ve yüksek yorulma dayanıma sahip olduğu için tercih edilir. AFTP kompozitler bu üstün özelliklerine ilaveten düşük yoğunluğundan dolayı balistik koruma uygulamalarında kullanılırlar (İnternet adresi 1, 2017). CFTP, KFTP ve AFTP kompozitlerin elde edilmesinde epoksi oldukça önemli bir organik matristir. Çünkü epoksi ısıyla sertleşen, yüksek termal kararlılığa, tribolojik davranışa ve kimyasal dirence sahip en önemli polimerlerden biridir ve çeşitli uygulamalarda yapıştırıcı olarak kullanılırlar (Jiang ve ark., 2013; Wan ve ark., 2014).

Son zamanlarda kompozit malzemelerin üretilmesinde epoksiye nanoboyutlu takviye elemanlarının da eklendiği görülmüştür. Bu takviye malzemeleri bir boyutlu, iki veya üç boyutlu olabilirler. Son zamanlarda, bunlardan karbon nano tüpler (CNT), Grafen (G) ve nanofiberler kompozitlerde dolgu malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bunlar her alanda daha iyi yapısal, fonksiyonel özelliklere ve geniş uygulama yelpazesine sahiptirler (Mittal ve ark., 2015). G'nin maliyeti düşüktür ve G'li kompozitler, CNT'li kompozitlerden daha iyi mekanik ve termal özelliklere sahiptirler (Kuilla ve ark., 2010). Nanofiberli kompozitlerde ise fiberlerin matris içerisindeki homojen dağılımı oldukça önemlidir. Homojen dağılım için ultrasonik karıştırma, çözeltide karıştırma ve yerinde polimerizasyon gibi çeşitli yöntemler

kullanılmaktadır (Kuilla ve ark., 2010; Potts ve ark., 2011). Solvent yardımlı sonikasyonlu karıştırmanın matris ile nanofiber parçacık karışımlarının bir biri içerisinde homojen dağılım sağladığı ve kompozitin cam geçiş sıcaklığını arttırdığı, dolayısıyla mukavemeti ve tokluğu arttırdığı bildirilmiştir (Dehghan ve ark., 2014). Homojen dağılımın karakterizasyon işlemleri Transmisyon Elektron Mikroskopi (TEM), Tarama Elektron Mikroskopi (SEM), optik mikroskop gibi cihazlarla incelenmektedir. Ancak G ve türevlerinin, mükemmel mekanik, elektriksel ve termal özellikleri, basit hazırlama tekniği ve düşük maliyeti nedeniyle nanokompozitlerin sentezlenmesinde daha çok tercih edilmesine olanak tanımıştır (Jiang ve ark., 2013). G ve türevleri, uygulamalarda malzemeler arasındaki etkileşimi kontrol etme ve üretilen kompozitin performansını artırma bakımından çok önemlidirler. Bunu da epoksi ile aralarında kimyasal bağ yaparak sağlarlar (Sainsbury ve ark., 2017).

G yoğun, petek şeklinde kristal yapıya yerleştirilen ve serbest duran karbon atomlarından oluşan 2 boyutlu bir karbon allotropudur. Olağanüstü elektron taşıma özellikleri ve diğer belirgin özelliklerinden dolayı çok sayıda uygulama potansiyeline sahiptir. Mekanik, fiziksel ve kimyasal olmak üzere çeşitli grafen üretim teknikleri geliştirilmiştir. G'nin kimyasal üretimi kolay ve maliyeti düşüktür. epoksi/G nanokompozitler, saf epoksilerle karşılaştırıldığında üstün mekanik, termal, gaz bariyeri, elektriksel ve alev geciktirici özellik gösterir. G esaslı kompozitlerin mekanik ve elektriksel özellikleri kil ve diğer karbon bazlı malzemeler kullanılarak hazırlanan nanokompozitlerin özelliklerinden daha iyidir. Nanokompozitlerin fiziko kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi, epoksi matrisindeki G katmanlarının dağılımına ve G katmanları ile polimer matrisi arasındaki bağa bağlıdır (Mahmoud, 2011).

1.1. Literatür Çalışmaları

Fiber takviyeli kompozit malzemeler farklı firmalardan temin edilebildiği gibi fiber doğrultusuna, oryantasyon açısına, matris cinsine ve benzeri faktörlere bağlı olarak elle yatırma ve vakum infüzyon gibi yöntemlerle laboratuvar ortamlarında üretilmektedirler. Elde edilen kompozitlerin mekanik özellikleri, mekanik test cihazları ile tespit edilmektedir. Ancak teknolojik ilerlemeler, var olan kompozitlerin mekanik özelliklerinin daha da iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikler mikro ve nano teknolojisinin gelişmesi, üretilen kompozitlere mikro/nano boyutlu parçacıkların ilave edilmesine olanak sağlamıştır. İlave edilen küçük boyutlu parçacıklar ile kompozitlerin

üstün olan özelliklerine ilave özellikler kazandırılmaktadır. Özellikle bunlardan G ve türevleri ilave edildiği epoksinin bağ yapısında önemli değişiklikler yaparak kompozitinin karakteristik özelliklerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca üretimi ve mekanik özellikleri belirlenen bu kompozitlerin nihai şekle getirilmesi için talaşlı imalat gibi ikinci bir işleme ihtiyaç duyulmakta ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmaktadır. Ancak bunların nihai ürün haline getirilmesinde fiberin doğal yapısından dolayı zorluklarla karşılaşmaktadır. Aşağıda fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve nihai forma getirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Hocheng ve ark., [1993], farklı oryantasyon açılarına sahip KFTP kompozit malzemeleri farklı kesme parametrelerinde frezeleme işlemine tabi tutmuşlardır. Oryantasyon açısının ve kesme parametrelerinin çapak oluşumu, yüzey kalitesi, kesme kuvveti ve takım aşınması üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Persson ve ark., [1997], karbon/epoksi tabakalı kompozitlerin delinmesinde, delme parametrelerine bağlı oluşan deformasyon ve hasarların kompozitin mekanik özellikleri ve yorulma ömrü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Davim ve ark., [2004], CFTP kompozit malzemelerin delinmesinde, kesme parametrelerinin ve takım geometrisinin deformasyon, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Davim, Reis ve C. Concei António [2004], elle yatırma yöntemiyle üretilmiş iki farklı CFTP kompozitin frezelenmesinde, istatistik yöntem kullanarak farklı kesme hızı ve ilerlemenin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığı üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Davim and Reis [2005], 16 tabakadan oluşan KFTP kompozit malzemeyi frezeleme işlemine tabi tutarak yüzey pürüzlülüğü, deformasyon faktörü ve ölçü tamlığını araştırmışlardır.

Stankovich ve ark., [2006], G esaslı Grafen Oksit (GO)/Polistiren nanokompoziti üreterek ürettikleri nanokompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir.

Erkan ve Işık [2009], elle yatırma yöntemiyle ürettikleri 14 tabakadan oluşan hasır biçimindeki CFTP kompozitlerin frezelenmesinde farklı kesme hızı, ilerleme ve takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini araştırmışlardır.

Kuilla ve ark., [2010], G ile ilgili son gelişmelere ve G esaslı nanokompozitlerin üretimine değinmişlerdir. G, GO modifikasyonunu, bunların kullanımını ve farklı polimer matrislere sahip nanokompozitlerin imalatında G'nin kullanımını ayrıntılı olarak ele almışlardır.

Yoon ve ark., [2010], G'nin içine amin grupları ekleyerek G'nin aktifleştirilmesine çalışmışlardır. Aktifleştirilmiş G'yi, polipropilen polimer matrisine ekleyerek nanokompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri nanokompozitlerde, G'nin nanokompozitin özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Kilickap [2011], farklı uç açlarına sahip matkaplar kullanarak deldiği CFTP kompozitlerde, matkap uç açısının, kesme hızı ve ilerleme gibi delme parametrelerinin deformasyon faktörü üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Mahmoud [2011], G/poli(ethyleneoxide) (PEO) nanokompozitini üretmişlerdir. Bunun için yapraklanmış G tabakalarını PEO içinde çözücü karıştırma ve eriyik harmanlama tekniklerini kullanarak dağıtmıştır. Daha sonra bu tekniklerle dağılmış G'nin morfolojisini ve özelliklerini karşılaştırmıştır. G'nin çözücü metodu kullanılarak kompozit yüzeyine paralel dağıldığını, eriyik harmanlama yönteminde ise rastgele dağıldığını gözlemlemiştir.

Singh ve ark., [2011], G'nin dünü, bugünü hakkında bilgi vererek geleceğe ışık tutmuşlardır. G'yi, ilk keşfinden kimyasal yapısına, nasıl sentezlendiğinden G esaslı nanokompozitlere kadar geniş bir yelpazede araştırmışlardır.

Galpaya ve ark., [2012], G-polimer kompozitlerinin üretimi, özellikleri ve potansiyel uygulamaları hakkında son zamanlarda kaydedilen ilerlemelere değinmişlerdir.

Azmi ve ark., [2013], Taguchi deney tekniğini kullanarak CFTP kompozitin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlüğü, takım ömrü ve kesme kuvveti üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır.

Bian ve ark., [2013], Poli(bütilentereftalat)'ın (PBT) fiziksel özelliklerini iyileştirmek için, PBT ve GO nanolevhalarını kullanarak bir dizi nanokompoziti, eriyik harmanlama tekniği ile üretmişler ve yapılarını, termal kararlılıklarını, mekanik, reolojik ve elektriksel özelliklerini araştırmışlardır. Ölçüm sonuçlarından, GO'nun PBT

kompozitinin termal kararlılığını önemli ölçüde iyileştirdiğini, elektrik iletkenliğini belirgin bir şekilde arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Cano ve ark., [2013], polyvinylalcohol (PVA) polimerine G'nin sentezlenmesiyle elde edilen GO'yu ilave ederek f-PVA/GO nanokompozitini üretmişlerdir. Ürettikleri nanokompozitin mekanik özelliklerine GO'nun etkisini incelemişlerdir. En iyi mekanik özellikleri, ağırlıkları 50 ile 150 kg/mol arasında PVA fonksiyonel gruplarının ve % 0.3'lük GO takviyesinin eklenmesiyle üretilen nanokompozitten elde etmişlerdir. GO nanotakviyesinin kompozitin young modülünde % 60'luk ve gerilme mukavemetinde % 400'lük iyileşme sağladığını gözlemlemişlerdir.

Das ve Prusty [2013], farklı G takviyeli polimer matrislerli nanokompozitlerin üretimini gerçekleştirerek elde ettikleri nanokompozitlerin özelliklerini, potansiyel uygulamalarını ve ilgili mevcut ilerlemelerini ele almışlardır.

Jiang ve ark., [2013], epokside 3-amino propiltrietoksisilan (APTES) fonksiyonlu silika nanopartiküllere bağlı GO'nun kuvvetlendirici etkilerini araştırmışlardır. Nanokompozitlerin gerilme mukavemetinin ve modülünün sırasıyla saf epoksi malzemeninkinden % 29,2 ve % 22 daha yüksek çıktığını gözlemlemişlerdir.

Tang ve ark., [2013], G/epoksi nanokompozitlerde G'nin kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. G'nin kompozitin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli bir takviye elemanı olduğuna değinmişlerdir.

Yuan ve ark., [2014], oldukça gelişmiş termal kararlılığa sahip GO/polipropilen (PP) nanokompozitlerin elde edilmesi için yeni bir yaklaşım ortaya koyarak nanokompozitin kristalleşme davranışı ve mekanik özellikleri hakkında araştırmalar yapmışlardır.

Wan ve ark., [2014], epoksi kompozite hem GO hem de diglisidil eter ile işlevselleştirilmiş Bisfenol-A'yı GO(DGEBA-f-GO) ilave etmişlerdir. Nanokompozitlerin yüzey modifikasyonunu, morfolojik dağılımını, tabakaların ara yüzey etkileşimini, mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. DGEBA tabakasının yüzey işlevselleştirilmesinde GO tabakalarının epoksi içindeki uyumluluğunu ve dağılımını etkin bir şekilde geliştirdiğini bulmuşlardır. DGEBA-f-GO/epoksi kompozitlerin yüksek çekme modülü ve mukavemeti, saf epoksi veya GO/epoksi kompozitlerinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. DGEBA-f-

GO/epoksi kompozitlerin saf epoksiye göre çekme mukavemetinde %61-75, kırılma tokluğunda %29-41 oranında artış sağladığını tespit etmişlerdir.

Shah ve ark., [2015], yaptıkları derleme çalışmasında, Polimer/G ve Polimer/GO nanokompozitlerin yapısını, özelliklerini ve hazırlanışını tartışmışlardır.

Giasin and Ayvar-Soberanis [2017], GLARE kompozitin delinmesinde kesme parametrelerinin delinmiş yüzey kalitesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Onlar, makro düzeyde delikte çap sapması ve daireselliğini, giriş ve çıkışta oluşan deformasyon ve çapak oluşumunu, talaş oluşumunu ve mikro düzeyde ise fiber/matris ayrılmasını, elyaf bozulmasını ve matris çatlaklarını incelemişlerdir.

Montesano ve ark., [2017], iki farklı KFTP kompozitin konvansiyonel delme ve su jeti ile delinmesinde, KFTP kompozit cinsinin ve delme parametrelerinin kompozitin çekme ve yorulma dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Sainsbury ve ark., [2017], GO nanolevhalarını Poli(Bisphenol A-coepichlorohydrin) (PBE) polimerine ekleyerek nanokompozit film üretmişlerdir. Bunu yaparken PBE içine GO'yu değişik oranlarda eklemişlerdir (% 0,10; % 0,25; % 0,50; % 0,75 ve % 1). Daha sonra bu nanokompozit filimde GO oranının nanokompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Srinivasan ve ark., [2017], CF takviyeli polypropylene matrisli kompozitlerin delinmesinde matkap çapı, kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin deformasyona etkilerini araştırmışlardır.

Zarif Karimi ve ark., [2017], kesme hızı ve ilerleme hızının deformasyon faktörü üzerine ve deformasyonun faktörünün ise kompozitin basma dayanımı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Basma dayanımının deformasyonlu numuneler için kritik önem taşıdığını vurgulamışlardır.

