

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANO-PARÇACIK TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Ayşegül Cansu SADIK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANO-PARÇACIK TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF NANO-PARTICLE
REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

YÜKSEK LİSANS

Ayşegül Cansu SADIK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**NANO-PARÇACIK TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF NANO-PARTICLE
REINFORCED POLYMER COMPOSITES**

YÜKSEK LİSANS

Ayşegül Cansu SADIK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Nano-Parçacık Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğum intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

21/06/2023

.....
Ayşegül Cansu SADIK

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın hazırlanması sırasında desteğini, engin tecrübelerini ve değerli vaktini benimle paylaőan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Filiz KARABUDAK'a ve fikirleri ve önerileri ile çalıőmamın gelişimine katkıda bulunan Dr. Öğr. Üyesi Volkan ACAR' a, tez çalışmam sırasında malzemelerimin kesiminde yardımcı olan Gümüşhane Endüstri Meslek Lisesi öğretmenlerine, bu süreçte beni yalnız bırakmayan ve motivasyonumu kaybettiğim zamanlarda bana güç veren Ensar Mesut ÖZGÜN'e, yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini ve yardımını esirgemeyen Abdulsamet KELEŐ, Ali SADIK, Ayőe GÜNDÜZ, Fatih Emre Yılmaz arkadaşlarıma ve tüm arkadaşlarıma ve son olarak gösterdikleri anlayıő, sabır ve destekten dolayı, annem Nevin SADIK' a babam AbdulKasım SADIK'a ablam Nursel Filiz SADIK'a erkek kardeőim Umut Sedat SADIK' a ve özellikle kız kardeőim Özge SADIK' a teşekkür ederim.

Ayşegül Cansu SADIK
GÜMÜŞHANE – 2023

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte nano ölçekte işlenen malzemeler havacılık, uzay, otomotiv ve savunma gibi sektörlerde aranan hafiflik, dayanım gibi mekanik özelliklerin geliştirilmesiyle yakından ilgilidir. Bu doğrultuda kompozit malzemelere nano boyutta dolgu malzemelerinin ilavesi, dayanım ve mekanik özelliklerinin gelişmesinde etkili olacaktır. Aynı zamanda ticari anlamda daha düşük maliyet avantajı sağlayacaktır.

Bu çalışmada; el yatırma yöntemiyle cam ve aramid elyaf kumaşlar kullanılarak DTE 1200 epoksi reçine/ DTS 1151 sertleştirici polimerik sistemine silisyum dioksit (SiO_2), grafen, gümüş (Ag) ve seryum oksit (CeO_2) nano parçacıkları ayrı ayrı ilave edilerek üretilen kompozitlerin çekme ve üç nokta eğme analizleri doğrultusunda nano-parçacık takviyesinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

Sonuç olarak; katmanlı cam ve aramid elyaf kompozit malzemelere eklenen nano partikül malzemelerine göre mukavemet değeri belirlenmiştir. Nanopartikül katkısının çekme mukavemetine en yüksek katkısı %16 (298,74 MPa) artış oranı ile Ag takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. Benzer şekilde, CeO_2 takviyeli kompozitlerde de %4.8'lik (269,92) bir artış gözlenmiştir. Eğme mukavemetine ise en yüksek katkısı %67,3 (294,18 MPa) artış oranı ile nano Ag takviyeli kompozitlerde gözlenmiştir. SiO_2 de ise % 65 (290,12) oranında benzer artışlar meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Grafen, Kompozit, Nano-parçacık, Seryum, Silisyum

SUMMARY

With the developing technology, materials processed at nanoscale are closely related to the development of mechanical properties such as lightness and strength, which are sought in sectors such as aviation, space, automotive and defense. In this direction, the addition of nano-sized fillers to composite materials will be effective in improving their strength and mechanical properties. At the same time, it will provide a lower cost advantage in the commercial sense.

In this study; Tensile and three-point bending of the composites produced by adding silicon dioxide (SiO_2), graphene, silver (Ag) and cerium oxide (CeO_2) nanoparticles separately to the DTE 1200 epoxy resin / DTS 1151 hardener polymeric system using glass and aramid fiber fabrics by hand lay-up method. In accordance with the analysis, the effect of nano-particle reinforcement on mechanical properties was investigated.

In conclusion; The strength value was determined according to the nanoparticle materials added to the layered glass and aramid fiber composite materials. The highest contribution of nanoparticle additive to tensile strength occurred in Ag reinforced composites with an increase rate of 16% (298.74 MPa). Similarly, an increase of 4.8% (269.92) was observed in CeO_2 reinforced composites. The highest contribution to flexural strength was observed in nano Ag reinforced composites with an increase rate of 67.3% (294.18 MPa). Similar increases occurred in SiO_2 at the rate of 65% (290.12).

Keywords: Cerium, Composite, Graphene, Nanoparticle, Silicon

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLOLAR DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1.Kompozit Malzemeler.....	5
2.2.Kompozit Malzemelerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri	5
2.3.Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	5
2.4.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	5
2.4.1.Metal matrisli kompozitler	6
2.4.2.Seramik matrisli kompozitler.....	6
2.4.3.Polimer matrisli kompozitler	6
2.4.4.Elyaflı Kompozitler	6
2.4.4.1.Cam elyaf	10
2.4.4.2.Karbon elyafı	12
2.4.4.3.Aramid Elyaf.....	13
2.5.Polimer Matrisli Kompozitlerin Elemanları.....	13
2.5.1.1.Polyester Reçine.....	13
2.5.1.2.Vinilester Reçine	14
2.5.1.3.Epoksi reçine.....	14
2.5.2.Takviye elemanı.....	15
2.5.3.Dolgu Elemanı	16
2.6.Sürekli Elyafların Dokuma Çeşitleri.....	16
2.6.1.Düz (Plain).....	17
2.6.2.Çapraz (Twill).....	17
2.6.3.Saten (Satin).....	17
2.6.4.Sepet (Basket)	18

2.7.Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin İmalat Yöntemleri	18
2.7.1.Püskürtme Yöntemi.....	18
2.7.2.El İle yatırma yöntemi.....	19
2.7.3.Vakumlama yöntemi	19
2.7.4.Reçine transfer kalıplama yöntemi.....	20
2.7.5.Prepregler.....	21
2.8.Katkı/ Dolgu Malzemeleri.....	21
2.8.1.Silisyum Dioksit (SiO ₂).....	22
2.8.2.Seryum Oksit (CeO ₂)	23
2.8.3.Grafen	24
2.8.4.Gümüş (Ag)	25
3.MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1.Kompozit Plaka Üretimi.....	27
3.2.Deney Numunelerinin Oluşturulması	29
3.3.Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması.....	30
3.4.Deney Numunelerinin Eğme Testinin Yapılması.....	30
4.DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	31
4.1.Çekme Testi Bulguları	31
5.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	38
KAYNAKÇA	39
ÖZGEÇMİŞ.....	49

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Cam elyaf tür ve özellikleri (Tuncer, 2018)	11
Tablo 2. Cam elyaf türlerinin kompozisyonları (Polat, 2019).	11
Tablo 3. Cam elyaf türlerinin % ağırlık bileşenleri (Yalçın, 2012).....	11
Tablo 4. Kompozit ve metallerin mekanik özellikleri (Yalçın, 2012).....	12
Tablo 5. Karbon elyafların mekanik özellikleri (Yalçın, 2012)	13
Tablo 6. Bazı aramid elyafların mekanik özellikleri (Nair vd., 2020).....	14
Tablo 7. Kullanılan nano parçacıkların teknik özellikleri.....	28



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Karbon elyaf (Enişi, 2008).	12
Şekil 2. Termoset reçinelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması (Chemicals, 2016).	15
Şekil 3. Kompozitlerin matris elemanlarına göre sınıflandırılması (Ömercikoğlu, 2009)	15
Şekil 4. Piyasada sıkça kullanılan dokuma çeşitleri (Dhaliwal ve Newaz, 2018).....	17
Şekil 5. Püskürtme yöntemi (Shukla, 2023).....	18
Şekil 6. El ile Yatırma Yöntemi (Srinivasarao, 2014).	19
Şekil 7. Vakumlama yöntemi (Chyuan, 2005).	20
Şekil 8. Reçine transfer kalıplama yöntemi (Almagro Coll, 2014).	21
Şekil 9. Silisyum Dioksit (Silika, SiO ₂) Nano tozu	23
Şekil 10. Seryum Oksit (CeO ₂) Nano tozu.....	24
Şekil 11. Karbon esaslı malzemeler (Kim, 2004).	24
Şekil 12. Grafen nano tozu	25
Şekil 13. Ag nano tozu	26
Şekil 14. Cam elyaf ve aramid elyaf kumaş ruloları.....	27
Şekil 15. Nano parçacık takviyeli reçine/sertleştirici polimerik sisteminin hazırlanışı 1-Grafen katkısı, 2-Seryum oksit katkısı, 3-Silisyum dioksit katkısı, 4-Kontrol grubu 5-Gümüş katkısı	28
Şekil 16. Fırçalama işlemi ve elyaf yatırma	28
Şekil 17. Kompozit plakaların çapaklardan temizlenme işlemi	29
Şekil 18. Kompozit plakaların kesimi ve sınıflandırılması	29
Şekil 19. Çekme test cihazı	30
Şekil 20. Eğme test cihazı	30
Şekil 21. Grafen, kontrol grubu, SiO ₂ , gümüş ve seryum oksit ilave nano partikül katkılı kompozitlerin çekme deneyi numuneleri hasar görüntüleri	31
Şekil 22. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri	32
Şekil 23. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama elastisite modülleri.....	33
Şekil 24. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri	33

Şekil 25. Grafen, Silisyum dioksit (SiO_2), gümüş (Ag) ve seryum oksit (CeO_2) ilave nano partikül katkılı kompozitlerin eğme deneyi numunelerinin ön ve yan hasar görüntüsü.....	34
Şekil 26. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri.....	35
Şekil 27. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülleri.....	36
Şekil 28. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin temsili kuvvet (N) ve yer değiştirme (mm) eğrileri.....	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
AE	: Aramid/epoksi
CE	: Cam/epoksi
E	: Epoksi
MÖ	: Milattan önce
Ag	: Gümüş
CeO ₂	: Seryum Oksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit (Silika)
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Fiberglas	: Cam Elyaf
Al	: Alüminyum
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
Si	: Silisyum
O	: Oksijen
P	: Fosfor
Na	: Sodyum
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
B	: Bor
PPP	: Poly Pera Phenyleneterepitherlamide
Ar.	: Aramid
Lif	: Elyaf
UV	: Ultraviyole

1. GİRİŞ

Kompozitlerin kullanımı eski çağlara kadar dayansa da endüstriyel kullanımı 1940'lı yılların başında başlamıştır (Jagadeesh vd., 2017). Yapıların kırılmasını önlemek için insanlar bitki veya hayvan liflerini kullanarak kırılmasını önlemeyi başardılar. Geçmiş yıllarda kompozitlerde kerpiç kullanımı ve bir de kil çamuruna saman katılarak mukavemet artırma ilkel yöntemleri denemiştir (Shalchian ve Arabani, 2023)

Geçmişe bakıldığında, elyaf kullanımı yeni bir olgu değildir. MÖ 17. 19. yüzyıl Mısır'ında lif yapımında uygulandığı görülmektedir (Nagavally, 2017). Teknolojinin gelişimi göz önünde bulundurulduğunda kompozitlerin savunma sanayinde ilk üretimi 1940 (cam takviyeli plastikler) ve 1950 (uçak pervaneleri) yılında yapılmış ve günümüze kadar inanılmaz bir ilerleme kat etmiştir (Eryıldız ve Eker, 2015).