Wang ve ark., [2017], polidopamin (PDA) ve GO'lu kaplamalarının karbon kumaş yüzeyindeki çatlak oluşumuna etkilerini incelemek için bir yöntem kullanmışlardır. PDA/GO, çatlama direncini arttırma ve KFTP kompozitin kararlılığını ve güvenilirliğini iyileştirme potansiyeli gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

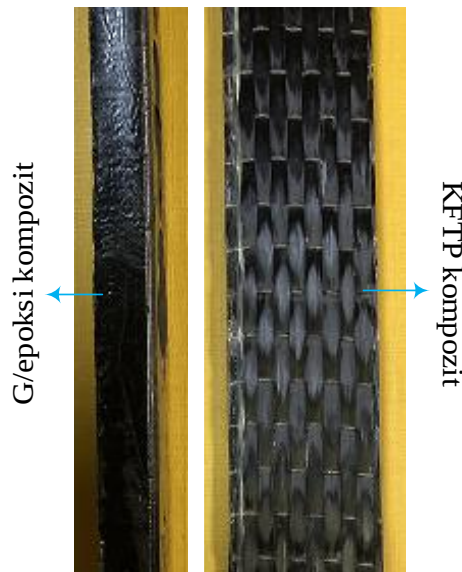
Yapılan çalışmalar incelendiğinde G ve türevleri ile ilgili son zamanlarda kimyacıların ve malzeme bilimcilerinin çok sayıda çalışma yaptığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda farklı matris malzemesine eklenen G ve türevlerinin üretilen

kompozit malzemenin karakteristik özelliklerine etkisi ve G'nin türevlerinin nasıl üretildiği ile ilgili olduğu görülmektedir. Farklı fiber takviyelerine G'nin eklenmesiyle elde edilen nanokompozit üzerine çalışmaların kısmen yapıldığı, G'nin cam fibere (CF), karbon fibere (KF) ve aramid fibere (AF) eklenmesiyle elde edilen nanokompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmediği görülmüştür. Bu doğrultuda yapılan bu tez çalışmasında, RIMR300 reçine ve RIMH300 sertleştirici epoksi malzemesine farklı takviye oranlarında G'nin eklenmesiyle elde edilen nanokompozitlerde, G takviye oranının nanokompozitin çekme mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, farklı oranlarda G içeren epoksi malzeme aynı yoğunluğa sahip CF, KF ve AF'e eklenerek elde edilen nanokompozitlerde G takviye oranının çekme mukavemeti üzerine etkileri de incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme; iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya daha farklı gruptaki malzemelerin özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde yapılan bir birleştirilme işlemi olarak adlandırılır. Karbon fiber plastikler, otomobil lastikleri ve sermetler bunlara örnek olarak gösterilebilirler. Bir kompozit malzeme, genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanlarından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomsal düzeyde birleştirilen malzemeler veya alaşımlar mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz. Bir kompozit malzeme bünyesinde, çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunu çevreleyen matris malzemesinin bulunduğu bilinmektedir. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, whiskerler (kılcal kristaller), kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu, gelen yükü taşımak ve matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf ve matrisi bir arada tutmanın yanında çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca matris, plastik ve süneklik üstünlüklerinden dolayı elyaflarda kırılğan çatlakların yayılmasını önler (Şahin, 2006). Şekil 2.1’de günümüzde yaygın olarak kullanılan kompozit malzemelere örnek verilmiştir.



Şekil 2.1. G ve Karbon Fiber (KF) takviyeli kompozit malzemeler

Kompozitler, matrise ve bileşenlerine göre sınıflandırılabilir. Matrise göre kompozitler;

1. Organik matrisli kompozitler (OMK),
2. Metal matris kompozitler (MMK),
3. Seramik matris kompozitler (SMK),
4. Polimer matris kompozit (PMK)'den oluşur.

Bileşenlerine göre kompozitler ise;

1. Parçacık (tanecik)
2. Bıyık takviyeli,
3. Kesintisiz ve kesikli fiber (elyaf) takviyeli
4. Dokuma fiber (elyaf) takviyeleri olarak sınıflandırılır (Miller, 2014).

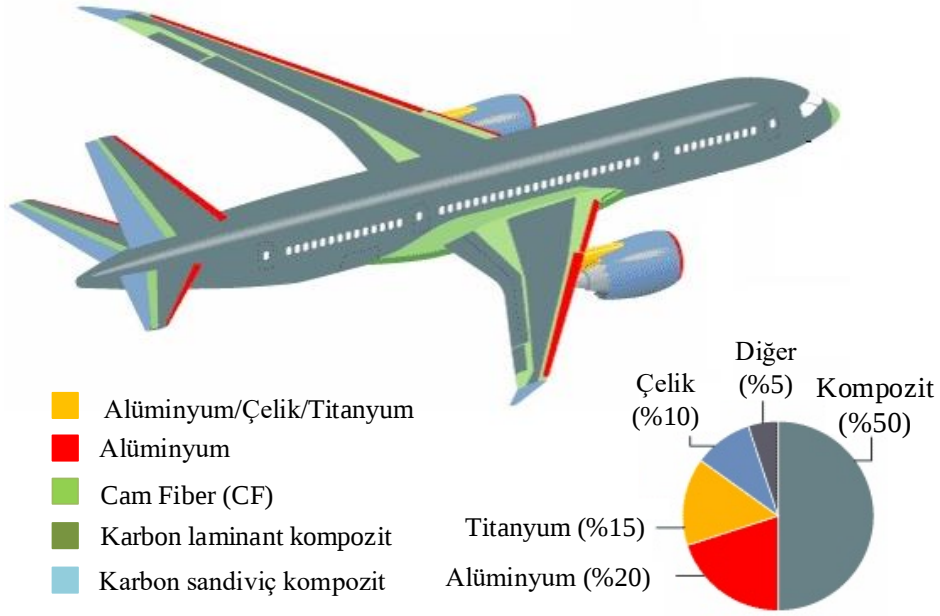
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Tarihsel gelişimi

Kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Mısırdaki M.Ö. 2800 yıllarında arkeologlar lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Yine Ortadoğu'da daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları üst üste konulan malzemelerle farklı lif yönleri oluşturularak kompozit yapılmıştır. Bina yapımı içinde çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç de bir kompozit malzemedir (Şekil 2.2). Çinliler ve Japonlar, daha çok darbe sönümlenme direncini iyileştirmek için metal ve işlem görmüş derinin bir araya getirilmesi ile ok yayı gövdesi yapmışlardır (Şahin, 2006). Modern kompozit malzemeler ise II. Dünya Savaşında başlamış ve özellikle askeri kullanım amaçları için geliştirilmiştir.



Şekil 2.2. Kerpiç kompozit malzemeler (İnternet adresi 2, 2018)

Kompozitler; binalar, köprüler, mobilyalar, çok katlı tenis racketleri, kayak araçları, kılıçlar, optik lensleri, lazer ayna destekleme sehpaları gibi çok farklı alanlarda mühendislik malzemeleri olarak tercih edilmektedir. Özellikle sivil ve askeri uçaklarda son 25 yıldan beri ileri kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu modern malzemelerde öncelikle cam, boron, karbon ve aramid elyaflar daha sonraları da silisyum karbür ve alüminyum oksit elyaflar kullanılmaya başlanmıştır (Şahin, 2006). Boeing 787 uçağında kullanılan kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre karşılaştırılması Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Boeing 787 uçağında kullanılan malzemeler (İnternet adresi 3, 2018)

2.1.2. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları

Kompozit malzemeler, genellikle kendi başlarına elde edilemeyen bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir malzemedeki toplanması açısından önemli avantajlar sunar. Kompozit malzeme üretilmesiyle aşağıdaki bazı özellikler sağlanabilmektedir.

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mükemmel aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- İyi korozyon direnci,
- İyi termal ve ısı iletkenliği,

- h) Düşük ağırlık,
- i) Çekicilik ve estetik görünüm.

Bir kompozit malzemede bütün bu özellikler aynı anda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için de böyle bir gereksinime ihtiyaç yoktur. Fakat yukarıda belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar; uygun matris ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür. Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Ancak bu avantajlar yanında kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar;

- a) Üretim güçlüğü,
- b) Pahalı olması,
- c) İşlenmesinin güç olması yanında maliyetin yüksek oluşu ve gerekli yüzey kalitesinin elde edilemeyişi,
- d) Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- e) Kırılma uzamasının az oluşu gibi faktörler sayılabilir (Şahin, 2006).

2.1.3. Kompozit malzemelerdeki takviye elemanları

Bir kompozit malzemede takviye elemanının esas fonksiyonu; yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını arttırmaktır. Yükün takviyeye iletilebilmesi için fazlar arasında fiziksel ve kimyasal uyumun iyi olması, ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Teorik olarak malzemelerde aranan özellikler; yüksek dayanım ve düşük yoğunluk, kovalent veya kovalent-iyonik bağların karışımına sahip yapı olmasıdır. Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu elyaf şeklinde üretildiklerinden dolayı dayanım ve rijitlikleri katı haldeki konumlarından yaklaşık 30-50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijit olduklarından kütle halindeki gösterdikleri özelliklerinden daha üstün performans gösterirler (Şahin, 2006). Günümüzde en yaygın fiber takviye elemanları olarak cam fiber, karbon fiber, aramid fiber, grafit fiber kullanılırken parçacık takviye formunda ise bor karbür, silisyum karbür, alüminyum oksit, bor kullanılmaktadır (Miller, 2014).

2.1.4. Polimer matris malzemeleri

Matris bileşenleri termoset, termoplastik veya modifiye matris reçineden oluşabilir. Matris bileşeninin kompozit yapı üzerinde küçük bir etkisi vardır. Her ne kadar temel taşıyıcı elemanlar elyaflar olsa da matrislerin de çok ciddi işlevleri vardır. Bunlar; elyafların istenen yönde ve konumda kalmasını sağlamak, mekanik yükleri matrislerden elyaflara iletmek, basınçlı yüklemelerin yol açabileceği olası elyaf çökmesine karşı yanal destek sağlamak, malzemeyi olumsuz kimyasal etmenlerden korumak ve çatlaktan önce ara yüzey bağ kopukluğunu kontrol ederek köreltmektir. Polimer matris malzemeleri termoset ve termoplastik reçinelerden oluşur. Termoset reçine çeşitleri; epoksi, polyester, fenolik, poliimid, vinil esterdir. Termoplastik reçineler ise polieter keton, polisülfon, polieterimid, polietersülfiddir (Green, 2007).

Epoksi reçine; Epoksi reçineler ısı etkisiyle sertleşip yüksek performans gösteren polimer bir matristir. Sertleşme sırasında az miktarda büzüşme göstermesi sayesinde iç stres en aza inerek önemli bir avantaj oluşturur. Geniş kullanım alanlarına sahip olan epoksi reçineler otomotiv endüstrisinde, havacılık sanayinde, yapı malzemelerinde vb. alanlarda kullanılır. Çok iyi yapışma mukavemeti ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Adını iki bitişik bağlanmış karbon atomuna bağlı bir oksijen atomundan oluşmuş epoksit fonksiyonel grubundan almıştır. Termosetin özelliklerinde epoksi reçineyle birlikte sertleştirici malzemenin miktarı ve türü de etkindir. Bu sistemde sertleşme hızını birkaç etken belirler. Bunlar; sertleştirici malzemenin türü, konsantrasyonu ve polimerizasyon kimyasıdır. Epoksi reçineler 5 °C ile 150 °C arasındaki sıcaklıklarda rahatlıkla kürleşir (Green, 2007).

2.2. Fiber Takviyeli Kompozitler

Fiber ile matris malzemelerinden tek başlarına elde edilemeyen özellikler fiber takviyesi ile matris malzemesinin bir araya getirilmesiyle elde edilebilir. Fiber ve matris kendi kimliklerini, fiziksel ve kimyasal özelliklerini korur ancak tek başlarına gösteremedikleri yeni özellikleri birleşim sonrası ortaya çıkarırlar. Fiber takviyeli kompozit malzemelerin düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek rijitlik/ağırlık oranı, ekonomik fizibilite, korozyon direnci, yüksek termal sönümlenme kapasitesi, mükemmel dayanıklılık gibi önemli avantajlarından dolayı otomotiv, havacılık, inşaat ve eğlence sektörleri gibi birçok alanda kullanılmışlardır. En dikkat çeken avantajları

ise hafif olmalarıdır (Miller, 2014). Günümüzde en çok ve en fazla kullanılan üç fiber tipi cam fiber, karbon fiber ve aramid fiber'dir.

2.2.1. Cam fiberler

Cam fiber, ekonomik olmaları, sınırsız olarak temin edilebilmeleri ve kolaylıkla üretilibilmeleri göz önünde bulundurulduğunda en çok kullanılan endüstriyel malzemeler arasında yerini almıştır. Cam fiber, çevresel etkilere karşı yüksek kararlılık, direnç ve esneklik gibi mekanik özellikler sergiler. Bu nedenle yapısal kompozitlerde, baskılı devre levhalarında ve özel amaçlı ürünlerin imalatında kullanılırlar. Cam fiber oluşumunu kısaca özetleyecek olursak minerallerle belirli bir bileşimi oluşturmak için gereken oksitleri içeren silisleri birlikte eriterek cam eriyikleri elde edilir ve bu erimiş cam eriyiklerinde kristalleşmeyi önlemek amacıyla hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra elyaflaştırma işlemiyle cam fibere dönüşür. Genellikle sürekli cam fiberler, direkt çekme işlemi ile hazırlanır. Erimiş camın çapı 0,793-3,75 mm aralığında birkaç bin bireysel menfez içerebilen platin alaşımlı burç içerisinden eritilerek camdan çekilir. Viskozitesi düşmeden elde edilen lifler hızlı bir şekilde ince bir çapa getirilerek katılaştırılır. Fiber çapları 3 ila 20 μm arasında değişir. Yüksek mukavemetli lifler oluşturmak için kullanılan işlemlerden biri olan mermer eritme işleminde hammaddeler eritildikten sonra eriyikten ortalama 2-3 cm çapında katı cam mermerler oluşturulur ve oluşan mermerler tekrar eritildikten sonra cam fiber haline getirilir (Wallenbergerve ark., 2001). Şekil 2.4'te cam fiberlere örnek verilmiştir.



a) Kırpılmış



b) Dokuma

Şekil 2.4. Kırpılmış (kesikli) ve dokuma cam fiber malzemeler

2.2.1.1. Cam fiber çeşitleri

Cam fiberler ikiye ayrılır. Bunlar, düşük maliyetli olan genel amaçlı cam fiberler ve yüksek kaliteli özel amaçlı cam fiberlerdir. Genel amaçlı cam fiberler tüm cam fiberlerin % 90'ını oluşturur ve E-cam adı ile bilinir, geriye kalan cam fiberler ise özel amaçlı cam fiberlerdir (S-cam, D-cam, A-cam, ECR-cam, ultra saf silika fiberleri ve içi boş fiberler).

Lif özelliklerinden çekme mukavemeti, modülü ve kimyasal dayanıklılığı elyaflar üzerinden doğrudan ölçülebilirken dağılma faktörü, dielektrik kuvveti, ısı genleşme, hacim/yüzey direnci, bağlı geçirgenlik gibi özellikler dökme numune halindeki tavllanmış cam üzerinde ölçülür. Yoğunluk ve kırılma indeksi gibi özellikler ise liflerde de dökme numunelerde de tavllanmış veya tavlansamış şekilde göre ölçülür (Wallenberger ve ark., 2001).

2.2.1.2. Genel amaçlı cam fiberler

Bilinen iki genel E-cam türü vardır. Bunlardan birincisi $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ 'dan diğeri ise $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ faz diyagramından türetilmiştir. Bu E-Camlar için ASTM standartları şu şekildedir. Ağırlıkça % 5 ila % 10 bor oksit içeren malzemeler uzay uygulamaları ve baskılı devre kartları için % 0 ila % 10 bor oksit içeren malzemeler ise genel uygulamalar için onaylanmıştır. Her iki bileşimde ağırlıkça % 0 ila % 2 alakali oksit ve yine ağırlıkça % 0 ila % 1 oranında florür içerebilir. Ancak yüksek maliyetli emisyon azaltma sistemeleriyle kullanılması gerekir. Alternatifi olan, borfonsuz E-camlarda ise eriyikler işleme sırasında çevreye bor yaymazlar ve florür içermezler (Wallenberger ve ark., 2001).