Malzeme bilimi günümüzde kimyasallar, polimerler, metaller, organik bileşikler, vb. alt disiplinlere ayrılmıştır (Batten vd., 2012). Kompozit malzemeler bu sektörlerin yanı sıra günümüzde pek çok uygulama sahasında olup uçak, otomotiv ve giyim sanayi vb. mühim sektörlerde ortaya çıkmış ve sektöre özgü alanlarda bu gelişimde önemli rol almıştır. Kompozit malzemeler genellikle mekanik, fiziksel özelliklerine göre minimum iki değişik malzemenin birleşmesi ile oluşan çok güçlü malzemelerdir (Eryıldız ve Eker, 2015).

Kompozitler, yüksek dayanım özelliklerine sahip olan ve lifleri bir arada tutan iki temel malzemedir yani liflerin yapısı ve yapının dayanım özelliklerini sağlayan matris malzemesinden oluşur (Masuelli, 2013). Güçlü özellikleri sayesinde fiziksel ve kimyasal ortama rağmen dış etkenlere dayanabilen bir sistem sağlar (Ulçay vd., 2002).

Kompozitler için matris malzemesi olarak metal alaşımları kullanılabilir (Chawla ve Chawla, 1998). Kompozitlerin metallere kıyasla en güzel yanlarından biri, malzemedir tasarruf etmeleri ve ağırlığı azaltmalarıdır (Mrazova, 2013). Kompozit malzemeler birlikte metal, cam, seramik ve polimerler gibi dört ana grup olarak ele alınabilir (Chawla, 2012). Matris malzemelerin kompozit malzemedir önemli özelliklerinden biri lifleri birlikte tutması, eşit olarak yükleri dağıtması, lifleri dışarıdan gelebilecek etkilerden korumasıdır (Ramesh vd., 2022)

Uygulamaya ve istenen özelliklere bağlı olarak matris malzemeleri metalik, seramik, polimerik olabilir. Polimer matris içeren kompozitlere PMK denir (Paladugu,

vd., 2022). Pekiştirme aşamasına bakılırsa lifsiz veya liflidir. Bitkisel veya hayvansal lifler kullanıldığında bunlara naturel lifler denir (Sanjay ve Yogesha, 2017). Doğal lifler biyolojik olarak parçalanabilir oldukları için tercih edilebilir (Aida vd., 2021). Kompozitlerin bilinen en önemli özellikleri özgül dayanım (güç/yoğunluk oranı), yüksek modüldür (Gururaja ve Rao, 2012). Ek olarak aramid kompozitler, cam elyafı düşük emisyonları ve sera gazı etkilerini en aza indiren, yenilenemeyen enerjiye ve doğada bulunan malzemelere bağımlılığı azaltan enerji geri kazanımı ve biyolojik bozunma gibi çevresel faydalar sağlamaktadır (Ramli vd., 2018).

Lee vd., (1999), ifade ettiği üzere kompozit malzemelerin, %10, 20 ve 30 oranında elyaf içeriğine sahip cam lif / polipropilen eğme ve çekme dayanımlarını incelemişler, çekme ve eğilme modülünün, artan lif içeriği ile doğrusal bir artış gösterdiğini bulmuşlardır. Artan cam elyaf içeriği ile cam elyaf keçe/PP kompozitin gerilme ve eğilme modülünde doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, optimumdan daha yüksek bir cam elyaf hacim fraksiyonunun, daha yüksek gözenek içeriği nedeniyle elyaf takviyesinin etkinliğini zayıflattığını bulmuşlardır.

Mingyan vd., (2004), ifade ettiği gibi poliimid/ inorganik nano-partikül matris reçinesinin sol-jel tekniği ile sentezlenmesi, ardından bir sileks cam plaka üzerinde döndürülmesi ve yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla bir tür nano katkı poliamid kompozit film yapılmıştır. Poliamid asit solüsyonunda yerinde inorganik parçanın bir öncüsü olarak metil-trietoksisilandan türetilen inorganik parçacığın boyutunun koronaya dirençli özellik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Organik ve inorganik fazlar arasındaki karışabilirlik ve bunun korona-dirençli özellik üzerindeki etkisi, poliimid kompozit sisteme eklenen bir bağlayıcı ajan olarak görev yapan aminopropiltrioksisilan ile incelenmiştir. Filmin kimyasal yapısı ve yüzey morfolojisi sırasıyla FTIR ve AFM ile karakterize edildi. Dayanıklı özellik, çubuk-plaka elektrot ile test edildi. İnorganik partikül boyutunun artmasıyla koronaya dayanıklılık özelliğinin arttığını ve 100 ile 500 nm aralığındaki boyut ile mükemmel sonuç aldığını kanıtladı.

Xin vd., (2016), ifade ettiği üzere yalıtım ve ısı iletkenlik performansları, yüksek gerilim kablolarının gelişimini üst düzeyde sınırlayan iki önemli faktördür. Nano SiO₂ ve nano Al₂O₃ katkı düşük yoğunluklu polietilen kompozit malzemeler sırasıyla eriyik karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Örneklerin kesit yüzey morfolojisi alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu ile araştırılmıştır. Voltajın direnci, doğru akım (DC) voltajı altındaki korona deşarj özellikleri ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak termal iletkenlik incelenmiştir. Sonuçlar, nano boyutlu parçacıkların LDPE' deki dağılımının uniform olduğunu ve iki fazın uyumluluğunun iyi olduğunu gösterdi. Farklı oranlarda

katkılı nano boyutlu parçacıklara sahip tüm kompozitlerin DC kırılma gerilimi, saf LDPE' ye kıyasla ve ayrıca farklı sıcaklıklarda termal iletkenlik artar. Özellikle, SiO₂' nin kütle oranı % 2 ise, arıza gerilimi % 32 artar ve bu arada ısıl iletkenlik katsayısı sürekli olarak yükselir.

Sikora vd., (2021), ifade ettiği üzere silika nanopartiküller (SiO₂) veya nano silika (NS), geleneksel betonların modifikasyonunda kullanılan en popüler katkılardan biridir. Bu etki, çimento hidrasyon işlemi sırasında meydana gelen önemli kimyasal ve fiziksel etkileşimlerine atfedilir, örneğin: puzolanik aktivite, çekirdeklenme ve nano-doldurma etkisi, daha erken C-S-H fazı oluşumuna neden olur ve dolayısıyla tiksotropik üzerinde önemli bir etki sağlamıştır. Çalışmalarda kullanılan NS miktarı, çimento kütlelerine göre %0,5 ile %3 arasında değişmektedir. NS ilavesi topaklanma oranını artırır ve malzemenin inşa edilebilirliğini geliştirir, nanometrik ölçeği ve kimyasal yapısı nedeniyle malzemenin yapısal oluşumunu artırırken böylece, NS'nin kalınlaştırıcı bir malzeme olarak kullanılması için önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. NS'nin 3D yazdırılabilir Portland çimento macunlarında statik akma gerilimini ve tiksotropik birikme oranını artırmada son derece etkili olduğunu göstermiştir.

Literatür araştırmaları incelendiğinde; mukavemet artış değerinin kompozit malzemelere ilave edilen nano partikül tozlarına göre değiştiği görülmüştür.

Bu çalışmamızda; kompozit malzemelere nano parçacık ilavesinin çekme ve üç nokta eğme dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda farklı tanecik boyutlarına sahip 4 farklı nano toz kullanılmıştır. Grafen, gümüş, seryum oksit ve silisyum dioksit nano parçacıkları, ağırlıkça 79/21 oranında karıştırılarak hazırlanan DTE 1200 epoksi reçine DTS 1151 sertleştirici matris malzemesine ayrı ayrı ilave edilerek el yatırma yöntemiyle katmanlı cam ve aramid elyaf kumaş kullanılarak kompozit plakalar üretilmiştir.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Kompozit Malzemeler

Son 30 yılda, başta havacılık gibi sahalarda kompozit malzemeler seramik ve metal malzemelerin yerini almaya başlamıştır. Kompozit malzeme kullanım alanı ve sayısındaki artış, kompozit malzemeler üzerinde yapılan geliştirme araştırmalarının artmasına neden olmuştur (Oladele vd., 2020).

Kompozit malzemelere baktığımızda iki veya daha fazla parçadan oluşan bir malzemeyi ifade eder. Kompozit malzeme, "makroskopik ölçekte arayüzler boyunca daha fazla bileşenden oluşan bir veya birbirinden farklı iki malzeme" olarak tanımlanabilir (Tsai, 2018).

Kompozit malzemeyi meydana getiren bileşenler özelliklerini büyük ölçüde muhafaza ederler (Verma, vd., 2012). Tarih boyunca, binlerce yıl önce saman takviyeli kerpiç evler inşa etmek için kompozit malzemeler kullanılmıştır. Günümüzde geleneksel malzemelerin yetersiz kaldığı veya özelliklerinin iyileştirilmesi gereken durumlarda özel malzeme olarak kullanılmaktadır (Dil, 2016). 1930'larda ABD'de fiberglasın keşfiyle modern kompozit malzemeler üretilmeye başlamış ve fiberglas kompozitler (takviyeli) dünya pazarında kendine yer açmıştır (Sönmez, 2009).

2.2. Kompozit Malzemelerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

Çeşitli endüstriyel alanlarda kullanımı her geçen gün kompozit malzemelerin artmaktadır. Bunun temel nedeni, aşağıda verilen kompozitlerin çokça avantajlarının olmasıdır (Harris, 1999; Mazumdar, 2001; Mukhopadhyay, 2005; şahin ve Sayer, 2020).

- Yük oranı /Yüksek dayanıklılık
- Yüksek sertlik
- Uzun yorulma ömrü
- Fazla titreşim sönümlene özelliğı
- Çok fazla korozyon direnci
- Dielektrik direnci (yüksek)
- Termal genleşme katsayısı (düşük)
- Tasarım esnekliğı
- Azaltılmış parça sayısı

Kompozit malzemelerin tüm bu avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır (Harris, 1999; Thori vd.,2013).

- Hammadde maliyetleri ve üretim süreçleri
- Deneyimli işçi gereksinimleri
- Yerel stres konsantrasyonları
- İzotropik malzemenin aksine iki yerine dokuz malzeme özelliği ile temsil edilir.

2.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Bu bahsedilen kompozitlerin avantajlı özellikleri sayesinde, aşağıda anlatılan farklı sektörler genellikle çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Zou vd., 2000).

•Havacılıkta: helikopter ve uçakların gövdesinde, kanatlar ve rotorlar, iniş takımları (Mouritz, 2012),

•Savunma sanayiide: kurşun geçirmez paneller, havan mermileri göğüslerinde ve miğferlerinde (Scoalentt, 2006; Hada ve Kumar, 2019)..

•Denizcilik sektörü: yelkenli/motorlu tekneler, şamandıralar, kanolar, teknelerde ve sörf tahtalarında Selvaraju, ve Ilaiyavel, 2011; Sutherland, 2018),

•Otomotiv endüstrisi: kaporta, kamyon ve otobüs tarafı paneller, kamyon römork yan şeritleri (Sarfraz vd., 2021; Turayev vd., 2021),

•Kimya endüstrisi: borular ve bağlantı parçaları, asit tankları ve kaplamalar, işleme ekipmanları, endüstriyel platformlar ve korkuluk üzerinde (Thori vd., 2013),

•Termal sektör: güneş enerjisi sistemi ekipmanları, ısı yalıtım duvarları, soğutma kulelerinde ve havalandırma kanallarında (Kharbanda vd., 2021).

2.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitlerin anlamı, çoğu kez, farklılıklarının en iyilerini bir araya getirmek veya yenilerini yaratmak için makroskobik düzeyde çiftlerin veya çoklu malzemelerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir anizotropik malzeme sınıfı olarak tanıtır (Altenbach vd., 2004). Kompozitler iki ana elementten oluşur. Bunlar takviye ve bağlantı elemanlarıdır (Gerth vd.,2006). Takviye elemanlarının rolü malzemeyi mekanik özellikleri açısından zenginleştirir. Bağlantı elemanının rolü ise sertleştirme elemanının bütünlüğünü sağlamak, aktive etmek, saldırılardan gözetmektir. Bağlayıcı elemanlar çoğu veride matris elemanları olarak da adlandırılır (Jia vd., 2022; Schmidt vd., 2004; Ömercikoğlu, 2009).

Dokuma yapı oluşturmak için bu iki temel unsurun dışında bazı malzemeler ve dolgular kullanılır. Kompozitte kullanılan donatı, matris ve dolgu maddelerinin cinsine göre farklı tasarımlar mümkündür (Ömercikoğlu, 2009).

2.4.1. Metal matrisli kompozitler

Adından da anlaşılacağı gibi, metal matrisli kompozitler, bu tür metalleri matris elemanları olarak kullanır. Al veya Al alaşımları genellikle tercih edilen matris elemanları olup, bazı amaçlar için Mg ve Cu matrisleri de kullanılmaktadır (Balaji vd., 2015). Takviye elemanları olarak genellikle tercih edilen bazı elemanlar şunlardır: silisyum, karbür, bor veya grafit. MMK Otomotiv sektöründe adını çok sık duyduğunuz metal matrisli kompozitlerin tek dezavantajı duyduğunuz yüksek maliyettir (Rohatgi, 1993; Evans vd., 2003; Mortensen ve Llorca, 2010; Ömercikoğlu, 2009).

2.4.2. Seramik matrisli kompozitler

Bu malzemeler yüksek sıcaklıklara ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Ancak bu malzemeler, kırılma tokluğu gibi daha düşük mekanik özelliklere sahiptir (Luna vd., 2020). Seramik malzemelerde mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla bor nitrür ve silikon karbür gibi güçlendirici elementler kullanılarak mukavemet artırılır. Gelişmiş mekanik özelliklere, yüksek sıcaklık direncine sahiptir (Yoshida, 2010).

Bu kompozitler esas olarak yarış arabalarında ve uçaklarda fren balataları için kullanılır (Chawla ve Chawla 1987; Warren, 1991; Bansal ve Lamon 2014; Krenkel vd., 2002).

2.4.3. Polimer matrisli kompozitler

Buradaki önemli faktörler, diğer malzemelere göre kullanılan düşük maliyetli ve daha basit imalat sürecidir. Polimerik malzemeler, polimer matrisli kompozitlerde matris elemanları olarak kullanılır; karbon, cam ve aramid lifleri genelde kullanıma seçilen takviye elemanlarıdır. Bu çalışma içerisinde yapılan tüm çalışmalarda bu kompozitler tercih edilmiştir (Wang vd., 2011; Shalin, 2012; Ömercikoğlu, 2009).

2.4.4. Elyafli Kompozitler

Takviye aşamasının rolü yükü taşımaktır. Bu adım, %70-80'lik yükünün bir kısmını taşır. Kompozitlerin nihai mukavemeti, fiber tipinden ve kompozitlerin

oranından etkilenir (De Rosa vd., 2009). Yön ve dağılıma göre özellikler değişir. Liflerin ana yükü taşıyan kısmı uç bölgeleridir (Qing vd., 2023). İyi bir mukavemet elde etmek için kompozit malzemeyi yükle aynı yönde yönlendirmek gereklidir. Eğer liflere dik açılarda yük uygulanırsa istenilen mukavemet değerlerini vermeyecektir. Yük farklı yönlerden geliyorsa, katlanan liflere çeşitli açılarda yön verilmelidir. Böylelikle bu malzemenin lifleri üç ya da iki boyutlu olarak tercih edilir (Hyer, 2009; Dato, 2012; Tuncer, 2018)

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca lif türleri (Hearle, 2001; Masuelli, 2013; Tuncer, 2018);

- Cam elyaf
- Karbon elyaf (grafit)
- Aramid elyaf (aromatik poliamid).
- B lifleri
- Oksitlenmiş lifler
- Yüksek yoğunluklu polietilen elyaf
- Polyester elyaflar
- Elyaf seramik
- Bunlar doğal liflerdir.

2.4.4.1. Cam elyaf

Mısırlılar ve Fenikeliler tarihte ilk kez cam elyaf kullanmışlardır (Wallace-Dunlop, 1882). O zamanlar cam çubukların ısıtıldıktan sonra yumuşaması ve akması sonucu cam elyaflar elde edilmekteydi. Bu kapsam doğrulama amaçlıydı. Seramik gibi ürünleri bir arada sunuyordu. 1930-1940 yılları arasında günümüzde kullanılan cam elyafı geliştirilmiştir (Clauser, 1973; Lubin, 2013).

Elyaf takviyeliler arasında, cam elyafı en yaygın ve en iyi bilinen olanıdır (Reinhart, 1998). Cam elyaf özel olarak hazırlanır, ergimiş cam altında ufak delikler bulunan bir fırından gönderilir. Böylece ince lifler oluşturulur. Bu lifler üşütülür ve daha sonra ham madde açığa çıkar (Guo vd., 2022).

Tablo 1, kimyasal bileşimleri ve özellikleri ile farklı cam elyafı türlerini göstermektedir.

Tablo 1. Cam elyaf tür ve özellikleri (Tuncer, 2018)

A-Camı	Yüksek alkali oranı-Düşük maliyet
C-Camı	Kimyasal dayanım
E-Camı	Elektriksel özellikler
L-Camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-Camı	Yüksek elastik modül
S-2 Camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 Camı	Paneller için yarı şeffaf
AR- Camı	Alkali dayanım
R- Camı	Yüksek çekme dayanımı

Cam elyaf çeşitlerinin kompozisyonları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Cam elyaf türlerinin kompozisyonları (Polat, 2019).

	A	C	E	R	S
SiO ₂	72.0	64.6	52.4	60.0	64.4
Al ₂ O ₃	1.5	4.1	14.4	25.0	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	9.0	-
MgO	2.5	3.3	4.6	6.0	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	-	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-	-
BaO	-	0.9	-	-	-

E tipi cam elyaf, kompozit malzemeleri güçlendirmek için kullanılan en önemli malzemelerden biridir. E tipi cam elyafı (E-cam) neme, ısıya, kimyasallara karşı dayanıklılığı ve yüksek çekme mukavemeti nedeniyle oldukça popülerdir (Bilisik, 2017). Termal genişleme değeri düşük e-cam, büyük elektriksel özelliklere sahiptir. E-cam takviyeli kompozitlerin mukavemeti, elastisite modülü, çap-uzunluk oranına, elyaf yönüne, elyaf hacmine bağlıdır. Fiberglas uygulamalarına bağlı olarak, farklı tipte elyaf demetleri vardır, bir demetteki elyaf sayısı ve elyafın çapı değişebilir (Assarar vd., 2011; Erden ve Ho, 2017).

Tablo 3. Cam elyaf türlerinin % ağırlık bileşenleri (Yalçın, 2012)

Bileşen	E-cam(%)	C-cam(%)	S-cam(%)
SiO ₂	52.4	64.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	14.4	4.1	25.0
CaO	17.2	13.4	-
MgO	4.6	3.3	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	0.8	9.6	0.3
B ₂ O ₃	10.6	4.7	-

Cam elyafın çekme mukavemeti çeliğe göre çok yüksek olmasına karşın ısı mukavemeti çeliğe göre düşüktür (Ertekin, 2017). Karbon fiber, S-cam, E-cam,

alüminyum, titanyum ve çeliğin çekme mukavemeti, elastisite modülü, yoğunluk sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

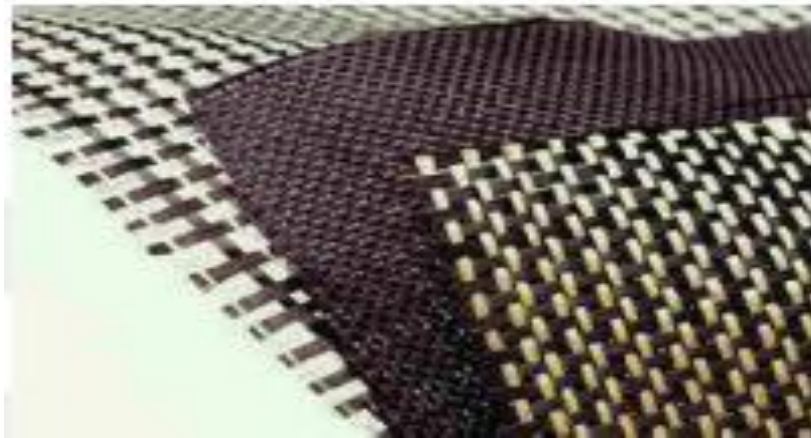
Tablo 4. Kompozit ve metallerin mekanik özellikleri (Yalçın, 2012)

	Epoksi/ S-Cam Elyaf	Epoksi/ S-Cam Elyaf	Epoksi/ S-Cam Elyaf	Alüminyum (7075T6)	Titanyum (6Al-4V)	Çelik (4130)
Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	1751	1103	1482	572	1103	1300
Elastiklik Modülü [GPa]	59	52	145	69	114	207
Yoğunluk [g/cm ³]	1.99	1.99	1.55	2.76	4.43	8.01

2.4.4.2. Karbon elyafı

Organik karbon içeren malzemeler olan siyah renkli karbon lifleri (bk. Şekil 1), kontrollü yakma ve karbonizasyon ile üretilir. Farklı sıcaklıklarda ısıl işlem, farklı mekanik yapılaraya sahip karbon lifleri ile sonuçlanır. Maliyetleri diğer liflere oranla fazlaca yüksek olan karbon lifleri aşırı yüksek çekme mukavemetine, elastikliğe sahiptir (Baker vd., 2012).

Karbon liflerinin yanı sıra yaşlanma ve yorulma faktörleri açısından diğer liflere göre daha spesifiklerdir. Bununla birlikte, karbon fiberin darbe dayanımı diğerlerinden daha düşüktür (García-Moreno vd., 2019). Karbon elyafın ortalama yoğunluğu 1800 kg/m³ olarak verilmektedir. Yüksek maliyetine rağmen, tavsiye edilme olasılığı daha yüksektir (Ekinci vd., 2022; Yaman vd., 2007).



Şekil 1. Karbon elyaf (Eniş, 2008).