2.2.1.3. Özel amaçlı cam fiberler

Piyasada bulunan özel amaçlı fiberler kullanım amacına göre yüksek mukavemet gerektiren durumlarda S-, R-, Te-camın, düşük korozyon direnci gerektiren durumlarda ECR-camın, çok yüksek sıcaklıktaki durumlarda kuvars fiberlerin yada saf silikanın, düşük dielektrik sabitlerde D-camın kullanımını gerektirir. A-cam, C-cam, iki bileşenli, içi boş fiber vs. diğeri özel amaçlı fiberlerdir. Korozyon direnci cam fiberlerin kimyasal yapılarıyla bağlantılıdır. ECR-cam fiberleri uzun süreli asit direncini, kısa süreli alkali direncini artırır. Borfonsuz kuaterner E-cam fibere yüksek miktarda ZnO ve TiO_2

eklendikten sonra oluşan fiberlerde korozyon direnci artar, kütük 3 oluşturma sıcaklığı ise azalır. S-cam, R-cam ve Te-cam fiberlerde gerilme mukavemeti silikat ağının yapısıyla bağlantılıdır. Özellikle yapı içine kolayca entegre edilmeyen alkali oksitlerin bulunmamasıyla belirlenir. Günümüzde bilinen S-cam, Te-cam ve R-cam gibi yüksek mukavemete sahip cam fiberler oda sıcaklığında E-camdan % 10-15 yüksek mukavemet sağladıklarından dolayı askeri uygulamalarda kullanılırlar. S-cam ve Te-cam üçlü $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ sisteminden R-cam ise $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ sisteminden türemiştir (Wallenbergerve ark., 2001).

Yüksek kullanım sıcaklığı gerektiren çalışmalarda yüksek SiO_2 yani % 95 SiO_2 bulunduran amorf cam fiberler kullanılabilir. 1040°C 'ye ulaşan sıcaklıklarda yalıtım malzemesi olarak kullanılan bu fiberler borosilikat E-cam kumaşların asit ile erimesiyle oluşur. Silfa ismiyle bilinen % 99 SiO_2 içeren saf silika lifleri ise sulu cam çözeltilerden kuru eğirme işlemiyle oluşturulur ve 1090°C 'ye ulaşan sıcaklıklarda tel yalıtımı için kullanılırlar. Bu lifler bileşik uygulamalarda kullanılamazlar (Wallenbergerve ark., 2001).

Tetraetil Ortosilikattan sol-jel uygulamasıyla kuru eğrilerek elde edilen ve % 99,99 SiO_2 içeren ultra saf silisli amorf cam fiberler yüksek sıcaklık direncine sahip olmakla beraber UV ışınlarına ve daha uzun dalga boylu radyasyona karşı üstün direnç gösterirler. İplik ve kompozit uygulamalarında ultra saf silika camlar kullanılırlar. 1090°C 'ye kadar ultra saf silika iplikler ve kumaşlar, 1040°C 'ye kadar yüksek silisli kumaşlar kullanılırken S-cam, Te-cam ve R-cam iplik ve kumaşlar ise 815°C 'ye ulaşan sıcaklıklarda kullanılabilirler (Wallenbergerve ark., 2001).

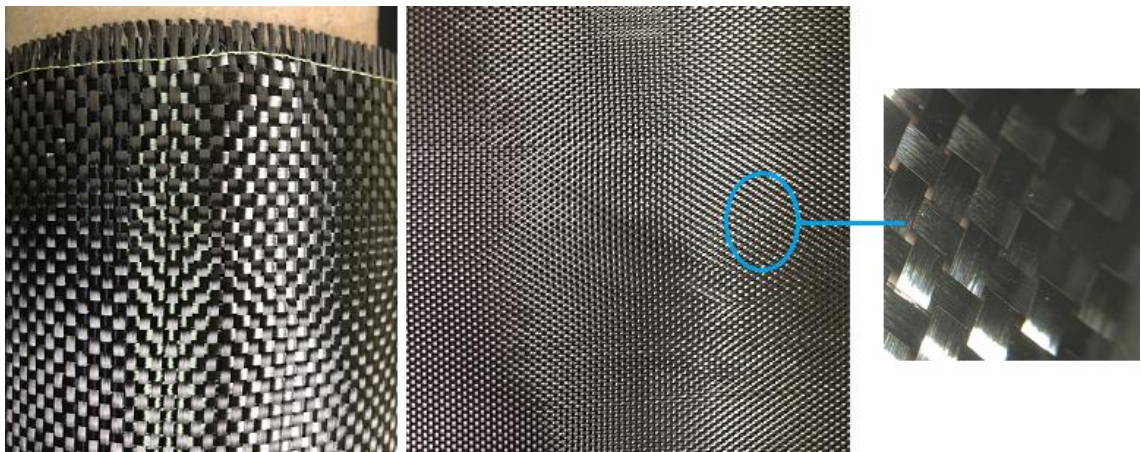
D-cam fiberlerde hacim direnci, dielektrik sabiti, yüzey iletkenliği, kayıp tanjant gibi faktörler cam fiberlerin elektriksel özelliklerini belirler. Yüksek dielektrik sabiti sebebiyle baskılı devre kartlarındaki en önemli fiber takviyesidir. Ancak günümüzde çoğunlukla çok daha düşük dielektrik kayıplı ve daha düşük dielektrik sabitlerine sahip lifler kullanılmaktadır. E-camdan daha düşük dielektrik sabitine sahip olan bu fiberlerin B_2O_3 oranları çok yüksektir. Baskılı devre kartı laminantlarını güçlendirmek için kullanıldıklarında en iyi sonucu verirler ancak yüksek maliyetlidirler. Tablo 2.1'de cam fiberlerin ağırlıkça bileşenleri verilmiştir (Wallenbergerve ark., 2001).

Tablo 2.1. Cam fiberlerin bileşenleri (Wallenbergerve ark., 2001)

Elyaf	% ağırlıkça bileşen												
		B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	TiO ₂	Zr ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Li ₂ O	Fe ₂ O ₃	F ₂
Genel Amaçlı Elyaf													
Bor-E-cam	52-56	4-6	12-15	21-23	0,4-4	...	0,2-0,5	...	0,1	iz	...	0,2-0,4	0,2-0,7
Boronsuz-E-cam	59,0	...	12,1	22,6	3,4	...	1,5	...	0,9	...	...	0,2	...
	60,1	...	13,2	22,1	3,1	...	0,5	...	0,6	0,2	...	0,2	0,1
Özel kullanım amaçlı Elyaf													
ECR-cam	58,2	...	11,6	21,7	2,0	2,9	2,5	...	1,0	0,2	...	0,1	iz
D-cam	74,5	22,0	0,3	0,5	...	...	...	...	1,0	<1,3	...	...	...
	55,7	26,5	13,7	2,8	1,0	...	...	...	0,1	0,1	0,1	...	...
S-, R- ve TE-cam	60-65,5	...	23-25	0-9	6-11	...	...	0-1	0-0,1	...	...	0-0,1	...
Silis Kuvars	99,9999	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

2.2.2. Karbon fiberler

Uzun yıllardır özel uygulamalarda kullanılarak geliştirilen karbonlu fiberler geniş bir kullanım yelpazesine ulaşmıştır. Düşük fiyatlarla yüksek performans gösteren kompozitler günümüzde metallerin kullanıldığı uygulamalarda da tercih edilmeye başlanmıştır. Metallere göre daha hafif olmaları ciddi bir avantajdır. Karbon fiber tasarımlar daha hafif, daha güçlü ve daha hızlı yakıt verimliliği sunarak her geçen gün kullanım alanlarını genişletmektedir. Karbon fiberlerin kullanımı Thomas Edison'un akkor lamba filamentleri için pamuk ve bambu elyaflarını karbonlaştırdığı döneme dayanmaktadır. Ticari anlamda kullanımı ise 1950'lerin sonlarında roketler için geliştirilen ablatif materyallerin araştırmaları yapılırken başlamıştır (Walsh, 2001).

**Şekil 2.5.** Dokumalı karbon fiber malzemeler

2.2.2.1. Karbon fiberlerin özellikleri

Günümüzde en çok tercih edilen fiber takviyeli kompozitlerden karbon fiberli kompozitlerin neden tercih edildiklerini kıyas yoluyla ele alalım. Karbon fiberlerden yapılmış kompozitlerin özelliklerini diğer yapısal malzemelerle kıyasladığımızda grade 1020 çelikten beş kat daha güçlü ve buna rağmen yine de beş kat daha hafif olduğunu görürüz. Yine 6061 alüminyum alaşımına göre yedi kat daha sert ve iki kat daha katı ve buna rağmen yine de 1,5 kat daha hafiftir. Günümüzde mevcut bulunan bütün metallerden daha üstün yorulma özellikleri olan karbon fiberli kompozitler uygun reçinelerle birleştiğinde, korozyona karşı en dayanıklı malzemelerden biri haline gelir. Bazı mezofaz zift esaslı karbon fiberler ise bakıra göre üç kat daha fazla ısı iletkenliğe sahiptir. Son olarak pan ve perde bazlı karbon fiberlerin elektriksel iletkenliği, çok çeşitli bilgisayarlarla ilişkili ürünlerdeki statik elektriği dağıtmak için oldukça iyidir (Walsh, 2001).

2.2.2.2. Karbon fiberlerin uygulama alanları

Metal veya diğer malzemelerin kullanımı uygun olmayan yerlerde karbon fiberli kompozitler pratik bir şekilde kullanılabilmektedirler. Karbon fiberli kompozitlerin uygun olduğu uygulamalarda, sistem bakımının azalması, işlem hızının ve güvenilirliğin artması maliyetin azaltılmasında oldukça önemlidir. Karbon fiber endüstrisinin hızla büyümesi sadece karbon fiberli kompozitlerle üretilen yüksek performanslı uçakların tasarlanmaya çalışılmasına bağlıdır. Yüksek özgül mukavemet ve spesifik rijitlik gerektiren birincil ve ikincil yapılar için uçaklarda kullanılırlar. Ayrıca havacılık, spor malzemeleri ve özellikle de endüstriyel uygulamalarda her geçen gün kullanımı artan karbon fiberler geniş kullanım alanlarına sahiptirler (Walsh, 2001).

Karbon fiberler, spor malzemesi olarak golf ve tenis raketi, kayak ve bisiklet parçaları üretiminde kullanılırlar. Bunun yanında hafif ve hassas oluşları sebebiyle balıkçı çubuklarında da kullanımı tercih edilmektedir. Ticari ve endüstriyel uygulamalara değinecek olursak elektrik iletkenliği sayesinde bilgisayar yazıcılarında, fotokopi makinaları parçalarında kullanılırlar. Karbon fiberler güçlü korozyon dirençleri, hafif olmaları ve titreşimi absorbe etmeleri nedeniyle soğutma kulelerinin tahrik millerinde ve kaplinlerinde de çelik millerinin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Karbon fiberli malzemelerin maliyetini düşürmek için günümüzde yoğun çalışmalar

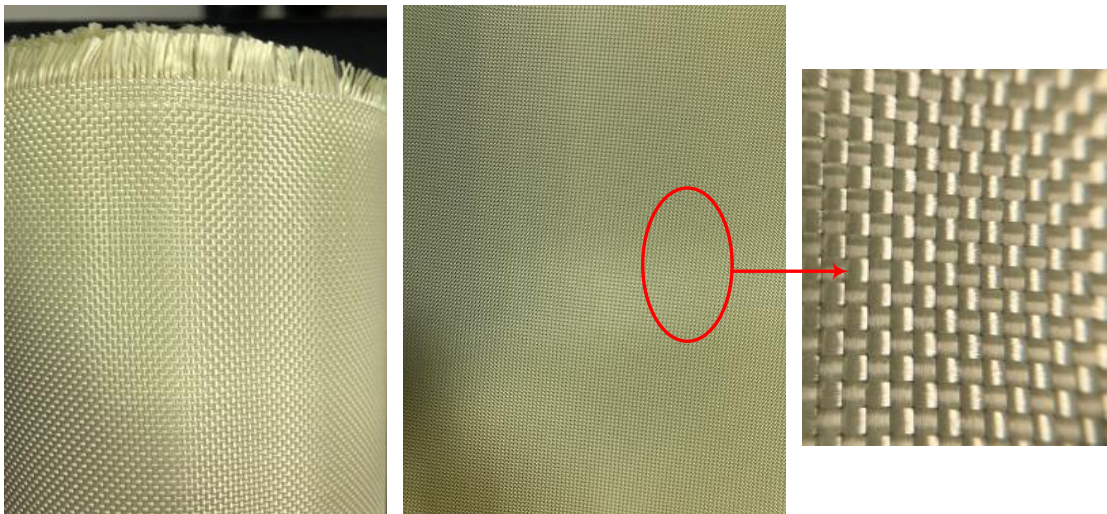
yapılmaktadır. Maliyet düşürülebilirse üstün özellikleri sayesinde birçok yeni uygulamalarda da yer alacak bir malzemedir (Walsh, 2001).

2.2.3. Aramid Fiberler

1970’li yılların başında piyasada bulunan takviye liflerinin en yüksek mukavemet oranına sahip olanıdır. Kevlar adıyla da bilinirler ve ilk zamanlarda lastiklerin ve plastiklerin takviye edilmesinde kullanılmışlardır. Malzeme özelliklerine değinilecek olursak hafif, yüksek mukavemet ve yüksek tokluk en belirgin özellikleridir. Bu özelliklerinden dolayı balistik halatlar, lastikler ve kablolarda kullanılmıştır. Bunun yanında koruyucu elbise uygulamalarının geliştirilmesinde de ciddi bir rol oynayan aramid lifleri asbestli uygulamalarda da asbestin yerini almaya başlamıştır (Chang, 2001). Şekil 2.6’da kırılmış ve Şekil 2.7’de dokumalı aramid elyaf resimleri verilmiştir.



Şekil 2.6. Kırılmış aramid fiber (İnternet adresi 4, 2018)



Şekil 2.7. Dokumalı aramid fiber malzemeler

2.2.3.1. Aramid fiberin formları ve uygulamaları

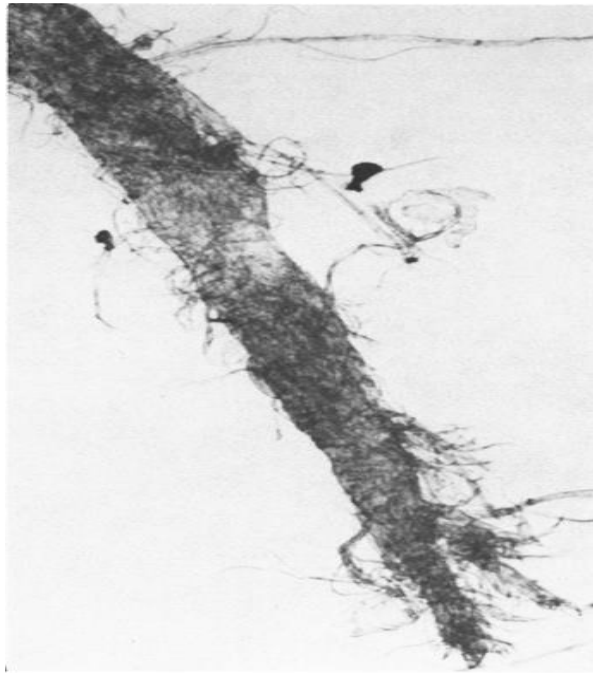
Aramid fiberlerin başlıca biçimleri, sürekli filament iplikler, süngerler, dokuma kumaşlar, zımba ve eğirme iplikleri, kâğıt hamuru, dokulu iplik, iğneli delikli keçeler, eğirilmiş levhalar ve ıslak olarak serilmiş kâğıtlardır.

Aramid iplikler genellikle balistik zırh, asbest değiştirme ve büyük hasar toleransına ihtiyaç duyulan uygulamalarda yaygın olarak tercih edilirler. Ayrıca bu fiber tipleri spor malzemeleri, füze kutuları, kablolar, basınçlı kaplar ve gerilim elemanları gibi uygulamalarda da tercih edilirler.

Dokuma kumaşlarının uygulama alanları ticari uçaklar, helikopterler, tekne gövdeleri, petek sandviç konstrüksiyonları, elektrik ve elektronik parçalar, balistik sistemler ve kumaşların cephe kaplamalarıdır.

Zımba ve eğirme iplikleri genellikle termoset, termoplastik ve elastomerik reçineri güçlendirme işlemi için kullanılır. Asbest yerine koyma ve koruyucu giysilerde kesilme, delinme, aşınma gibi etkilerden koruma amaçlı kullanılır. Ayrıca uygulama alanları arasında otomotiv ve kamyon frenleri, debriyaj astarları, contalar, balistik zırh ve deniz laminantları da bulunmaktadır.

Kevlar hamuru (Şekil 2.8) yaygın olarak asbest yerine konulma, contalar, sürtünme ürünleri, sızdırmazlık maddeleri ve kaplamalarda kullanılırlar (Chang, 2001).



Şekil 2.8. Aramid hamuru (Chang, 2001)

Aramid kâğıtlar conta ve otomatik şanzımanlarda, asbest değiştirme gibi alanlarda kullanılır. Düz ve kıvrılmamış fiberler, ıslak olarak serilmiş kâğıtların sertliğini ve mekanik özelliklerini arttırmak için kullanılır. Bu kâğıtların kullanıldığı kompozitler ise baskılı devre kartları, havacılık ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmak için üretilmektedir (Chang, 2001).

2.3. Nanoboyutlu Takviyeler ve Nanokompozitler

Son yıllarda, nanobilimdeki ilerlemeler, nanoparçacıkların otomobil, inşaat, elektronik ve havacılık sektörlerine yönelik uygulama yelpazesini genişletmektedir. Son derece küçük boyutlar, özel şekil, mükemmel yüzey alanı gibi yapısal özelliklerine sahip olan nanoparçacıklar, mükemmel fizyokimyasal özellikler sergilerler ve benzersiz elektrik, termal ve mekanik özellikler yansıtmaktadırlar. Angre Geim ve Konstantin Novoselov tarafından Manchester Üniversitesi'nde grafitten mekanik eksfoliyasyon yoluyla deneysel olarak keşfedilen Graphene (G), 1060 GPa'nın üzerinde bir elastik modüle sahiptir ve heyecan verici nanomateryal olarak kabul edilmiştir. G'nin türevidir olan, grafen oksit (GO), grafitin oksidasyonu ile üretilen katmanlı bir nanodolgu maddesidir. G ile karşılaştırıldığında, GO'nun bazal düzlemlerinde oksijenli hidroksil, epoksit fonksiyonel grupları ve levhaların kenarındaki karbonil, karboksil grupları bulundurmasıdır. GO oksidasyon derecesi kompozitlerin yapısı ve özellikleri üzerinde etkilidir (Liu ve ark., 2016).

Grafitin tarihi, günümüzden 6000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. O zamanlar süsleme sanatında çanak çömlek boyamak için kullanılıyordu. G'nin keşfi ise 2004 gibi çok yakın bir tarihe dayanmaktadır. G'nin tanımı, IUPAC tarafından yapılmış olup bir atom kalınlığında, iki boyutlu, karbon atomlarından oluşan tek katlı tabaka demektir. G, tıpkı fullerenler, karbon nanotüpler (CNTs), grafitler, karbon fiberler gibi karbon allotroplarından biri olup diğer allotropların hepsinin yapısında bulunur. Buna rağmen en son keşfedilen nanopartikül G'dir (Singh ve ark., 2011).

Eklendiği malzemenin elektrik iletkenliğini, mekanik ve termal özelliklerini alev geciktirici özelliklerini büyük oranda geliştiren G, polimer nanokompozitlerin üretiminde önemli bir yere sahiptir. Çünkü G'nin polimer zincirlerine tutunması kovalent bağlarla sağlanır. G'nin imalat yöntemleri ve yüzey işlevselleştirilmesi, nanomateryalin dağılma halini önemli ölçüde etkiler. G nanokompozitler (GNP), in

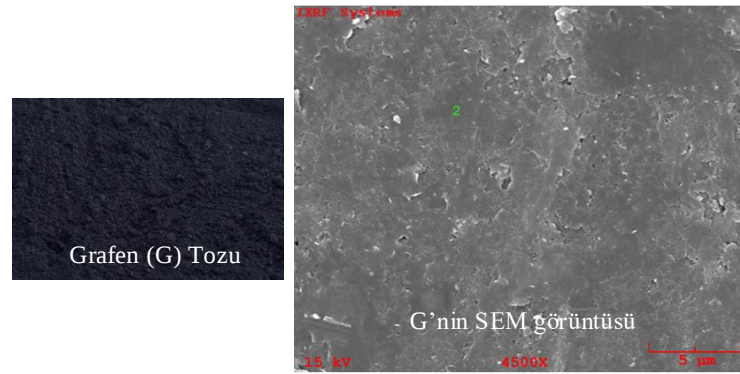
situpolimerizasyon ve çözelti harmanlama gibi yöntemlerle elde edilirler. Eriyik harmanlama, çok yönlü, uygun maliyetli, çevre dostu ve polimer imalatında yaygın olarak kullanılan yöntemdir. GO ise yüzey işlevselleştirmesine ilaveten hem polimer matris içindeki dağılımını artırır hem de ara yüzeylere yapışma gücünü artırır (Yuan ve ark., 2014). Grafenden elde edilen kompozitler aşağıdaki gibidir;

1. Epoksi/G nanokompozitler
2. Polistiren/G nanokompozitler
3. Polianilin/G nanokompozitler
4. Nafion/G nanokompozitler
5. Polivinil alkol/G nanokompozitler
6. Poliüretan/G nanokompozitler
7. Polivinil florür/G nanokompozitler
8. Polietilen tereftalat/G nanokompozitler
9. Polikarbonat/G nanokompozitler (Kuilla ve ark., 2010).

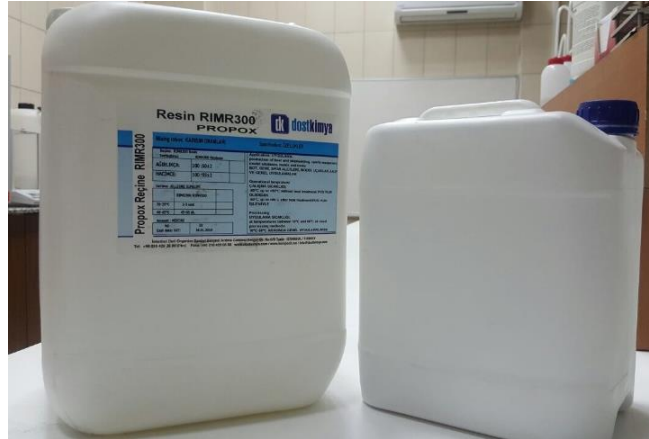
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Grafen Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Üretimi

Grafen (G) takviyeli epoksi matrisli nanokompozitlerin üretimi için IGP₂ (0,60c) kodlu, 5µm çapa, 5-8 nm kalınlığa ve 120-150 m²/gr yüzey alanına sahip G ile Propox marka RIMR300 epoksi ve RIMH300 sertleştirici ticari yollarla temin edildi. Temin edilen grafen tozu ve SEM görüntüsü Şekil 3.1’de, epoksi ve sertleştiricinin görüntüsü ise Şekil 3.2’de verilmiştir.



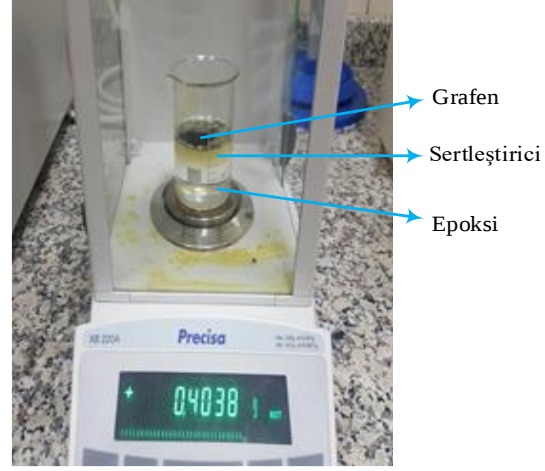
Şekil 3.1. Grafen tozu ve SEM görüntüsü



Şekil 3.2. RIMR300 epoksi reçine ve RIMH300 sertleştirici

Başlangıçta takviyesiz epoksi ve sertleştirici 2 ye 1 oranında Precisa marka XB 220A model hassas terazide tartıldı ve Heidolph marka MR Hei-Standart model manyetik karıştırıcıda 15 dakika boyunca, 50 °C tabla sıcaklığında ve 750 dev/dak dönme hızında karıştırıldıktan sonra çekme numunesi şeklinde hazırlanan kalıba döküldü. Aynı işlem epoksi ve sertleştiriciye % 0,1; % 0,2; % 0,3; % 0,4; % 0,5 ve % 1 oranlarında G katılarak da tekrarlandı. Şekil 3.3’te % 0,4 G orana sahip epoksinin hazırlanmasındaki tartı görüntüleri, Şekil 3.4’te aynı orana sahip G, epoksi ve sertleştiricinin manyetik

karıştırıcıdaki karışım görüntüleri, Şekil 3.5'te ise kalıba dökülmüş görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.3. Takviye ve matris elemanlarının hassas terazide tartılması



Şekil 3.4. Tartılan malzemelerin manyetik karıştırıcıda karıştırılması

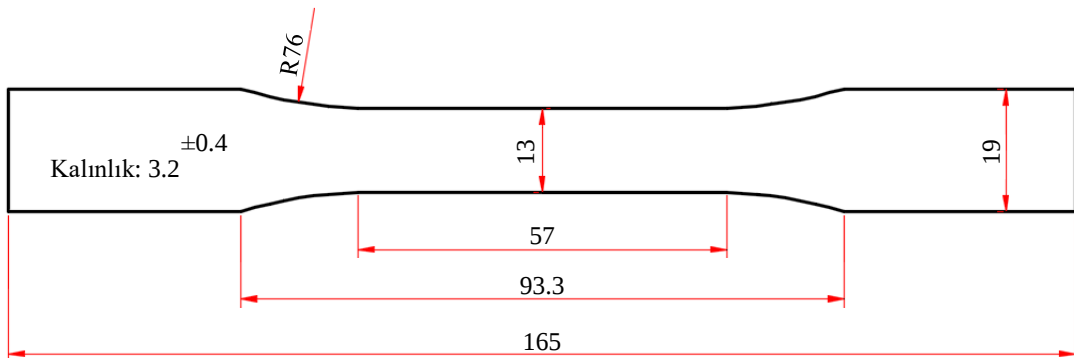


Şekil 3.5. Karışımların kalıba dökülmesi

Her bir orandaki karışımdan 4 numune elde edildi ve kürleşmeye bırakıldı. Şekil 3.6’da üretilen numunelerin görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.7’de ise üretilen numunelerin boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kalıptan çıkarılan numune resimleri



Şekil 3.7. Üretilen numunelerin boyutları (Tip 1 çekme numunesi)

3.2. Grafen/Fiber Takviyeli Kompozitlerin Üretimi

Grafen takviyeli epoksi kompozitlerin üretilmesi için ticari yollarla cam fiber (CF), karbon fiber (KF) ve aramid fiber (AF) temin edilmiştir. Temin edilen fiberler 200 gr/m² yoğunluğa sahiptirler. CF, KF ve AF'nin görüntüleri Şekil 3.8-3.10'da sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.8. CF kumaş



Şekil 3.9. KF kumaş



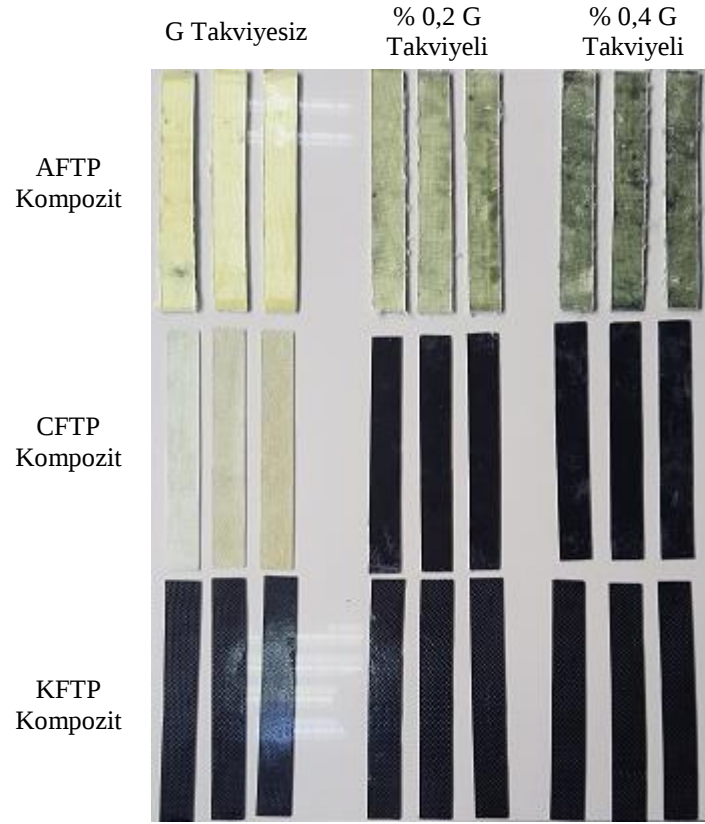
Şekil 3.10. AF kumaş

Fiberler 300 mm genişliğinde ve 500 mm uzunluğunda olacak şekilde kesildi. Önceden temin ettiğimiz epoksi ve sertleştirici yine takviyesiz şekilde 2 ye 1 oranında Precisa marka XB 220A model hassas terazide tartıldı ve Heidolph marka MR Hei-Standart model manyetik karıştırıcıda 15 dakika boyunca, 50 °C tabla sıcaklığında ve 750 dev/dak dönme hızında karıştırıldıktan sonra 300 mm x 500 mm boyutlarında kesilmiş dokuma formu elyaflarımızdan CF, KF ve AF'e elle yatırma yöntemiyle ilave edilerek 8 tabakadan oluşan cam fiber takviyeli plastik (CFTP), karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) ve aramid fiber takviyeli plastik (AFTP) kompozitler üretilmiştir. Aynı işlem daha sonra epoksi malzemesinin içerisine % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G eklenerek tekrarlanıp G/CFTP, G/KFTP ve G/AFTP kompozitler üretilmiştir. Şekil 3.11.'de elle yatırma yöntemiyle üretilen kompozitlerin üretim aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.11. Elle yatırma yöntemiyle üretilen kompozitler

Kürleşmesi beklenen kompozitler, kürleştikten sonra 25 mm x 250 mm boyutlarında kesilmiştir. Şekil 3.12’de bu boyutlarda kesilen kompozitler verilmiştir.