Karbon fiber, dayanıklılık, akıcılık, yüksek direnci ve küçük yoğunluk vs. özellikleriyle bilinir. Bu malzemeler çoğunlukla matris olarak epoksi reçineler ve alüminyum ve magnezyum gibi metal matrislerle birlikte kullanılır (Mahmud vd.,2021; Öztürk, 2015). Bu elyaf türüne özgü mekanik özellikler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Karbon elyafların mekanik özellikleri (Yalçın, 2012)

Ürün Kodu	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Eastiklik Modülü [GPa]	Yoğunluk [g/cm ²]
T300 3K	3650	231	1.76
T650/35 3K	4550	241	1.77
Thornel P25	1400	160	1.90
Thornel P75	930	320	1.70

2.4.4.3. Aramid Elyaf

İlk doğal elyaf türü aramidin türevi naylondur. Elyaf ve naylon türlerine göre bakıldığında yüksek modüle ve mukavemete sahiptir. Liflerin ısıya dayanıklı ve sağlam yapısına benzerdir. Bu polimerlerin yapılışında moleküler örgü yapısının bağları aromatik halkardan oluşur. Para Aramidler, Meta Aramidler olarak konumlandırılan, genellikle tercih edilen aramid çeşidi para-aramidlerdir (Ertekin, 2017).

Aramid lifin özellikleri;

- 1.Aramid elyaflar mukavemetlidir.
- 2.Sıcaklıklara dayanabilir.
- 3.Aşınmaya, kesilmeye oldukça dirençlidirler.
- 4.Asit etkisiyle mizacı bozulur.
- 5.Elyaf ve kumaş şeklinde kesmek, katlamak ve işlemek zordur.
- 6.Nem tutmaya yapısı uygundur.

Aramid'in kimyasal durumu "Poly Para Phenylene terephthalamide" dir. Belirtilen metaaramidler yüksek sıcaklıklara dayandığından, örneğin koruyucu giysilerde, termal ve elektrik malzemelerinde kullanılırlar. İkincisi Para-aramidler ise mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı geniş bir ürün yelpazesine sahiptirler. Araba lastiklerinde paramitler bulundu. Sonuç, çelik teller yerine başka bir malzeme kullanma talebidir. Dupont adında biri tarafından keşfedildiği öne sürüldü. Bu ürün ilk para aramid elyafına koyulan isim Kevlar olarak bilinmektedir. Daha sonrasında Dünyada moneramidin ikinci kaşifi Japon Teijin' dir (Çiçek, 2019).

Para-aramid, çeşitli pazar alanlarında kullanılmak üzere üretilmektedir.

Türevlerinden çok yaygın olan;

1. Kevlar 29
2. (Teijin) Technora
3. (Dupont) Kevlar 49
4. Twaron

Sert ve hafif olmasıyla birlikte, aramid lifleri cam elyafından sonra ikinci sıradadır. Maliyeti az liflerden biridir. Genellikle Kevlar olarak isimlendirilir. Mukavemet, nem direnci çok düşüktür (Ertekin, 2017). Bu nedenle kömür liflerin yüksek basınç dayanımı nedeniyle, kompozit malzemeler havacılıkta önemli bir rol oynamaktadır. Bazı aramid elyafların mekanik özellikleri aşağıdaki (bk. Tablo 6) gibidir.

Tablo 6. Bazı aramid elyafların mekanik özellikleri (Nair vd., 2020)

	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Eastiklik Modülü [GPa]	Uzama [%]	Yoğunluk [g/cm ²]
Kevlar 29	2920	70	3.6	1.44
Kevlar 49	3000	112	2.4	1.44
Kevlar 149	3450	179	2	1.47

Bu dört elyaf türünden ilk ikisi kurşun geçirmez malzeme yapmak için kullanılır. son ikisi ise birkaç kompozit malzeme yapmak için kullanılır. Aramidler yüksek bir erime noktasına (530 °C) sahiptir ayrıca yüksektir. Sıcak bir kararlılığa sahiptirler. Camın geçiş sıcaklığı 375 °C'den yüksektir, sıcaklık 640°C olduğunda, mukavemetleri tamamen yok olur. Isı yükseldiğinde negatif genleşme yaratırlar (Ertekin, 2017)..

Kevlar XP ve Heracron, Kevlar 129, Kevlar 149, Kevlar 100, Kevlar 159, Kevlar 119 tarafından farklı alanda faydalanmak üzere geliştirilmiş. Çoğu para-aramid kullanan kompozitlerde en çok tercih edilen fenolik, vinil ester ve matrisler epoksi reçinelerdir. Lifler genellikle yüksek çekme dayanıklılığına sahip ürünlerdir, fakat cam elyaflar, aramid elyaflardan daha fazla bir yoğunluğa sahiptir. Ayrıca daha yüksek bir çekme mukavemetine sahiptirler (Torki, 2012).

Deneylerde kullanılan aramid türü Kevlar 49 (Dupont) ve muadili, hafifliğin çok önemli olduğu para-aramid elyaflardan dokunmuş, yüksek Kaplamasız aramid fiber, yüksek kaliteli kompozit parçalar yapmak için kullanılır bez Diğer türlere kıyasla uygun fiyata büyük cazibe esneklik gösterir. Sürtünme, yüksek darbe, yüksek sıcaklıklar ve kırılmaya karşı çok dayanıklıdır. Kuru koşullarda UV direnci düşük, uzun süreli neme duyarlıdır. Bu sebeple karanlık ve kuru ortamda korunmalıdır (Çiçek, 2019).

2.5. Polimer Matrisli Kompozitlerin Elemanları

Kompozit donatı ve matris elemanı olarak iki gövde elemanı ve ilave bir yardımcı dolgu elemanından oluşur (Ömercikoğlu, 2009).

2.1.1. Matris Elemanı

Matris elemanı birincil eleman olmasına rağmen, takviye elemanının bölümü, kompozit üzerine bir ağırlık etki ettiğinde takviye elemanı ile etkileşime girer ve takviye elemanını aşınma ve kimyasal saldırıdan korumaya hizmet eder (Hollaway, 2011).

Yüksek kaliteli bir matris elemanı, yüksek yapışma özelliklerine sahip olmalı ve çevresel etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Bu matris malzemeleri düşük mekanik özelliklere sahiptir ve genellikle serttir ve dış etkilere karşı daha az hassas olan kırılğan malzemeler gibi davranır. PMK' de ise termoplastikler, termosetler ve matris elemanları olmak üzere iki şekilde bilinmektedir (Ömercikoğlu, 2009).

Düşük sıcaklıklarda güçlü ve sert görünen termoplastikler, fakat çok fazla ısıda yumuşama belirtileri gösterirler. İşlem görmüş termoplastikler, ısıya tekrar maruz kaldığında deforme olmuş bir durum oluşur (Hollaway, 2011). Geri dönüştürülmüş termosetler, termoplastiklere göre daha kısa hizmet ömrüne ve düşük kırılma tokluğuna sahiptir. Ancak yararlı tüm özelliklerine sahip olmasına rağmen, kalıplama çok sıcaklık gereklilikleri ve maliyeti nedeniyle genellikle kompozitlerin imalatı sırasında tercih edilirler. Yüksek çekme ve eğilme mukavemeti, termosetleri yüksek mukavemet gerektiren havacılık malzemeleri için uygun hale getirir. Geri dönüştürülebilir olması nedeniyle otomotiv endüstrisinde de kullanılmaktadır (Ömercikoğlu, 2009).

Termosetler, polimer matrisli kompozitlerin yapımında termoplastiklerden daha yaygın olarak bulunur. Oda sıcaklığında sıvı olan ısıyla sertleşen plastiklere reçineler de denir. Termoset artıkları, sertleştiricilerin veya tabakların ek etkisiyle karıştırılarak kimyasal reaksiyonla sertleşir ve katılaşır (Hollaway, 2011). Kimyasal reaksiyon muhafaza ortamının sıcaklığı, termoset yapıların mekanik özelliklerini ve reaksiyon süresini etkiler. Termoplastiklerin aksine, termosetler yüksek sıcaklıklarda yumuşamazlar ve yeniden kalıplanamazlar. Ancak termosetler, ucuz ve kullanımlarının kolay olması nedeniyle değerlidir (Amin vd., 2011).

2.5.1.1. Polyester Reçine

Polyester reçine en ucuz ısıyla sertleşen reçinedir. Ayrıca kullanım kolaylığı ve sıvı direnci sayesinde inşaat ve denizcilik uygulamalarında sürekli olarak kullanılmaktadır. Bu reçineler, kimyasal reaksiyonlara girmek için katalizörler ve

hızlandırıcılar gerektirir. Polyester reçinelerin olumsuz etkileri, örneğin kimyasal reaksiyonlar sırasında çekme, kısa raf ömrü ve vinilesterler ve epoksilere kıyasla mekanik değerlerin azalmasıdır (Tuncer, 2018).

2.5.1.2. Vinilester Reçine

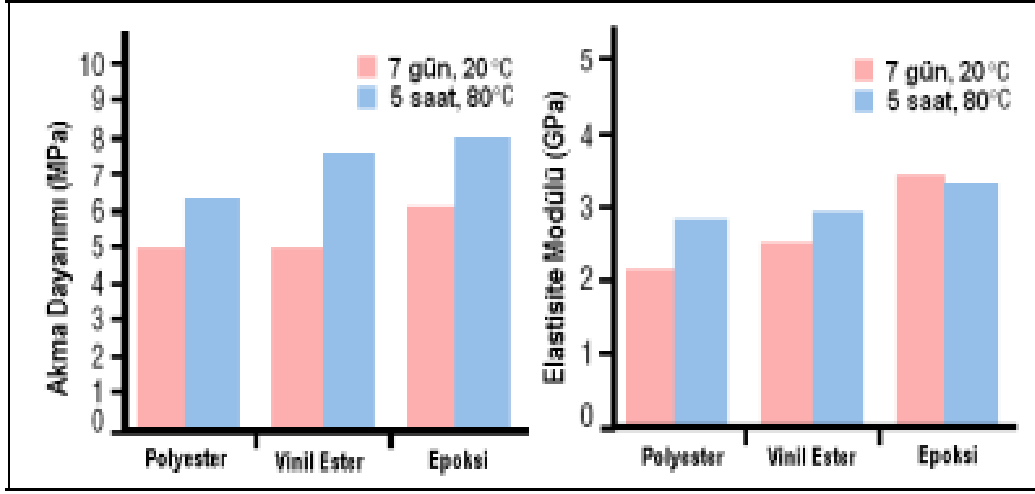
Vinilester reçineleri, polyester reçinelerine benzer bir kimyasal duruma sahiptir, ancak ısı işlem sırasında polyester reçinelerine göre daha iyi mekanik özelliklere ve kimyasal dirence sahiptir. Polyesterden daha pahalı olan vinilester, bazı malzemelerden yapılmış polyesterden imal edilen parçaların dış yüzeylerini korumak için de kullanılmaktadır. Vinilesterler en çok kompozit kimyasal tanklar ve kompozit boruların imalatında tercih edilir (Tuncer, 2018).