Şekil 3.12. Çekme numunesi için hazırlanan kompozitlerin görüntüleri

Şekil 3.12’de görüntüleri verilen kompozit numunelerin çekme deneylerinin çekme cihazında hasar görmeden sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için çekme numunelerinin çekme çenesine bağlanan yüzeylerine 25 mm x 25 mm boyutlarında KFTP kompozit malzemeden papuç kesilerek yapıştırılmıştır. Papuçlu hazırlanan numunelerin görüntüleri Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13. Papuç takılmış numunelerin görüntüsü

3.3. Çekme Deneyinin Yapılışı

G takviyeli epoksi kompozit numuneler 5 kN ve G/fiber takviyeli kompozit numuneler 250 kN kapasite yük hücreleri ile Shimadzu marka universal test cihazı kullanılarak 1 mm/dak çekme hızında çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Şekil 3.14'te çekme deneyine tabi tutulan bazı numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Saf (Takviyesiz) epoksi

Takviyeli epoksi kompozit

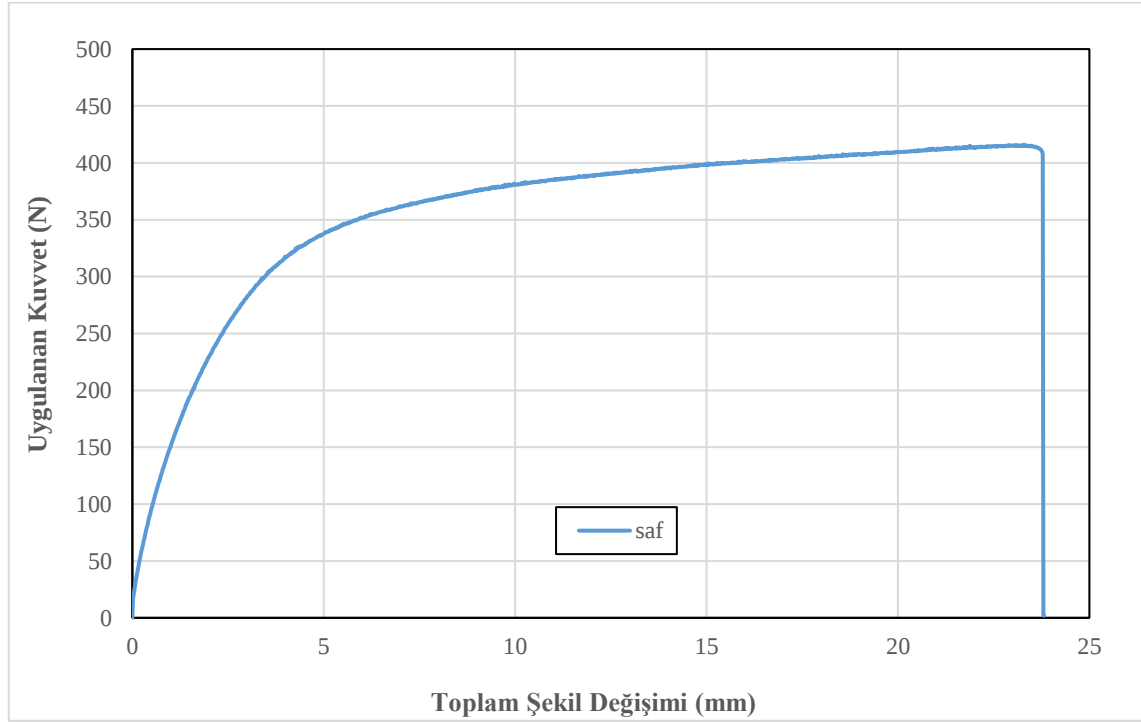
Şekil 3.14. Çekme deneyine tabi tutulan numune

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Grafen Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Çekme Sonuçları

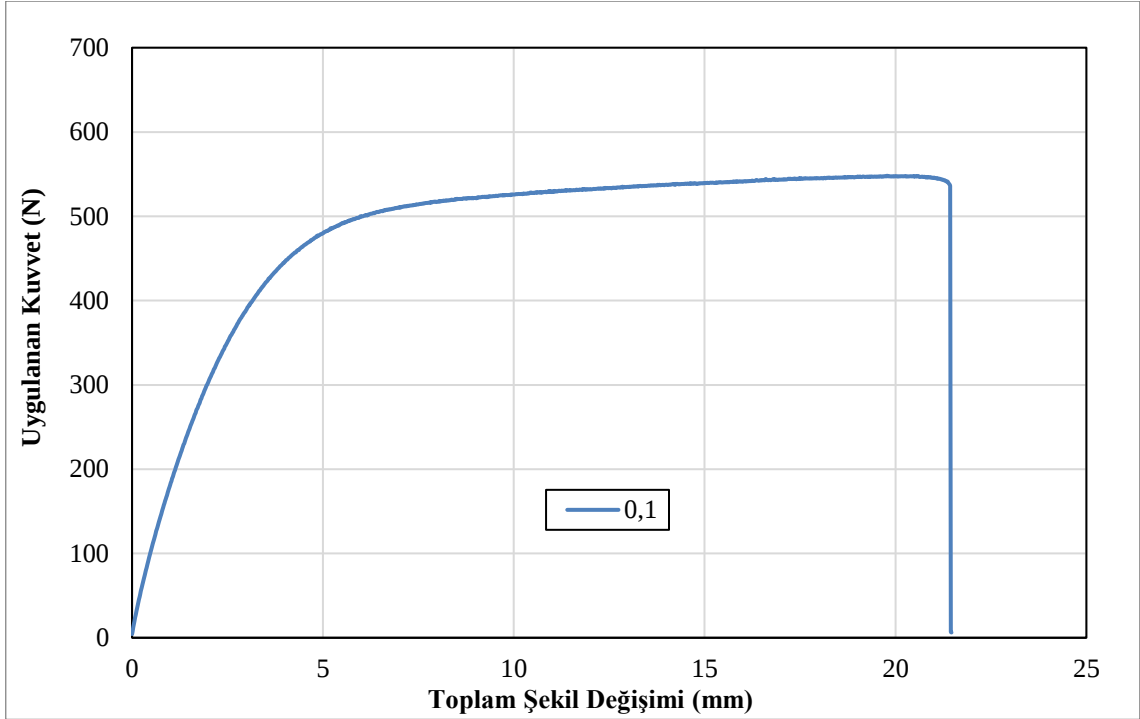
Gerçekleştirilen çalışmada Propox marka RIMR300 epoksi ve RIMH300 sertleştirici içerisine değişen oranlarda G nanopartikül ilave edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerde G takviye oranının çekme mukavemetine etkisi Schimadzu Universal test cihazıyla tespit edilmiştir. Yapılan çekme testlerinden elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

G nanopartikül takviyesi kullanılmayan saf epoksiye uygulanan çekme deneyi sonucunda Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. G takviyesiz epoksi numunenin hasar yükü 415,94 N değerini almıştır.



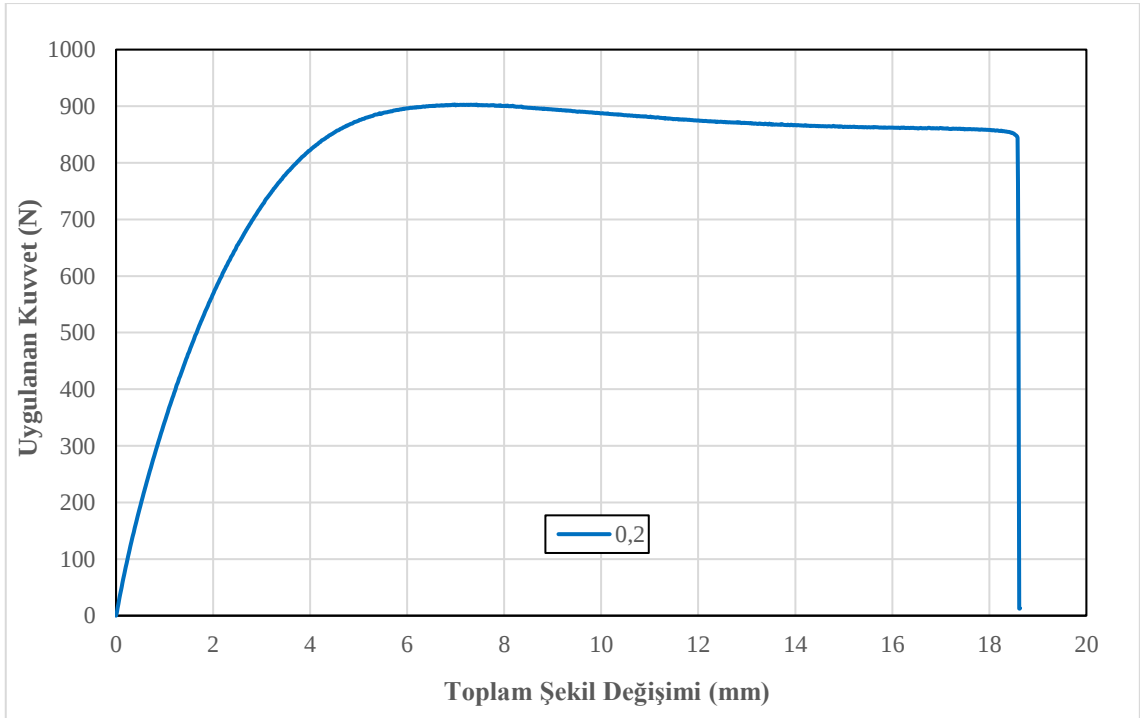
Şekil 4.1. G takviyesiz epoksi numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

Ağırlıkça % 0,1 G nanopartikül takviyesi kullanılan numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. % 0,1 G nanopartikül takviyeli numunenin hasar yükü 548,13 N değerini almıştır.



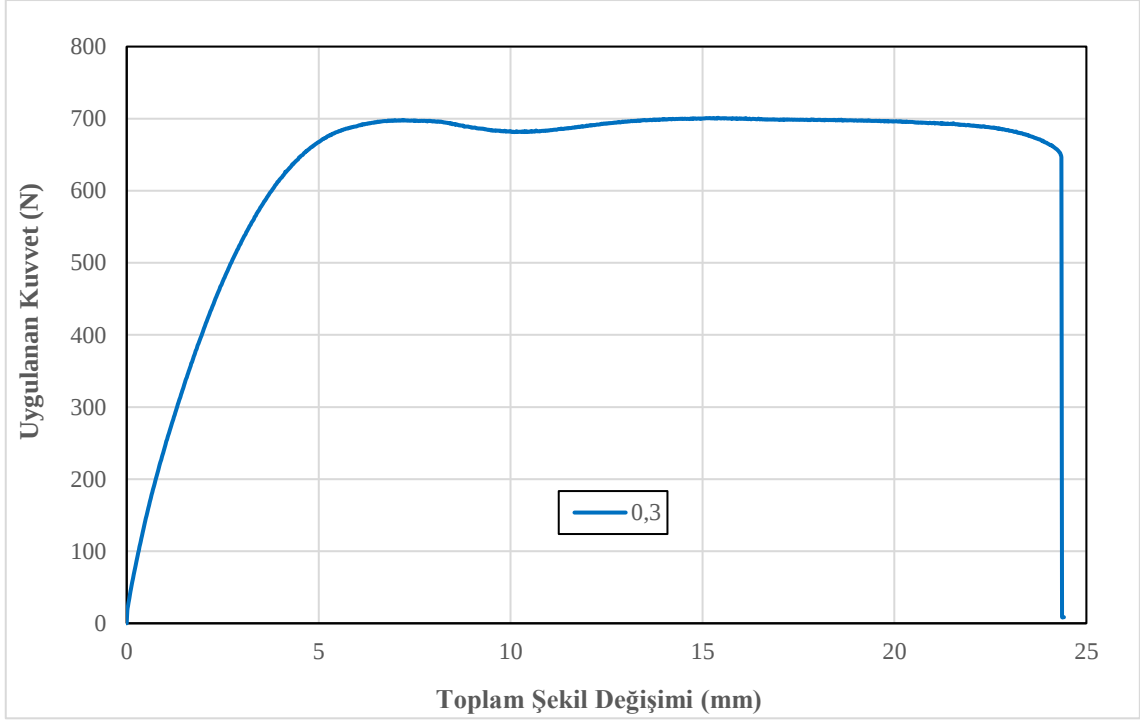
Şekil 4.2. Ağırlıkça % 0,1 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

Ağırlıkça % 0,2 G nanopartikül takviyesi kullanılan numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



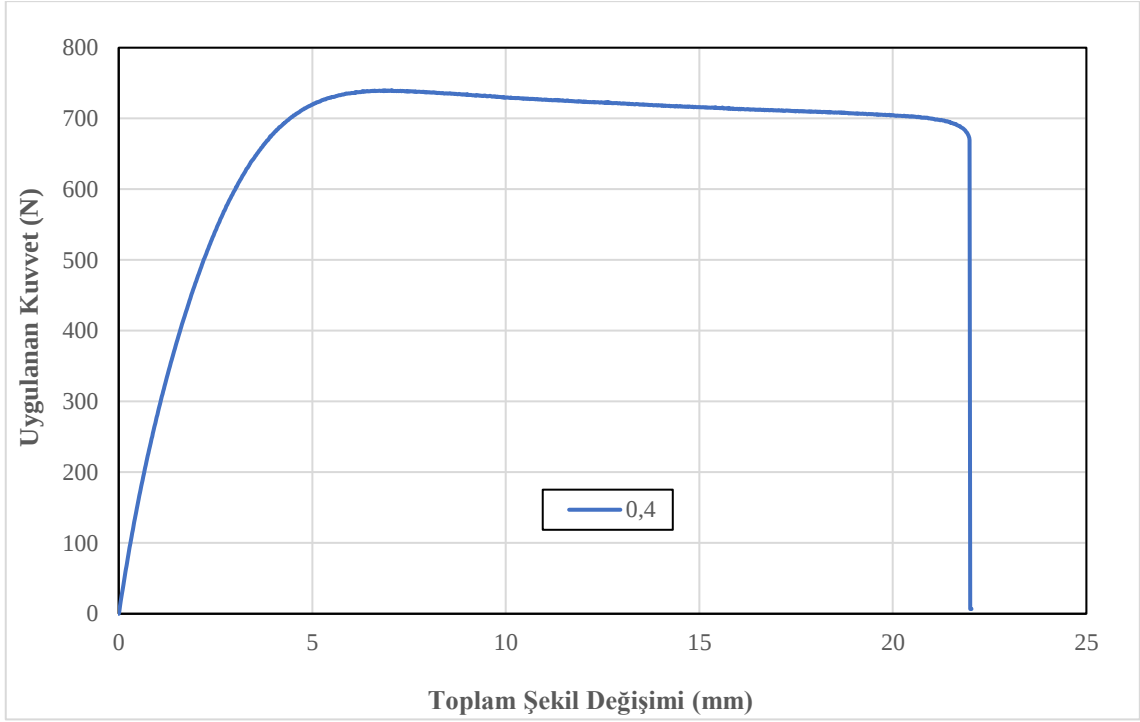
Şekil 4.3. Ağırlıkça % 0,2 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

% 0,2 G nanopartikül takviyeli numunenin hasar yükü 903,13 N değerini almıştır. Bu değer optimum olarak elde edilmiştir. Ağırlıkça % 0,3 G nanopartikül takviyesi kullanılan numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. % 0,3 G nanopartikül takviyeli numunenin hasar yükü 701,25 N değerini almıştır.

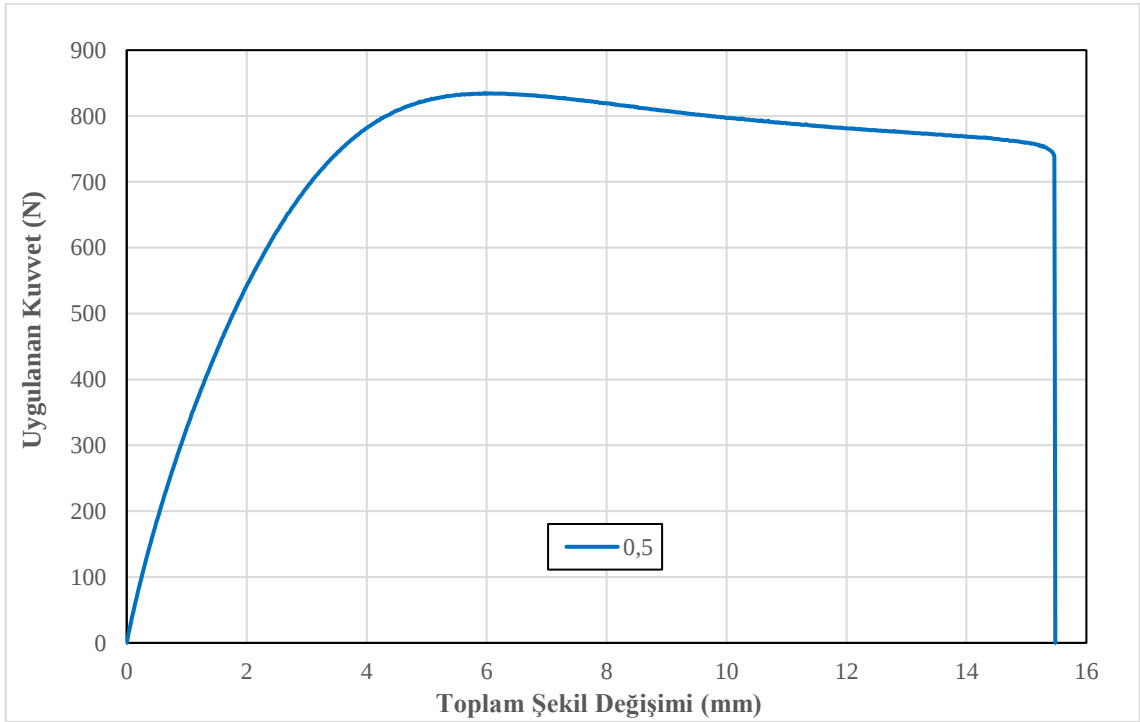


Şekil 4.4. Ağırlıkça % 0,3 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

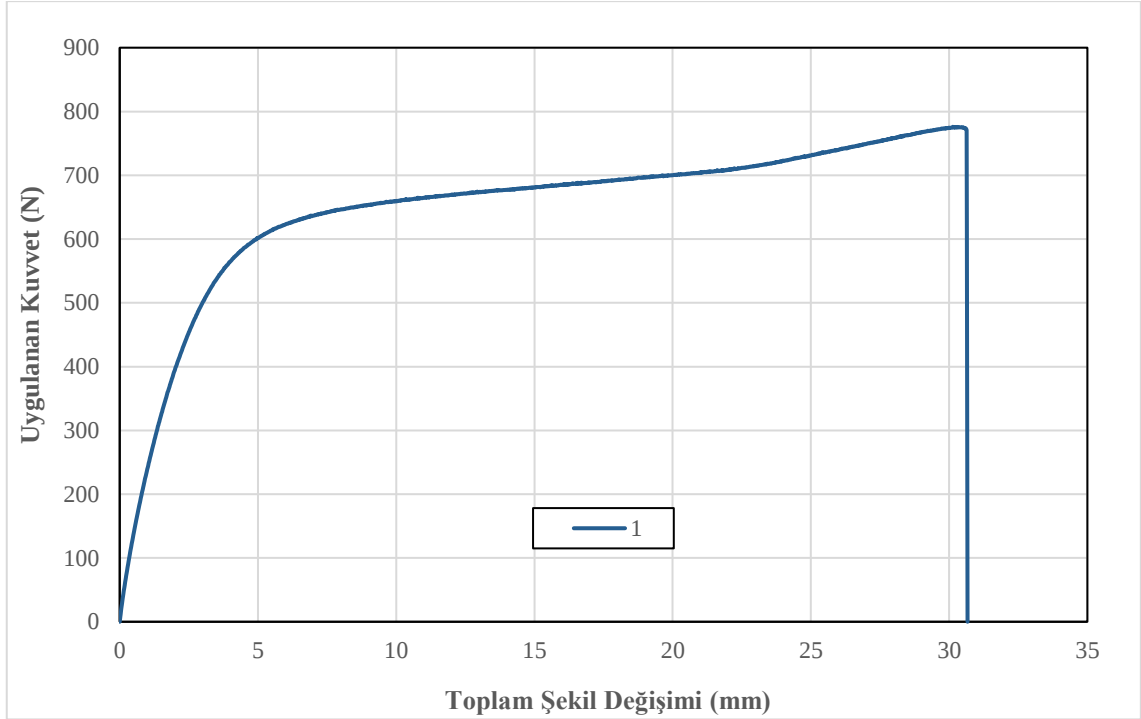
Ağırlıkça % 0,4, % 0,5 ve % 1 G nanopartikül takviyesi kullanılan numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafikleri Şekil 4.5-Şekil 4.7'de verilmiştir. % 0,4, % 0,5 ve % 1 G nanopartikül takviyeli numunenin hasar yükleri sırasıyla 739,84 N; 834,84 N ve 775,94 N değerlerini almıştır.



Şekil 4.5. Ağırlıkça % 0,4 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği



Şekil 4.6. Ağırlıkça % 0,5 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği



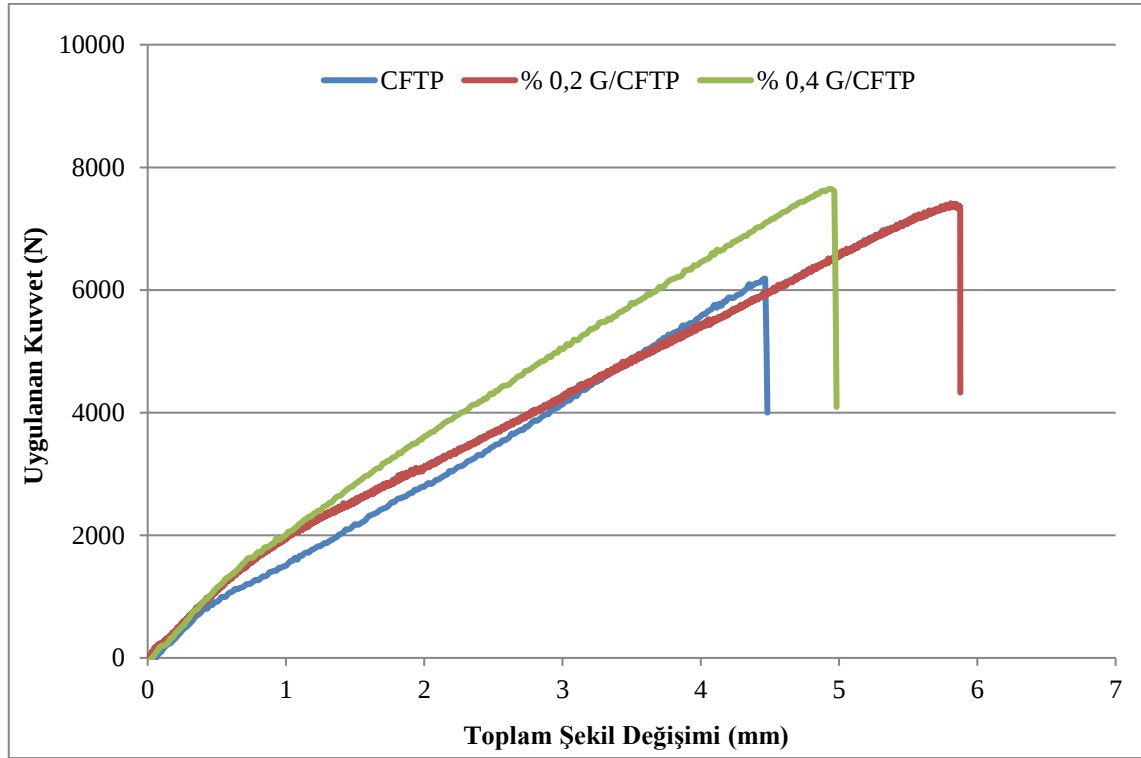
Şekil 4.7. Ağırlıkça % 1 G takviyeli kompozit numunenin uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

Bütün numunelere ait sonuçlar incelendiğinde G nanopartikül takviyesi kullanılmayan numunelerin hasar yükleri en düşük değeri almıştır. Ağırlıkça % 0,1 G nanopartikül takviyesinin eklenmesi kompozit numunelerin hasar yüklerini arttırmıştır. G nanopartikül oranının % 0,2 değerine çıkması ile en yüksek hasar yükleri tespit edilmiştir. Takviye elemanı olarak kullanılan G nanopartikül ilavesinin % 0,2 oranını geçmesi ile kompozit numunelerin hasar yükleri düşmeye başlamış ancak bütün G takviye oranlarında görülen hasar yükü değerleri saf epoksinin hasar yükünden yüksek çıkmıştır. G takviye oranının % 0,2 değerini geçmesi ile hasar yükünün düşmesinin sebebi olarak artan takviye miktarının epoksi matrisi içerisinde düzensizliklere ve matriste çatlak oluşumlarına yol açması gösterilebilir (Wan ve ark. 2018).

Numunelerin hasara uğrayıncaya kadar gösterdikleri şekil değişimleri incelendiğinde en yüksek şekil değişim değerinin % 1 G nanopartikül takviyeli kompozit numunelerde olduğu görülmüştür. En düşük şekil değiştirme miktarı ise % 0,5 G nanopartikül takviyeli kompozit numunelerde tespit edilmiştir.

4.2. Grafen/Fiber Takviyeli Kompozitlerin Çekme Sonuçları

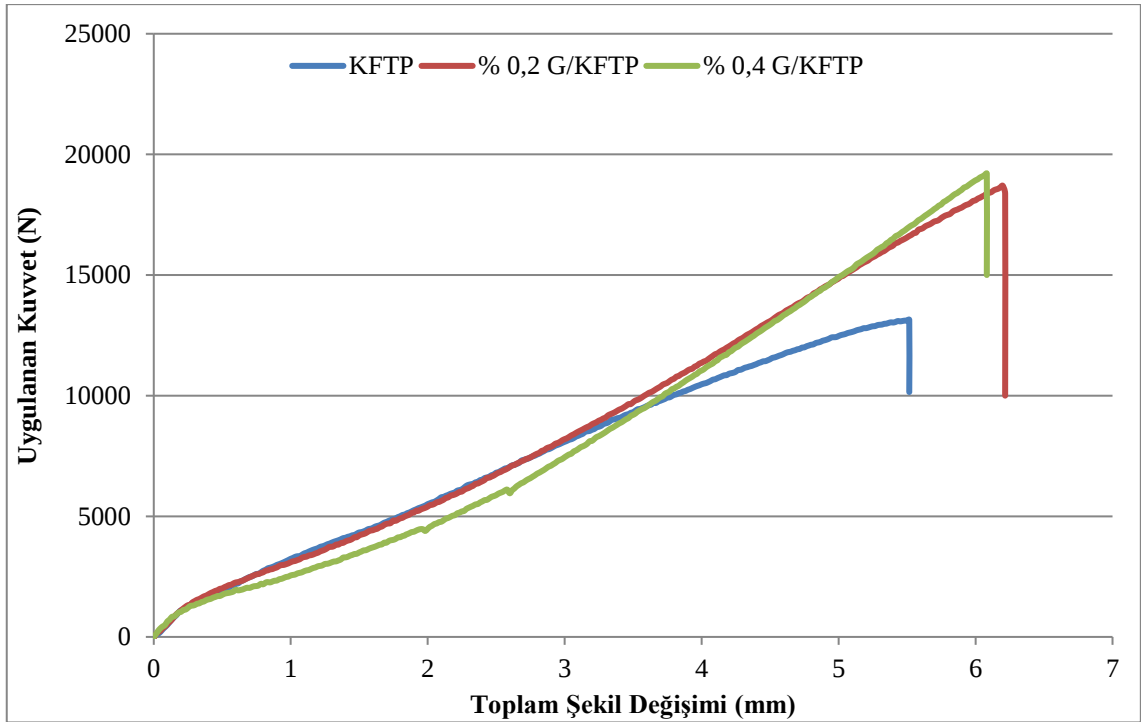
CFTP kompozitler üretilirken matris malzemesine değişen oranlarda G nanopartikül eklenmesi ile elde edilen CFTP ve G/CFTP kompozitlerin çekme testlerinde, Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Ağırılıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren CFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

G nanopartikül eklenmemiş CFTP kompozit malzemenin hasar yükü 6179 N değerini almıştır. Kompozit malzemeye eklenen G nanopartikül miktarının artması hasar yükünü arttırmış ve ağırılıkça % 0,2 ve % 0,4 G nanopartikül eklenen numunelerde hasar yükleri sırasıyla 7414 N ve 7648 N değerlerini almıştır.