2.5.1.3. Epoksi reçine

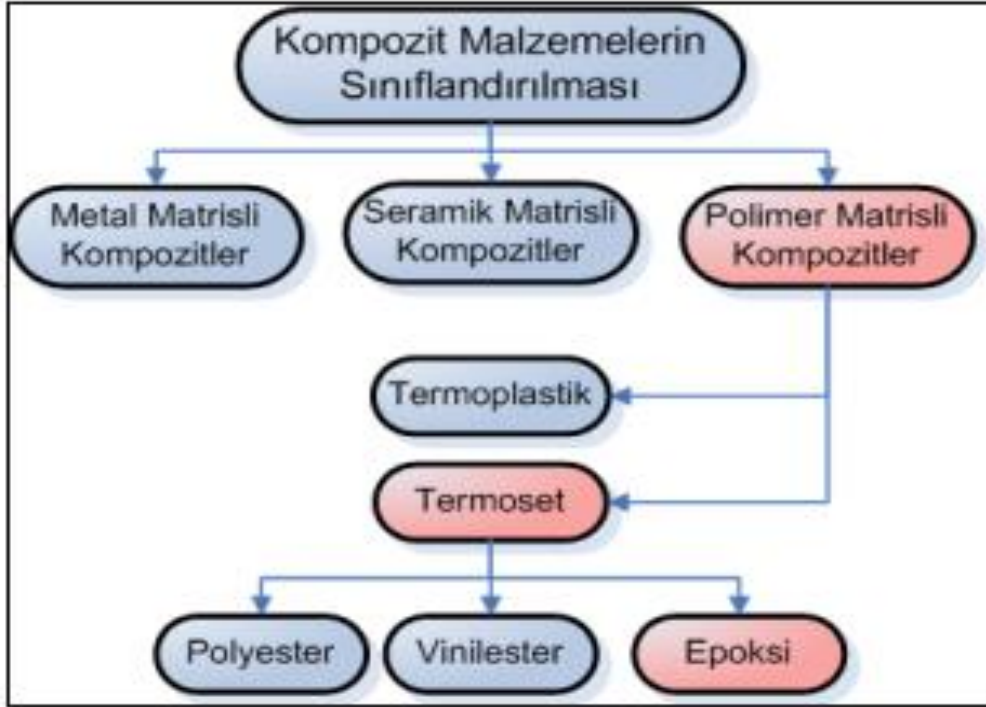
Bu yapıların mekanik açıdan özellikleri termosetlerden üstündür ayrıca yüksek kimyasal özellikleri olarak daha düşük çekmeye sahip olmaktadır. Epoksi yapı sertleştirici ve ana yapı olmak üzere iki farklı yapıdan oluşur. Malzemelerin doğru ölçülerde karıştırılması çok önemlidir. Maliyet olarak incelenirse diğer yapılardan daha yüksektir, mekanik alanda daha iyi olması itibariyle en çok otomotiv, savunma, ulaşım ve daha birçok alanda tercih edilmektedir (Bello vd., 2015).

Bu çalışmada hazırlanan kompozitlerde yapıştırıcı malzeme olarak epoksi tercih edilmiştir.

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, farklı kurutma sıcaklıkları ve süreleri sonucunda elde edilen polyester, vinilester ve epoksi reçinelerin mekanik özelliklerinin bir karşılaştırmasını (bk. Şekil 2) göstermektedir. Ayrıca kompozit levha üretimi için önerilen epoksi reçinenin kompozitlerin sınıflandırılması (bk. Şekil 3) gösterilmiştir (Chemicals, 2016).



Şekil 2. Termoset reçinelerin mekanik özelliklerinin kıyaslanması (Chemicals, 2016).



Şekil 3. Kompozitlerin matris elemanlarına göre sınıflandırılması (Ömercikoğlu, 2009)

2.5.2. Takviye elemanı

Bileşen malzemesinin ana görevi dayanıklılık ve gücü artırmaktır. Bu sebeple tercih edilen elemanın türü, kompozit parçaların mekanik özelliklerini etkiler. Takviye unsurları iki farklı şekilde incelenir. Bunlar sürekli, süreksiz elyaflar ve parçacıklardır (Bahl, 2021).

Süreksiz ve sürekli elyaflara bakıldığında parçacık şeklinde olan takviye elemanlarına göre daha yüksek mekanik yapıdadırlar. Bilinen en yaygın örnek parçacıklı eleman barındıran kompozitler için asfalt yol kaplamalarında kullanılan asfalt

beton bir de silikat esaslı hidrolik çimentodur. Düşük ve viskoz dayanımlı gevrek ve sert taş ile asfaltın açığa çıkardığı kompozit malzemesi çok dayanıklı ve sünek bir yapı ortaya çıkarmıştır (Ömercikoğlu, 2009).

Takviye olarak süreksiz lifler içeren kompozit malzemeler, kaplamalardan daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Süreksiz lifler, sürekli liflerin kesik kısımlarından oluşur. Kesilmiş liflere basarak karmaşık (rastgele) olarak adlandırılabilen bir lifli kumaşın oluşturulmasından meydana gelmektedir (Onaran, 2000).

Kompozit malzemelerin üretiminde en sık kullanılan takviye elemanı sürekli liflerdir. Sürekli lifler, tek tek numuneler veya kumaşlar halinde dokunarak takviye elemanı olarak kullanılır. Sürekli elyaf dokumanın içeriği bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır. Bu bölümler, en yaygın kullanılan elyaf türleri olan cam, karbon ve aramid elyaflarını karşılaştırır (Güneş vd., 2021).

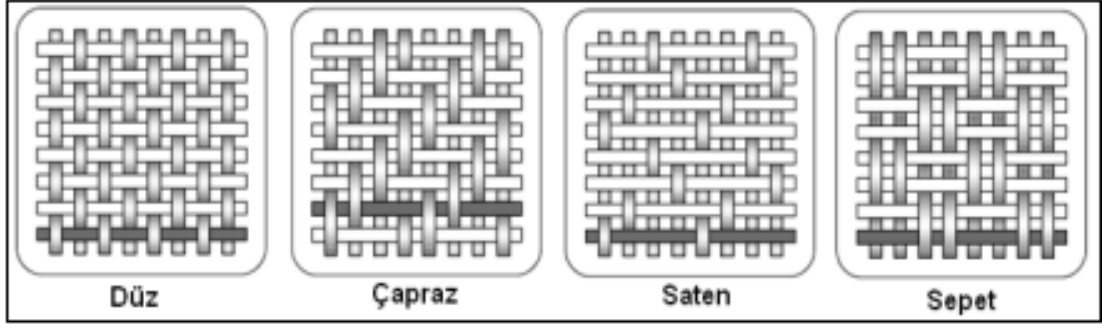
2.5.3. Dolgu Elemanı

Kolay kuvvet varsayımlarından bilindiği gibi, kirişin eğilme rijitliği, kalınlığının küpü ile orantılı olarak artar. Bu nedenle kompozit malzemelerin eğilme rijitliğini çoğaltmak için kalınlık artırılmalıdır. Bu şekilde bir ağırlıklandırma etkisi yaratmak için birden fazla bileşik katmanı kullanıldığında bu yöntem önerilmez. Bunun yerine kompozit katmanlara kompozite göre çok düşük yoğunluklu agregalar yerleştirilerek sandviç şekli oluşturulur. Sandviç konstrüksiyon "I" profil kiriş olarak taşıyıcıdır. Kompozit tabakalar, I-kirişlere benzer eğilme kuvvetleri ve dolgu I-kirişin kesme kuvvetlerini taşır (Ömercikoğlu, 2009).

2.6. Sürekli Elyafların Dokuma Çeşitleri

Kesintisiz karbon, cam ve aramid lifleri pürüzsüz bir zemin oluşturmaktadır. Lifli kumaşlar yapıştırma veya bunların bir kombinasyonu ile elde edilir. Lifler, filamentler veya ince iplik kullanılmışsa ve lifler küçük ipliklerle birbirine bağlıysa, kumaşlar tek yönlü olmaktadır (Ömercikoğlu, 2009).

Örgü farklı liflerden dokunan kumaşlar, yatay ve dikey çizgilerle birleştirilirler, bu kumaşlar farklı bakım süreçlerine sahip ve detaylı uygulama alanları bulunmaktadır. Bu kumaşlar dokuma şekline ve farklı kullanım alanlarına göre çeşitli özellikler barındırmaktadırlar (Aktaş vd., 2013). Piyasada yaygın olarak kullanılan tekstil türlerinin görüntüleri (bk. Şekil 4) gösterilmiştir.



Şekil 4. Piyasada sıkça kullanılan dokuma çeşitleri (Dhaliwal ve Newaz, 2018)

2.6.1. Düz (Plain)

Bu dokuma türünde dikey liflerin altına yatay lifler yerleştirilir. Düz kumaşlar simetriktir. Ancak normal doku sonuçları ve refraksiyon oldukça iyidir. Diğer tekstil türlerine göre kıvrımlı yüzeylerde kullanıldığında daha düşük mekanik özellikler elde edilir (Ömercikoğlu, 2009).

2.6.2. Çapraz (Twill)

Çapraz örgüde, yatay çapraz lifler, her seferinde çapraz olarak birden fazla dikey lif atarak dokunur. Bu örgü yöntemi, yakada 45° - 45° kontrolü ile görsel olarak dokunmuş bir his yaratır ve kumaşta çapraz çizgiler görülür. Bu türün bükme ve emme yeteneği normal dokudan çok daha iyidir (Ömercikoğlu, 2009).

2.6.3. Saten (Satin)

Bu dokumada dikey ve yatay lifler az kesişir. Yatay dişler genellikle 5 ya da 8 dişten oluşmaktadır. Dikey ipliklerin üzerinden ve altından geçerler, çapraz olarak hafifçe kaydırılmaktadırlar. Saten kumaşlar oldukça düzdür, dokuları kolayca emer ve kolayca erişilebilmektedirler. Saten kumaşlar asimetriklerdir. Asimetrik yapıları nedeniyle yüzeyde yatay lifler çok daha fazladır (Nejhad vd., 1990).

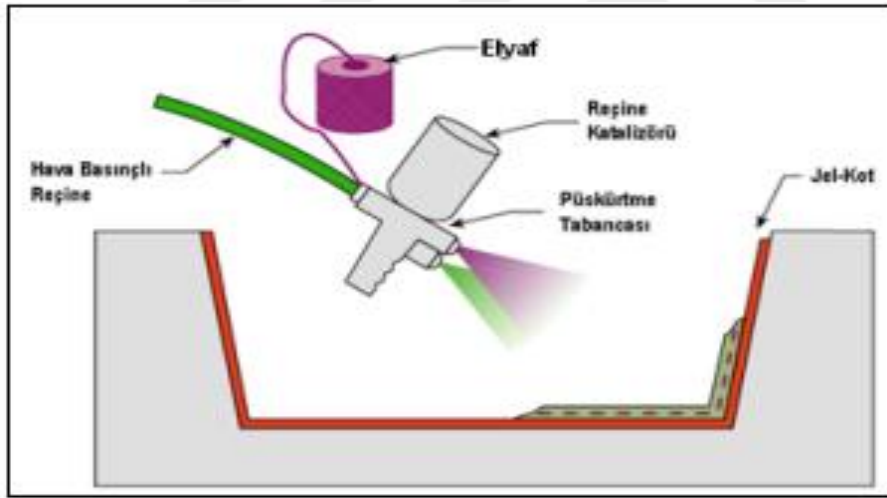
2.6.4. Sepet (Basket)

Sepet dokuması genel olarak bir düz dokuma türüdür. Sepet dokumada, 2 veya daha fazla yatay olarak yönlendirilmiş elyaf, iki veya daha fazla dikey elyafın altından ve üstünden geçmektedir. Dokuma sepet 2x2 olarak adlandırılmaktadır. 8x2 veya 5x4 gibi asimetrik sepet örgüleri de kullanılmaktadır. Sepet dokuma normal dokumaya göre daha dayanıklı olmasına rağmen stabilitesi ve esnekliği daha zayıftır. Genellikle yüksek gramajlı ve kalın lifler dokunurken tercih edilmektedir (Ömercikoğlu, 2009).