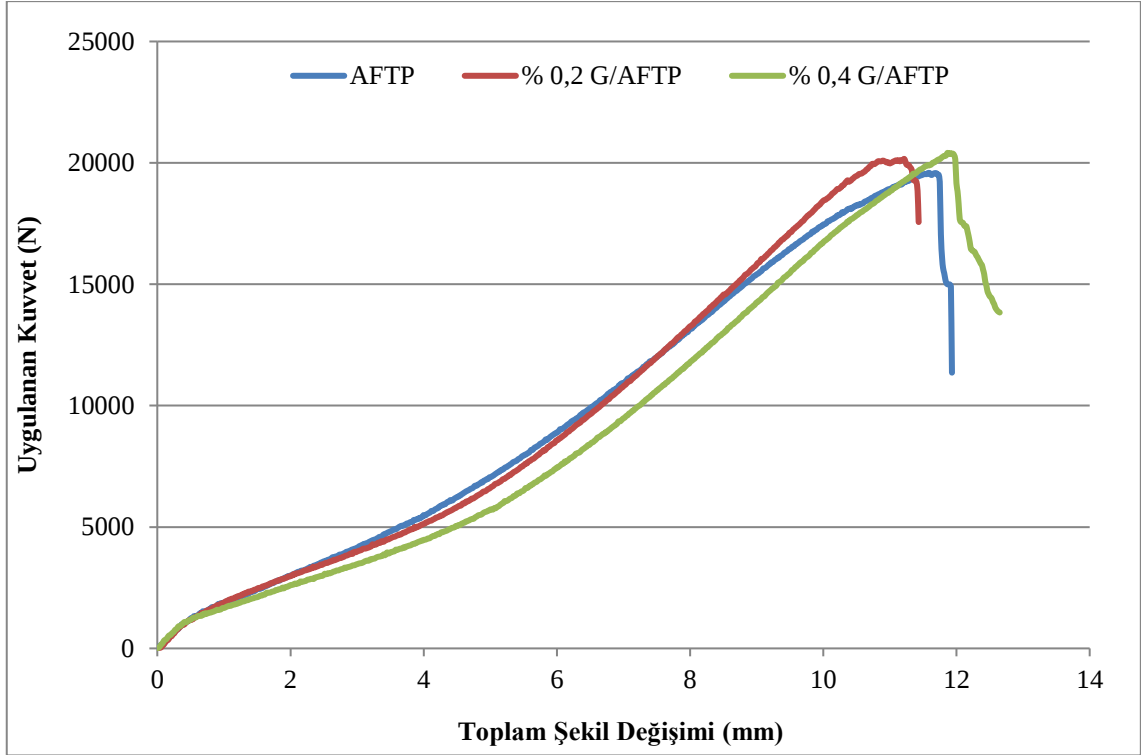
KFTP kompozitler üretilirken matris malzemesine değişen oranlarda G nanopartikül eklenmesi ile elde edilen KFTP ve G/KFTP kompozitlerin çekme testlerinde, Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir. G nanopartikül eklenmemiş KFTP kompozit malzemenin hasar yükü 13141 N değerini almıştır. KFTP takviyeli kompozit malzemeye % 0,2 oranında G nanopartikül eklenmesi sonucunda hasar yükü yaklaşık % 42 artış göstermiş ve 18695 N değerini almıştır. G nano partikül oranının % 0,4’e çıkması durumunda, kompozit malzemenin hasar yükü takviyesiz malzemeye göre % 46 artış göstermiş ve 19203 N değerlerini almıştır.



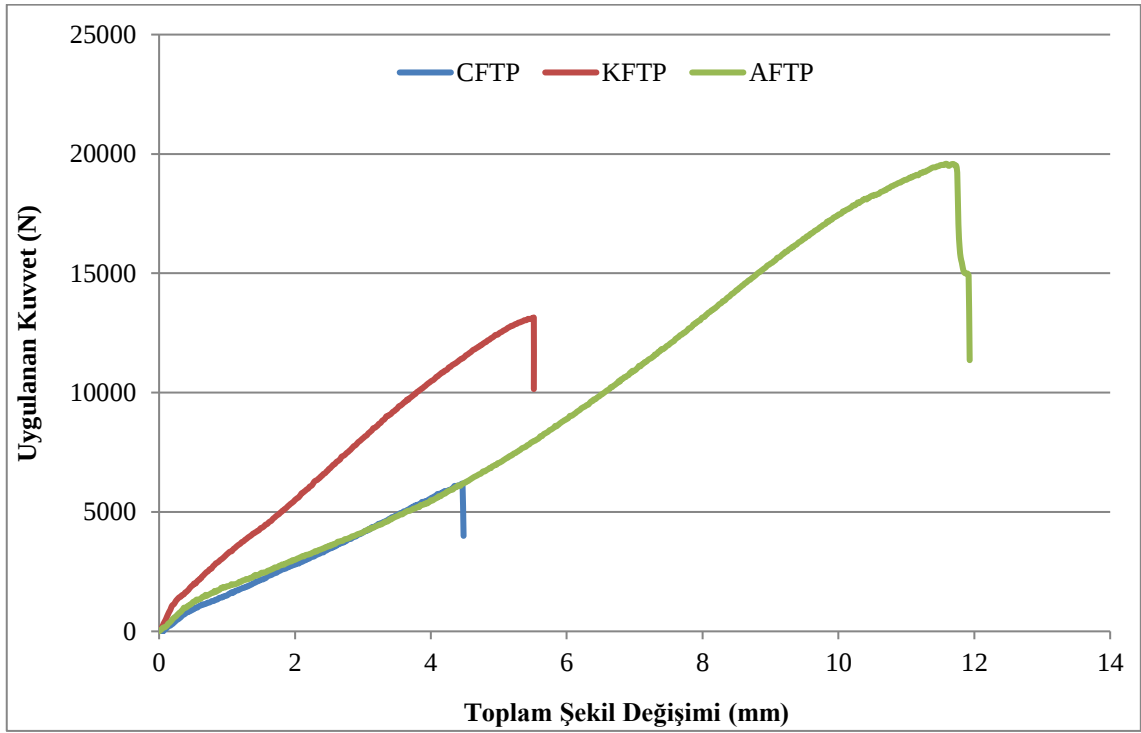
Şekil 4.9. Ağırlıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren KFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

AFTP kompozitler üretilirken matris malzemesine değişen oranlarda G nanopartikül eklenmesi ile elde edilen AFTP ve G/AFTP kompozitlerin çekme testlerinde, Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.10’da verilmiştir. G nanopartikül eklenmemiş AFTP kompozit malzemenin hasar yükü 19586 N değerini almıştır. Kompozit malzemeye eklenen G nanopartikül miktarının artması aramid fiberli kompozitte de hasar yükünü arttırmış ve ağırlıkça % 0,2 ve % 0,4 G eklenen numunelerde hasar yükleri sırasıyla 20164 N ve 20414 N değerlerini almıştır. Ancak AFTP kompozitlerde G nanopartikül oranının artmasıyla elde edilen hasar yükü CFTP ve özellikle KFTP kompozit malzemelerdeki gibi artmamıştır. AFTP kompozitlerde G nanopartikülünün hasar yüküne etkisinin çok az olduğu gözlemlenmiştir.

Takviyesiz CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelerine Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği şekil 4.11’de verilmiştir. Çekme mukavemeti en yüksek olan malzeme AFTP kompozit, en düşük olan malzeme ise CFTP kompozit olarak belirlenmiştir.

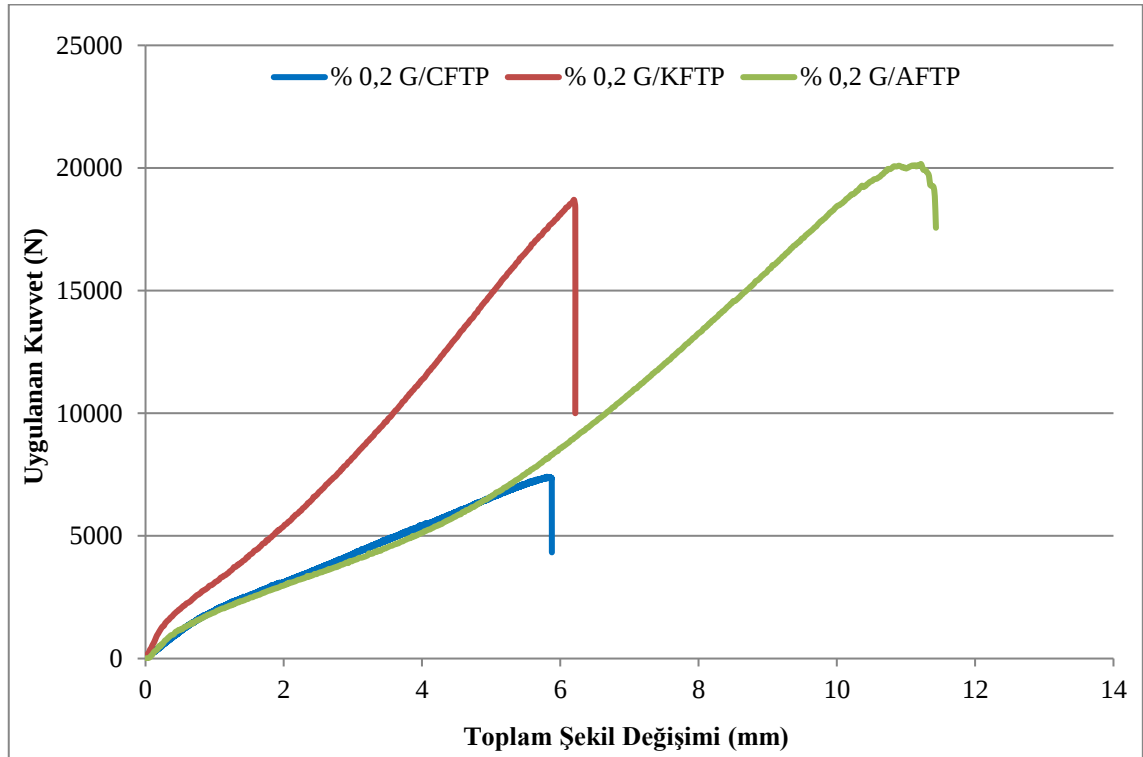


Şekil 4.10. Ağırlıkça % 0, % 0,2 ve % 0,4 oranlarında G içeren AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği



Şekil 4.11. Takviyesiz CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

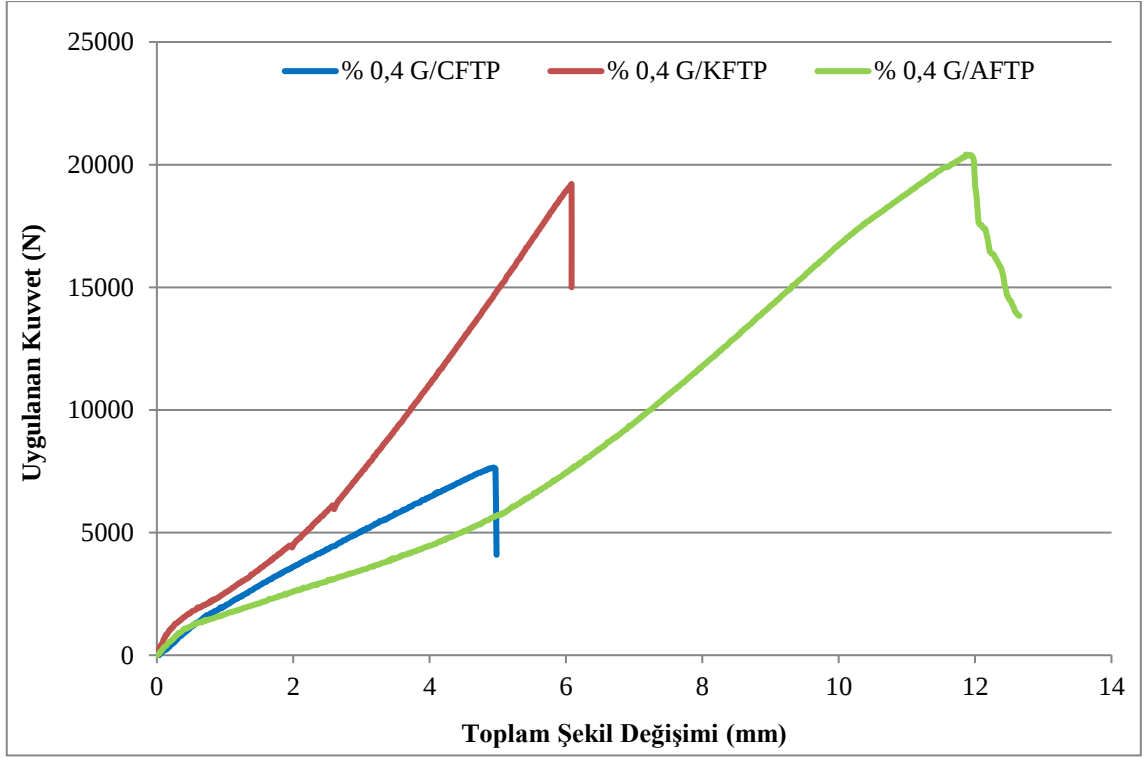
Ağırlıkça % 0,2 oranında G nanopartikül içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelerine Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. KFTP kompozit malzeme içerisinde bulunan G nanopartikül miktarı diğer fiberli kompozit malzemelerden daha fazla mukavemet kazandırmıştır. Bunun neticesinde % 0,2 G nanopartikül takviye oranı için AFTP ile KFTP kompozitler arasındaki fark azalmıştır. % 0,2 G/AFTP kompozit için hasar yükü 20164 N iken % 0,2 G/KFTP kompozit malzeme için 18695 N’dur.



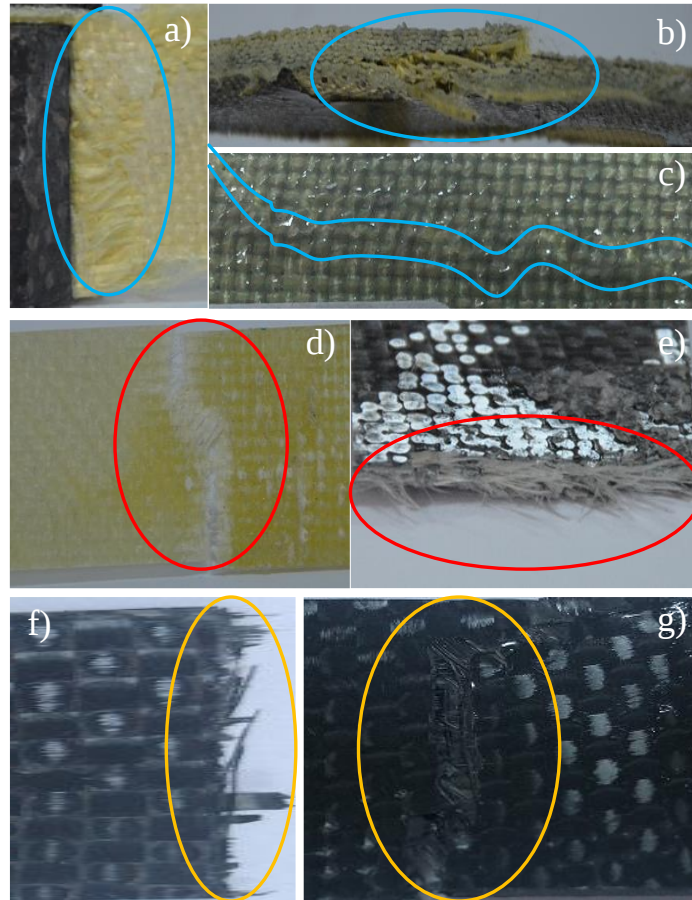
Şekil 4.12. Ağırlıkça % 0,2 oranlarında G içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği

Ağırlıkça % 0,4 oranında grafen takviyesi içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere Uygulanan Kuvvet – Toplam Şekil Değişimi grafiği Şekil 4.13’te verilmiştir. Ağırlıkça % 0,4 oranında G nanopartikül ilavesi KFTP kompozit malzemede gözlenen belirgin artışın devam etmesine buna karşın AFTP kompozit malzemede sınırlı kalmasına sebep olmuştur. CFTP kompozit malzemede ise AFTP kompozite benzer sonuçlar gözlenmiş ve nanopartikül oranı arttıkça hasar yükünde görülen artış sınırlı kalmıştır.

Bazı kompozit malzemelerde çekme testi sonucu oluşan hasar yüzeyleri Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Ağırlıkça % 0,4 oranlarında G içeren CFTP, KFTP ve AFTP kompozit numunelere uygulanan kuvvete bağlı toplam şekil değişim grafiği



Şekil 4.14. Kompozitlerde çekme testi sonucu oluşan hasar yüzeyleri

Şekil 4.14’de, a, b ve c ile gösterilen şekiller sırasıyla AFTP, % 0,2 G/AFTP ve % 0,4 G/AFTP kompozitlerin hasar yüzeylerini temsil etmektedir. Bu kompozitlerin çekme testi sonucu yüzeylerinde delaminasyon hasarı olduğu görülmüştür. Şekil 4.14’de, d ve e ile gösterilen şekiller CFTP ve % 0,4 G/CFTP kompozitlerin, f ve g ile gösterilen şekiller ise KFTP ve % 0,4 G/KFTP kompozitlerin hasar yüzeylerini sırasıyla göstermektedir. Hem CFTP ve G/CFTP kompozitlerin hem de KFTP ve G/KFTP kompozitlerin çekme testi sonucu yüzeylerinde fiber çekme hasarı olduğu görülmüştür.

5. GENEL SONUÇLARI

Bu çalışmada RIMR300 reçine ve RIMH300 sertleştirici epoksi malzemesine farklı takviye oranlarında G nanopartikül takviyesinin eklenmesiyle elde edilen kompozitlerde, G nanopartikül takviye oranının kompozitin çekme mukavemeti üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, farklı oranlarda G nanopartikül içeren epoksi malzeme aynı yoğunluğa sahip CF, KF ve AF'e eklenerek elde edilen nanokompozitlerde G nanopartikül takviye oranının çekme mukavemeti üzerine etkileri de araştırılmıştır. Elde edilen kompozitlerle ilgili aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Saf epoksiye G nanopartikül ilavesinin, matris malzemesinin çekme mukavemetini arttırdığı görülmüştür. G nanopartikül takviyeli epoksi matrisli kompozitlerde, maksimum hasar yükü % 0,2 G nanopartikül takviyesi içeren kompozitlerde tespit edilmiştir. Bu hasar yükü 903.13 N'dur. G nanopartikül takviye oranının % 0,2 değerinden % 0,3 değerine çıkması ile hasar yükü değerleri düşmüş ardından artan nanopartikül takviye oranı ile tekrar artmaya başlamıştır. Ancak hiçbir numune için hasar yükü değeri % 0,2 nanopartikül takviyesi kullanılan numune kadar olmamıştır. Bu kompozitlerin çekme deneyleri sırasında maksimum şekil değişim miktarı, % 1 G nanopartikül takviyesi kullanılan numuneden elde edilmiştir.
2. Saf fiber takviyeli kompozitlerde en yüksek hasar yükü AFTP kompozitte en az ise CFTP kompozitte elde edilmiştir. Ancak fiber takviyeli kompozitler üretilirken matris malzemesine G nanopartikül ilavesi, kompozitin hasar yükünün artmasına katkı sağlamıştır. G nanopartikül takviye oranının % 0,2'den % 0,4'e çıkması hasar yükünü bir miktar arttırmıştır. G nanopartikül takviyesi en fazla KFTP'de etkili olurken en az AFTP'de etkili olmuştur. Bunun neticesinde ağırlıkça % 0,4 oranında G nanopartikül takviyesini içeren KFTP kompozit malzemenin hasar yükü AFTP kompozit malzemenin hasar yüküne yaklaşmıştır.
3. Fiber takviyeli ve G/fiber takviyeli kompozitlerde çekme testi sonucu oluşan hasar yüzeyleri; AFTP ve G/AFTP kompozitlerde delaminasyon olarak diğer fiber ve G/fiber takviyeli kompozitlerde ise fiber çekmesi olarak gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Azmi, A.I., Lin, R.J.T. and Bhattacharyya, D., 2013, Machinability study of glass fibre-reinforced polymer composites during end milling, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(1–4), 247–261.
- Bian, J., Lin, H.L., He, F.X., Wang, L., Wei, X.W., Chang, I. T. and Sancaktar, E., 2013, Processing and assessment of high-performance poly(butylene terephthalate) nanocomposites reinforced with microwave exfoliated graphite oxide nanosheets, *European Polymer Journal*, 49(6), 1406–1423.
- Callister, W.D., 2007, Material Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc. 7th edition.
- Cano, M., Khan, U., Sainsbury, T., O'Neill, A., Wang, Z., McGovern, I.T., Maser, W.K., Benito, A.M. and Coleman, J.N., 2013, Improving the mechanical properties of graphene oxide based materials by covalent attachment of polymer chains, *Carbon*, 52, 363–371.
- Chang, K. K., 2001, Aramid fibers. Eds. Miracle, D.B. and Donaldson, S.L., Composites, *ASTM International*, Volume 21.
- Das, T. K. and Prusty, S., 2013, Graphene-based polymer composites and their applications, *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 52(4), 319–331.
- Davim, J.P. and Reis, P., 2005, Damage and dimensional precision on milling carbon fiber-reinforced plastics using design experiments, *Journal of Materials Processing Technology*, 160(2), 60–167.
- Davim, J. P., Reis, P. and António, C.C., 2004, A study on milling of glass fiber reinforced plastics manufactured by hand-lay up using statistical analysis (ANOVA), *Composite Structures*, 64 (3–4), 493–500.
- Davim, J. P., Reis, P. and António, C. C., 2004, Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up, *Composites Science and Technology*, 64(2), 289–297.
- Dehghan, M., Al-Mahaidi, R., Sbarski, I. and Gad, E., 2014, Effect of fabrication method on thermo-mechanical properties of an epoxy composite, *Journal of Adhesion*, 90(5–6), 368–383.
- Eneyew, E. D., 2014, Experimental study of damage and defect detection during drilling of CFRP Composites, p.496.
- Erkan, Ö. ve Işık, B., 2009, Cam elyaf takviyeli plastik kompozit malzemenin işlenmesiesnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye.
- Galpaya, D., Wang, M., Liu, M., Motta, N., Waclawik, E. and Yan, C., 2012, Recent Advances in Fabrication and Characterization of Graphene-Polymer

- Nanocomposites, *Graphene*, 1(2), 30–49.
- Giasin, K. and Ayvar-Soberanis, S., 2017, An Investigation of burrs, chip formation, hole size, circularity and delamination during drilling operation of GLARE using ANOVA, *Composite Structures*, 159, 745–760.
- Gururaja, S. and Ramulu, M., 2010, Analytical formulation of subsurface stresses during orthogonal cutting of FRPs, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(9), 1164–1173.
- Green, K. J., 2007, Multiscale fiber reinforced composites using a carbon nanofiber/epoxy nanophased matrix: processing, properties, and thermomechanical behavior, *Submitted to the graduate faculty of the University of Alabama at Birmingham, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Masters of Science*.
- Hocheng, H., Puw, H. Y. and Huang, Y., 1993, Preliminary study on milling of unidirectional carbon fibre-reinforced plastics, *Composite Manufacturing*, 4(2), 103–108.
- Iyer, A. K., 2015, Characterization of Composite Dust generated during Milling of Uni-Directional and Random fiber composites, *Master of Science in Mechanical Engineering*, University of Washington.
- İnternet adresi 1: <http://www.kompozit.net/?urun-334-aramid-elyaf-kevlar-fiber> [Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2017].
- İnternet adresi 2: <http://1.bp.blogspot.com/-ufRvnxHv3wk/U1PuvjZrHHI/AAAAAAAAAQno/bk4SeUQ-xoM/s1600/kerpic.jpg> [Ziyaret Tarihi: 19 Şubat 2018].
- İnternet adresi 3: <https://umitkirenci.files.wordpress.com/2011/06/composite-3.jpg> [Ziyaret Tarihi: 19 Şubat 2018].
- İnternet adresi 4: <http://tr.procotex.com/urunler/teknik-lifler/aramid.php> [Ziyaret Tarihi: 19 Şubat 2018].
- Jiang, T., Kuila, T., Kim, N.H., Ku, B.C. and Lee, J.H., 2013, Enhanced mechanical properties of silanized silica nanoparticle attached graphene oxide/epoxy composites, *Composites Science and Technology*, 79, 115–125.
- Kilickap, E., 2011, Analysis and modeling of delamination factor in drilling glass fiber reinforced plastic using response surface methodology, *Journal of Composite Materials*, 45(6), 727–736.
- Kuilla, T., Bhadra, S., Yao, D., Kim, N. H., Bose, S. and Lee, J.H., 2010, Recent advances in graphene based polymer composites, *Progress in Polymer Science*, 35(11), 1350–1375.
- Liu, D., Bian, Q., Li, Y., Wang, Y., Xiang, A. and Tian, H., 2016, Effect of oxidation

- degrees of graphene oxide on the structure and properties of poly (vinyl alcohol) composite films, *Composites Science and Technology*, 129, 146–152.
- Mahmoud, W.E., 2011, Morphology and physical properties of poly(ethylene oxide) loaded graphene nanocomposites prepared by two different techniques, *European Polymer Journal*, 47(8), 1534–1540.
- Mazumdar, S.K., 2002, *Composites manufacturing-materials: Product and Process Engineering*, CRC PRESS.
- Miller, J.L., 2014, Investigation of Machinability and Dust Emissions in Edge Trimming of Laminated Carbon Fiber Composites, *A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy*, University of Washington.
- Mittal, G., Dhand, V., Rhee, K. Y., Park, S.-J. and Lee, W.R., 2015, A review on carbon nanotubes and graphene as fillers in reinforced polymer nanocomposites, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 11–25.
- Montesano, J., Bougherara, H. and Fawaz, Z., 2017, Influence of drilling and abrasive water jet induced damage on the performance of carbon fabric/epoxy plates with holes, *Composite Structures*, 163, 257–266.
- Persson, E., Eriksson, I. and Zackrisson, L., 1997, Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(2), 141–151.
- Potts, J.R., Dreyer, D.R., Bielawski, C.W. and Ruoff, R. S., 2011, Graphene-based polymer nanocomposites, *Polymer*, 52(1), 5–25.
- Sainsbury, T., Gnaniah, S., Spencer, S.J., Mignuzzi, S., Belsey, N.A., Paton, K. R. and Satti, A., 2017, Extreme mechanical reinforcement in graphene oxide based thin-film nanocomposites via covalently tailored nanofiller matrix compatibilization, *Carbon*, 114, 367–376.
- Shah, R., Kausar, A., Muhammad, B. and Shah, S., 2015, Progression from Graphene and Graphene Oxide to High Performance Polymer-Based Nanocomposite: A Review, *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 54(2), 173–183.
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I. and Seal, S., 2011, Graphene based materials: Past, present and future, *Progress in Materials Science*, 56(8), 1178–1271.
- Srinivasan, T., Palanikumar, K., Rajagopal, K. and Latha, B., 2017, Optimization of delamination factor in drilling GFR–polypropylene composites, *Materials and Manufacturing Processes*, 32(2), 226–233.
- Stankovich, S., Dikin, D.A., Dommett, G.H.B., Kohlhaas, K.M., Zimney, E.J., Stach, E.A., Piner, R.D., Nguyen, S. T. and Ruoff, R.S., 2006, Graphene-based composite materials, *Nature*, 442(7100), 282–286.

- Şahin, Y., 2006, Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Tang, L.C., Wan, Y.J., Yan, D., Pei, Y.B., Zhao, L., Li, Y.B., Wu, L. Bin, Jiang, J.X. and Lai, G.Q., 2013, The effect of graphene dispersion on the mechanical properties of graphene/epoxy composites, *Carbon*, 60, 16–27.
- Wallenberger, F.T., Watson, W. C. and Li, H., 2001, Glass fibers, Eds. Miracle, D.B. and Donaldson, S.L., Composites, *ASTM International*, Volume 21.
- Walsh, P.J., 2001, Carbon fibers, Eds. Miracle, D.B. and Donaldson, S.L., Composites, *ASTM International*, Volume 21.
- Wan, Y.J., Tang, L.C., Gong, L.X., Yan, D., Li, Y.B., Wu, L. Bin, Jiang, J. X. and Lai, G.Q., 2014, Grafting of epoxy chains onto graphene oxide for epoxy composites with improved mechanical and thermal properties, *Carbon*, 69, 467–480.
- Wang, P., Yang, J., Liu, W., Tang, X. Z., Zhao, K., Lu, X. and Xu, S., 2017, Tunable crack propagation behavior in carbon fiber reinforced plastic laminates with polydopamine and graphene oxide treated fibers, *Materials and Design*, 113, 68–75.
- Yoon, J.H., Shanmugharaj, A.M., Choi, W.S. and Ryu, S. H., 2011, Preparation and characterization of polypropylene/functionalized graphene nanocomposites, *18TH International Conference on Composite Materials (ICCM'18)*. In Jeju Island, Korea.
- Yuan, B.H., Bao, C.L., Song, L., Hong, N.N., Liew, K. M. and Hu, Y., 2014, Preparation of functionalized graphene oxide/polypropylene nanocomposite with significantly improved thermal stability and studies on the crystallization behavior and mechanical properties, *Chemical Engineering Journal*, 237, 411–420.
- Zarif Karimi, N., Heidary, H., Fotouhi, M. and Minak, G., 2017, Experimental analysis of GFRP laminates subjected to compression after drilling, *Composite Structures*, 169, 144–152.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tuba BAĞATIR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman/02.03.1990
Telefon : 05079968806
Faks : -
e-mail : tubaelma@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Lisesi, Batman	2007
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Batman	2013
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	-
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	Tüpraş-Batman Rafineri	Şantiye Şefi

UZMANLIK ALANI: Konstrüksiyon ve İmalat

YABANCI DİLLER: İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR*

Topkaya, T., Çelik, Y.H., Bağatır T., Özek, C., (2018), Kompozit matris malzemelerinin mekanik özelliklerinin grafen takviyesi ile iyileştirilmesi. *IETS 2018, Batman 3-5 2018*, 177-180.