2.7. Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin İmalat Yöntemleri

Kompozitlerin mekanik özellikleri, imalatlarında kullanılan elyaf, reçine ve öz malzemelerinin tür ve özelliklerine ve kullanılan üretim yöntemlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, bu bölümde kompozit levha üretiminde kullanılabilecek üretim yöntemleri anlatılmaktadır (Yıldızhan vd., 2022)

2.7.1. Püskürtme Yöntemi

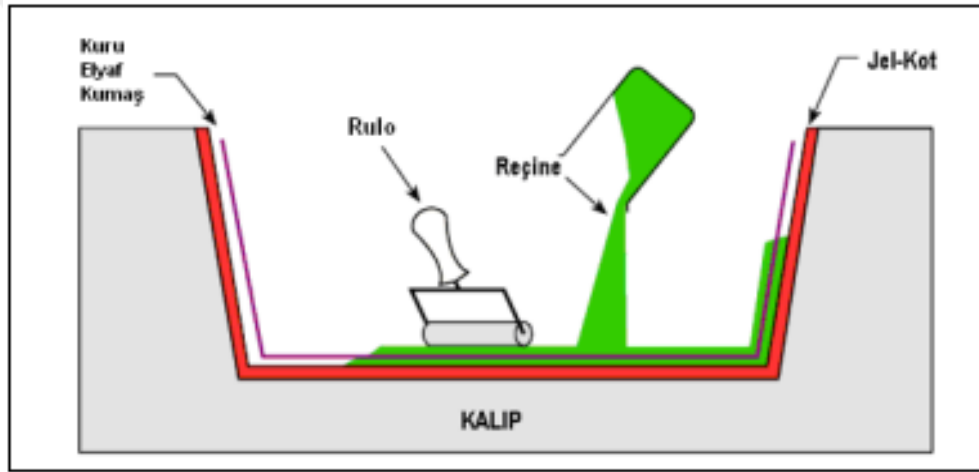


Şekil 5. Püskürtme yöntemi (Shukla, 2023)

Ucuz ve basit bir üretim yöntemidir. Bununla birlikte, mekanik özelliklerin dağılımı, temel liflerin kullanılmasından ve püskürtmenin düşük güvenlik marjlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca püskürtülen elyaf kalıntısı oldukça yoğun olduğu için imal edilen kısım diğer üretim yöntemlerine göre daha zor görünmektedir. Panellerde, banyolarda ve duşlarda ve ağırlığın önemli olmadığı ve genellikle hafif yükler altında olan küçük teknelerin imalatında kullanılmaktadır (Shukla, 2023).

2.7.2. El İle yatırma yöntemi

Genellikle örme kumaşlar için kullanılan bir yöntemdir. (bk. Şekil 6) Jel, kalıbın el ile yerleştirilen kumaşları, daha sonra reçine çektirilmiş bir fırça ile nemlendirilir. Bu şekilde amaç reçine ile lifleri nemlendirmektir. Ana yüzeylerde kalan reçine, kalıba aktarılma yapılarak nemlendirme yapılmaktadır. Öğrenmesi ve uygulaması kolay, ucuz bir yöntemdir. Püskürtme yönteminden farklı olarak liflerin bozulmadan kullanılması daha iyi mekanik özellikler sunmaktadır. Ağır lifler ve geniş yüzeyler için zahmetli bir yöntemdir. Bu aynı zamanda bileşimin karışım oranını ve yüksek kaliteli bir ürünün raf ömrünü de etkiler. Üretim için kullanılan binanın iş sağlığı ve güvenliği gerekliliklerine dikkat edilmeli ve üretim ortamı uygun şekilde havalandırılmalıdır. Genellikle yaygın rüzgar kanatları, tekneler ve mimari formlar yapmak için kullanılır (Srinivasarao, 2014).

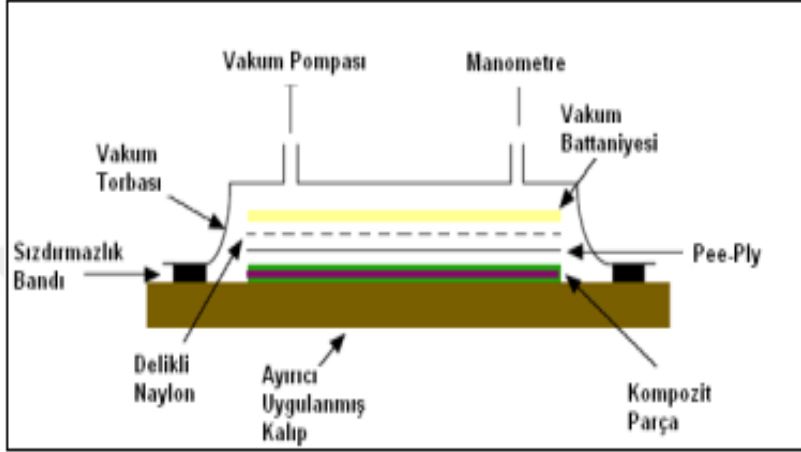


Şekil 6. El ile Yatırma Yöntemi (Srinivasarao, 2014).

2.7.3. Vakumlama yöntemi

Genel olarak ıslak elle serme yönteminin devamı olan bir üretim yöntemidir. El ile yatırma yöntemine göre ıslanan kumaşlar (bk. Şekil 7) elektrikli süpürge ile temizlenmektedir. Bir torbaya konmakta olup ve üzerine atmosferik basınç uygulanır. Böylece hem kumaş oluşturulmakta hem de fazla reçine uzaklaştırılmaktadır (Balasubramanian vd., 2018). Bazıları da uygulamalardaki fazla reçineyi çıkarmak için delikli naylonun arkasındaki "pee-ply" adlı bir katman yerleştirerek detayı daha da parlak hale getirmek mümkün kılmaktadır. Basınç uygulanan parçanın yapışmaması amacıyla kalıba bir ayırıcı madde uygulanmaktadır.

Bir önceki yöntemle göre daha kaliteli ve daha iyi mekanik özelliklere sahip parçalar üretebildiği için tercih edilmektedir. Vakum yöntemi ile lifler, basınç nedeniyle reçineyi daha eşit bir şekilde emer. Birçok farklı malzemenin kullanılması nedeniyle maliyetler önceki yöntemlere göre daha yüksek olmakta ve üretim için daha deneyimli çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle tekne ve araba parçaları yapmak için tavsiye edilir (Chyuan, 2005).

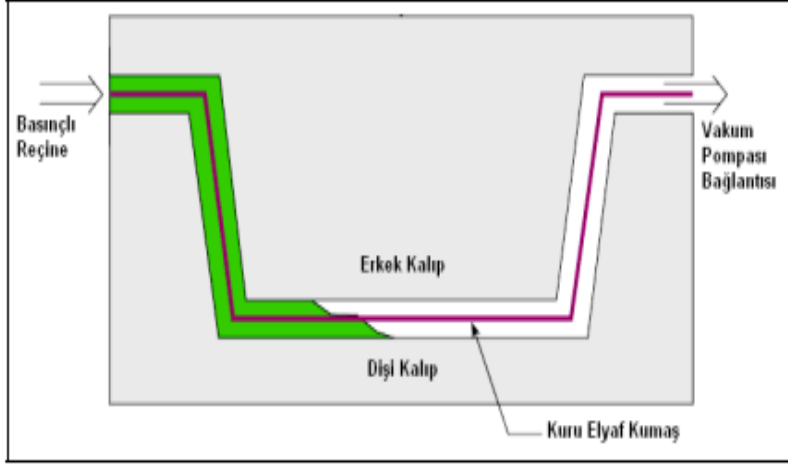


Şekil 7. Vakumlama yöntemi (Chyuan, 2005).

2.7.4. Reçine transfer kalıplama yöntemi

Bu bölümün usulü, (bk. Şekil 8) gibi kumaşlar kadın ve erkek kalıpları arasına yerleştirilir. Kalıptan sonra her iki kalıp arasındaki deliğe bastırılarak reçine verilir. Bazı uygulamalarda, kumaşın reçineyi daha eşit bir şekilde emmesini sağlamak için kalıbın bir tarafındaki deliklerden bir vakum uygulanır. Tüm kumaşlar ıslandığında reçine besleme ve vakum işlemi durdurulur ve reçinenin kuruması sağlanır (Rudd vd.,1997).

Bu yöntem esas olarak pürüzsüz üst ve alt yüzeyler gerektiren parçalar için kullanılır. Ayrıca üretim, manuel biriktirme yöntemlerine göre daha hızlı ve daha kalitelidir. Kapalı kalıpların zehirli gazları ortadan kaldırdığı ve yüzey kalitesini iyileştirdiği küçük kompleks araçlar gibi ehemmiyetli yapıların üretiminde kullanılan yöntemdir. Basınç dayanımı nedeniyle pahalıdır ve hassas kalıplardan yapılır. Bu yöntem, küçük parçalar yapmak için kullanılır (Almagro Coll, 2014).



Şekil 8. Reçine transfer kalıplama yöntemi (Almagro Coll, 2014).

2.7.5. Prepregler

Prepreg çeşitli imalat yöntemi değildir, bitmiş reçine emdirilmiş kumaşlara verilen isimdir. Üreticiler, reçine çektirilmiş kumaşları ısı ve basınç veya çözücü maddeler kullanarak uygun şekilde aktivasyon enerjisinin düşürmektedir. Prepreg malzemeleri uzun süreler içerisinde hazır kullanım için dondurulabilir (Garcia, 2008).

Prepregin özelliklerini kaybetmemesi için hususi saklama koşullarına uyulmalıdır. Elle veya makine ile kalıba yerleştirilen "prepreg" malzeme havası alındıktan sonra 121-181 °C sıcaklığa dek ısıtılır. Isıtma işlemi durumunda katalizör yapıları tekrar çalışmaya başlar, iyileşir ve sertleşir (Shaik vd., 2021). Preprege, özel uçak yapımında, yarış araçlarında ve spor ekipmanlarında, parça olarak bilinen yüksek basınçlı solunumu sürdürmek için kullanılmaktadır (Bajpai, 2013). Üreticiler prepreg malzemelerde reçine karışım oranlarını ayarladıklarında kaliteli ve standart ürünler elde edilmektedir. Buna göre güvenlik ve sağlık kriterleri bakımından diğer üretim yöntemlerinden daha iyi olduğu bilinmektedir. Prepreg malzemeleri oda sıcaklığında çok uzun pişirme süresine sahiptir, bu nedenle uzun çalışma saatleri gerektiren üretimler için tavsiye edilir (Witik vd., 2012).

2.8. Katkı/ Dolgu Malzemeleri

Katkı maddeleri, kompozit malzemelerin mukavemetini artıran, ağırlıkça çok küçük miktarlarda eklenen, matris yapısından tamamen ayrı katı parçacıklardır. Uygulamaya bağlı olarak mikron veya nano boyutlu olabilir. Bu ürünlerin maliyeti kompozit malzemelerin temel elemanlarına göre daha düşük olduğu için maliyetleri düşürmek için de tercih edilmektedir. %40-60 arasında kullanıldığında dolgu maddesi olarak adlandırılır (Qu vd., 2019). Katkı maddeleri genellikle inorganiktir. Ancak

organik ürünler de var. Bu, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Katkı maddelerinin türü, özellikle polimer matrislerde önemli farklılıklar yaratmaktadır. Temel amaç bileşen maliyetlerini azaltmaktır. Malzemeleri seçerken dikkate alınması gereken birkaç şeye dikkat edilmesi gerekmektedir. Doğru kullanılmadıkları takdirde yukarıda açıklanan işlevleri sağlayamazlar. Sorunlar aşağıda sunulmuştur (Tuncer, 2018);

- Parçacık boyutunun doğru seçimi
- Katkı maddeleri eklendiğinde meydana gelen kimyasal reaksiyonları bilmek gerekir.

- Yapı ile homojen bir şekilde birleştirmek mümkün olacaktır.
- Hassas imalat ve karıştırıcı ile karıştırılmalıdır.
- Üretim güvenliği yüksek düzeyde olmalıdır.
- Parçacıkların fiyatı ön görülmelidir.

Önemli olan burada maliyettir. Çünkü birçok organik ve inorganik safsızlık var. Her biri farklı özellikler sunduğundan, kaynağı belirtilen boyutlara getirmek, doğal olarak nanopartiküllerin maliyetini etkileyecektir. Katkı malzemelerinin mekanik özellikler üzerindeki durumundan az da olsa bahsedilmiştir. Mesela, yüksek çekme mukavemetine sahip bir kompozit malzeme istenmektedir. Basınç dayanımı isteniyorsa, nano ölçekli küresel ekler kullanılmalıdır (Rojas vd., 2020).

Bileşiklerin sertliğini arttırmak amaçlanıyorsa, sert katkı maddeleri/dolgu malzemeleri eklendi. Bir de yoğunluk ayarı sayesinde daha dayanıklıdır. Yumuşak malzeme yapılırsa, o da küçük aşınma ve yıpranmaya neden olmaktadır. Günümüzde kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan katkı maddeleri (Tuncer, 2018);

- 1-Siyah kömür
- 2-Doğal katkı maddeleri; talaş, fındık kabuğu
- 3-Fiberglas

2.8.1. Silisyum Dioksit (SiO₂)

Silika, renk itibarıyla fazla seçeneclidir. Genellikle beyazdır (bk. Şekil 9), ancak demirden yapılmış miktar olarak oksit fazla ise kahverengiye yakın veya pembeye yakın olabilir. Düşük özgül ağırlığı ve yüksek erime noktası vardır. Oksit bakımından oldukça zengin kayaların parçalanmasıyla ortaya çıkan ince taneli bileşiktir (Kantarci, 2021). Cam, çakmaktaşı, dökümhane, cam suyu üretimi, metalürji, kimya sanayi, kauçuk, boya, inşaat ve genellikle lastik endüstrisinde kullanılır. Bundan önce, silika

nanopartiküller kompozit malzeme araştırmalarına bakıldığında stres mukavemet ve darbe direnci arttırılmıştır (Ates vd., 2020).

Kompozit malzeme için Silika gibi nanoparçacıklar en önemli malzemelerdir çünkü ihtiyaç duyulan temel malzemeler azdır. Amacı, maliyetleri azaltmak ve malzemelerle aynı özellikleri sağlamaktır. Bu Yaygın olarak kullanılan silikanın mekanik, termal ve elektriksel özellikleri iyileşmeye yol açar. Epoksi matrisine silika eklendiğinde termal genleşme katsayısının azaltılması, termal iletkenliğin artması ve diğer mekanik özelliklerin artmasına neden olur. Böylece, silika kompozit malzeme yemek pişirmede sıklıkla önerilen bir içerik haline geldi (Rhim vd., 2013).



şekil 9. Silisyum Dioksit (Silika, SiO₂) Nano tozu

2.8.2. Seryum Oksit (CeO₂)

Seryum, redoks aktivitesi veren çeşitli değerlik durumlarına (3- tamamen indirgenmiş veya 4- tamamen oksitlenmiş) sahip lantanit serisinin nadir bir toprak metalidir. Oksit formunun kristal kafes yapısı, nanoparçacık matrisindeki elektron "delikleri" veya oksijen kusurları nedeniyle daha da büyük redoks kapasitesi sağlar (Bailey, 2020). Fulleren türevleri, platin, seryum ve altın oksit gibi antioksidan partiküller, serbest radikallerin etkili temizleyicileridir. Bu nanoparçacıklar, kanser gibi nörodejeneratif, kardiyovasküler, inflamatuvar ve oksidatif strese bağlı hastalıkların tedavisinde kullanılabilir (Hunter, 2016).

Geleneksel antioksidanların aksine, CeO₂NP'nin radikal süpürücü aktivitesi biyolojik koşullar altında rejeneratiftir ve sürekli aktiviteye izin verir. Araştırmalar, CeO₂NP'in, uzun ömür boyunca normal Ca sinyalinini korurken, beyin hücrelerinin ve saf nöronların karışık organotipik kültürlerinin ömrünü koruduğunu göstermiştir. Seryum oksit (bk. şekil 10) nanopartiküller ayrıca nöronları ve diğer hücre tiplerini serbest radikal tehdidinden korumuş ve inflamatuvar fonksiyonları azaltmıştır (Hunter, 2016; Das vd., 2007).

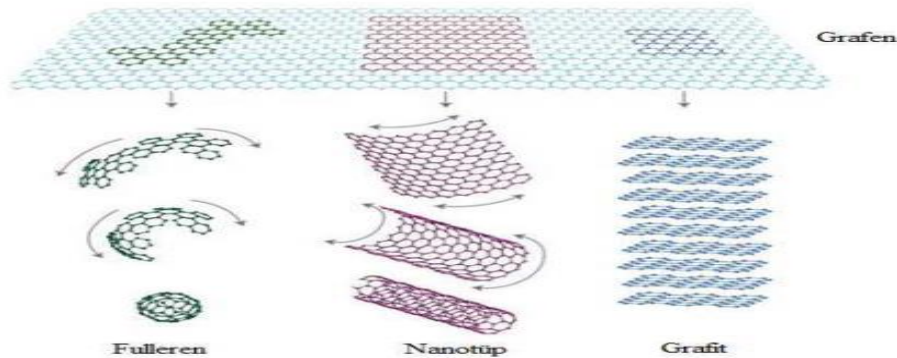


Şekil 10. Seryum Oksit (CeO_2) Nano tozu

2.8.3. Grafen

Önceden, yalnızca grafit ve elmas doğal olarak oluşan karbon allotropları olarak kabul ediliyordu. Ancak Manchester Üniversitesinden iki araştırmacı Andre Geim ve Konstantin Sergeevich Novoselov, 2004’de sentezlenen tek katmanlı, çift katmanlı ve çok katmanlı gibi iki boyutlu malzemenin grafen olduğu söylenmektedir (Çiftci, 2015).

Çift boyuttaki grafen malzemesinin ana yapısını kullanarak (bk. Şekil 11) fulleren, grafit, karbon nanotüp olarak isimlendirilen farklı malzemeler oluşturabilir. Fullerene, bir küre haline getirilmiş bir grafen tabakası iken, bir karbon nanotüp, bir tüp haline getirilmiş bir grafen tabakasıdır. Öte yandan grafit, birçok istiflenmiş grafen tabakası arasındaki zayıf Van der Waals etkileşimlerinden oluşan, karbonun üç boyutlu bir allotropu olarak bilinir. Katı grafit çok düşük sertlikte ve yağlı bir malzemedir. Yağa dönüştürülen grafit, sürtünme ve birbiriyle temas halindeki parçaların nispi hareketinden kaynaklanan güç kaybını ve aşınmayı azaltmak üzere yağlayıcı rolünde işlev görür (Öztop, 2017).



Şekil 11. Karbon esaslı malzemeler (Kim, 2004).

Grafen (bk. Şekil 12), karbon allotroplarından önemli ölçüde değişik olan olağanüstü özellikleri mevcuttur. Bahsedilen özellikler göz önüne alındığında, grafenin çok geniş bir yüzey alanına ($\sim 1500 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), en yüksek termal iletkenliğe sahip olduğunu ve grafenin diğerlerine göre en yüksek sertliğe sahip olduğunu görüyoruz.

Teknolojideki en önemli malzeme olan silisyumun, grafene kıyasla silikondaki elektronların hızından yüzlerce kat daha yavaş olduğu bulundu. Bildiğimiz gibi, ince madde olan grafen, güçlü C bağları nedeniyle onu görülen en güçlü ürün yapar. Bu, grafenin esneklik modülünün çelikten 100 kat büyük olduğu anlamına gelir (Kozal, 2012).

Grafen elmastan daha sert olmasına rağmen kolayca bükülür ve birçok malzemenin yüzeyine çeşitli şekillerde kaplanabilir. Şeffaf yapıya sahip bir grafen levhanın iyi bir ısı iletkeni olduğu da kabul edilmektedir. Ayrıca grafen, doğal kayganlaştırıcı özelliğinden dolayı aşınmayı azaltarak aşınma direncini artırır. Tüm bu özellikleri sayesinde grafen, dünyadaki birçok önemli değişikliğe katkıda bulunabilir (Şenel vd., 2015)



Şekil 12. Grafen nano tozu

2.8.4. Gümüş (Ag)

Gümüş eski çağlardan beri bilinmesine rağmen altın ve bakırdan sonra keşfedilmiştir. Altın kıtır ve dünyaya yayıldığı daha önce kullanılmıştır. Ayrıca doğal haliyle gümüş az bulunurdu ve çok derinlerde bulunurdu. MÖ 2500'de Çinliler ve Persler. MÖ 3100 yıllarında Mısırlılar tarafından kullanıldığı söylenmektedir (Patterson, 1971). Yunan tarihinde Atina'da birçok gümüş madeni bulunmuştur. MÖ 800 civarında gümüş, Nil çevresinde para birimi olarak kullanılmaya başlandı. İlk Romalıların gümüş işlemeye başladıkları söylenir. Endüstri ilerledikçe daha kirli ve daha karışık gümüş cevheri ile çalışmaya başladılar. Günümüzde gümüşün büyük bir kısmı bakır, çinko ve kurşun üretiminin yan ürünlerinden elde edilmektedir (Köymen, 2013).

Uzun zaman önce gümüş, dünyanın birçok yerinde kıt olan doğal gümüş kaynaklarından elde ediliyordu. Doğal gümüş saf olarak veya çoğunlukla altın, cıva, bakır ve diğer metallerle alaşım halinde bulundu (Forbes, 1971). Norveç, güney Peru ve Colorado'daki kazılarda büyük parçalar bulundu. 1860 yılında İspanya'da sekiz tonluk bir külçe çıkarıldı. Gümüş çoğunlukla toprağa dağılmış bileşiklerde bulunur. En yaygın gümüş sürgünler; Arjantin (Ag_2S) ve gümüş klorür ($AgCl$). Arsenik veya antimon ile karıştırılmış gümüş cevheri de vardır (Patterson, 1971).

Gümüş (bk. Şekil 13) ışığı çok iyi yansır. Dövülebilir bir metaldir. Elektrik sisteminde küpler ve altıgenler halinde kristalleşir. Bir gram gümüş çekilerek 2 km uzunluğunda ince bir tel haline getirilebilir. Atmosferdeki oksidasyona karşı yüksek direnç gösterir. Oksitlenmesi bakırdan daha zordur ve altından oksitlenmesi daha kolaydır. Asitlere ve bazı organik maddelere karşı dayanıklıdır (Köymen, 2013). Ancak nitrik asit ve konsantre sıcak sülfürik asitte kolaylıkla çözünür. Ayrıca kükürt ve birçok kükürt bileşiği ile kolayca birleşir. Gıda kararmasına havadaki hidrojen sülfür ve yumurta gibi bazı gıdalardaki kükürt neden olur. Periyodik tablonun ağır metal grubunun bir üyesi olan gümüş, bakıra benzer birçok özelliğe sahiptir, ancak bakır, gümüşten farklı olarak, bileşiklerinin çoğunda iki değerlidir. Saf gümüşün uluslararası piyasalardaki değeri 1000'dir (Wisniak, 2020).

*Yerli gümüş, arjantin, elektrum ve ikincil bakır mineralleri siyanür için çok uygundur.

*Selajalit ve embolit gibi gümüş halojenürler kolayca siyanürlenir.

*Tetrahedronlarda bulunan gümüş siyanür reaksiyonuna girmez.

*Prosit, piralkite, stephanit ve polivasitteki gümüş, siyanür ile kolayca işlenmez.

*Gümüş içeren kurşun ve çinko mineralleri siyanür yapmaz. Gümüşü çıkarmak için ısı işlem gerekir (Köymen, 2013).



Şekil 13. Ag nano tozu

3. MATERYAL VE YÖNTEM

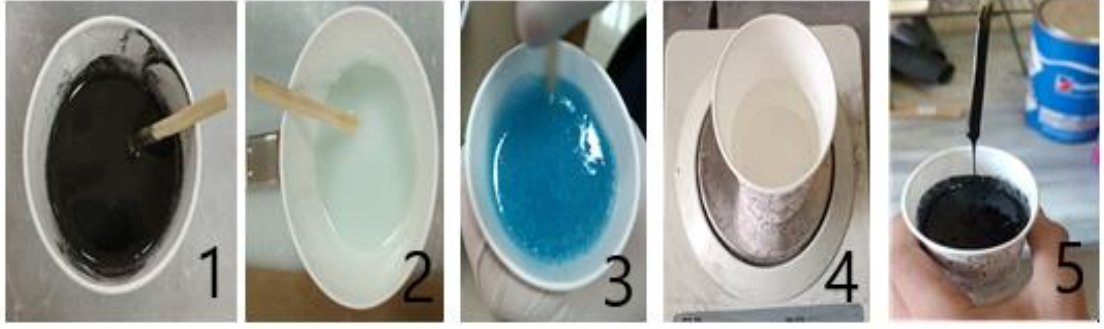
3.1. Kompozit Plaka Üretimi

Bu çalışmada, nano-parçacık takviyeli cam ve aramid elyaf kompozit plakalar, el yatırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir (bk. Şekil 14). Matris malzemesi olarak Duratek 1200 epoksi/ Duratek 1151 sertleştirici polimerik sistemi kullanılmıştır. Nano parçacık takviye elemanı olarak ise farklı boyutlarda ağırlıkça %1 oranında silisyum dioksit (SiO_2), grafen, gümüş (Ag) ve seryum oksit (CeO_2) nano tozları kullanılmıştır (bk. Tablo 7). 3 parça cam ve 3 parça aramid elyaf kumaş, bir kesici alet yardımıyla eşit ölçülerde kesilerek 6 katmandan oluşacak plakaların üretimi için ön hazırlık yapılmıştır. Epoksi/sertleştirici matris malzemesi, oda sıcaklığında ağırlıkça 79/21 oranında 1 dk karıştırılarak elde edilmiştir. Sonrasında nano tozlar ilave edilerek karıştırma işlemi sürdürülmüştür (bk. Şekil 15). Şekil 16'de görüldüğü üzere önceden ısıtılmış bir mermer yüzey üzerine şeffaf, ısıya dayanıklı bir naylon yerleştirilmiştir.

Nano parçacık ilaveli epoksi reçine karışımı ilk olarak naylon üzerine bir fırça yardımıyla homojen bir şekilde sürüldükten sonra sırasıyla 1 parça cam, 1 parça aramid elyaf kumaş reçine ile yeniden uygulanarak toplamda 6 katmandan oluşan plakalar üretilmiştir. Fırçalama ve kumaş yatırma işleminden hemen sonra plakaların üzeri yanmaz naylon ile kaplanmıştır. Hava kabarcıkları ve fazla reçineyi uzaklaştırmak için üzerine sert bir cisim yerleştirilen plakalar, kuruması için dinlenmeye bırakılmıştır. Bu işlem; kontrol grubu ve 4 nano toz malzeme için ayrı ayrı tekrarlanarak toplamda 5 adet nano parçacık takviyeli polimer kompozit plaka üretilmiştir. Şekil 17' de gösterildiği gibi kuruma işlemi tamamlandıktan sonra plakalar, reçine artıkları ve çapaklardan temizlenmiştir.



Şekil 14. Cam elyaf ve aramid elyaf kumaş ruloları



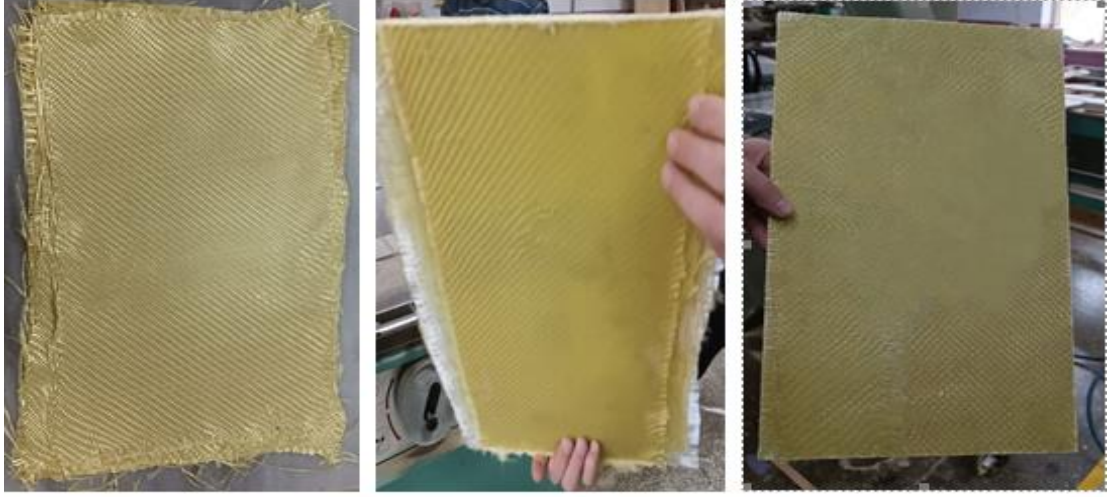
Şekil 15. Nano parçacık takviyeli reçine/sertleştirici polimerik sisteminin hazırlanışı 1- Grafen katkısı, 2-Seryum oksit katkısı, 3-Silisyum dioksit katkısı, 4-Kontrol grubu 5-Gümüş katkısı

Tablo 7. Kullanılan nano parçacıkların teknik özellikleri

Katkı Malzemesi	Tane Boyutu(nm)	Safılık (%)	Renk
Grafen Tozu	3 nm	99	Siyah
SiO ₂ Tozu	10-20 nm	99	Beyaz
Ceryum Tozu	<5 nm	99	Beyaz
Ag Tozu	<100 nm	99	Siyah



Şekil 16. Fırçalama işlemi ve elyaf yatırma



Şekil 17. Kompozit plakaların çapaklardan temizlenme işlemi

3.2. Deney Numunelerinin Oluşturulması

Çekme testi numuneleri, 15 x 150 mm boyutlarında, eğme numuneleri ise ASTM D790'a göre (ASTM, 1997) 12,7x125 mm boyutlarında su jeti kesim işlemi kullanılarak kesim yapılmıştır. Numuneler su jeti ile kesildikten sonra kuru, temiz bir bezle iyice temizlenmiştir. Her numunenin kalınlığı yaklaşık $3 \pm 0,2$ mm olarak bulunmuştur. Numuneler su jeti ile kesildikten sonra kuru, temiz bir bezle iyice temizlenmiş ve sıralanmıştır (bk. Şekil 18).



Şekil 18. Kompozit plakaların kesimi ve sınıflandırılması

3.3. Deney Numunelerinin Çekme Testinin Yapılması

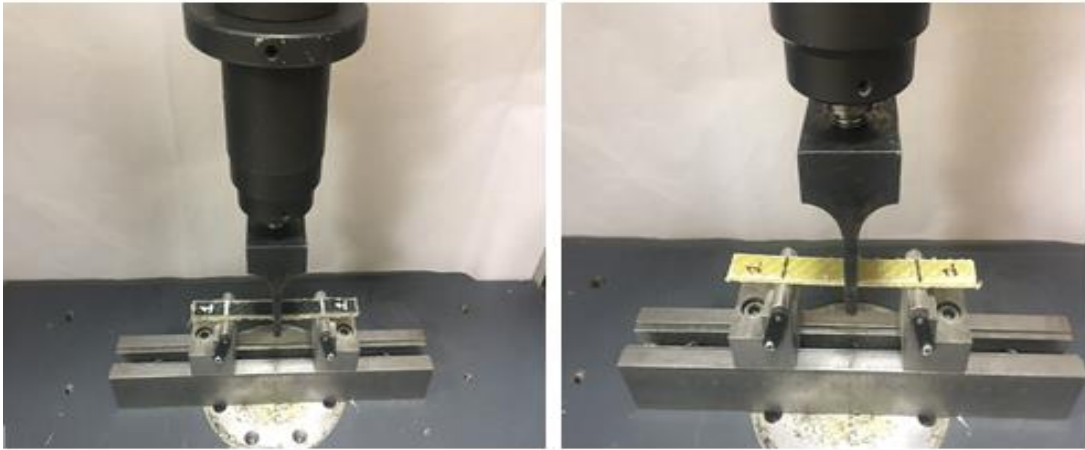
Çekme numuneleri, Gümüşhane Üniversitesi'nde bulunan 12-480 bar hidrolik basınç ve ± 20 kN çekme kapasitesine sahip Besmak Bmt 200es model test cihazıyla, oda sıcaklığında ve 1 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Şekil 19' da görüldüğü üzere test numunesi cihaza, sabitlenmiş orta noktasından düz bir biçimde bağlanmıştır.



Şekil 19. Çekme test cihazı

3.4. Deney Numunelerinin Eğme Testinin Yapılması

Nano-parçacık takviyeli polimer kompozitlerin eğme testleri Atatürk Üniversitesi'nde bulunan Shimadzu AGS-X universal test makinesi kullanılarak oda sıcaklığında ve 1 mm/dk eğme hızında yapılmıştır (bk. Şekil 20). Mekanik özellikler, aletin yük hücrelerinden ve gerinim ölçerlerinden alınan verilerin test cihazının ara yüzüne gönderilmesi ve test cihazının eğme yükü uygulamaya başladığı anda bir gerilim-gerinim diyagramı oluşturulmasıyla belirlenir.



Şekil 20. Eğme test cihazı

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Ağırlıkça %1 oranında; grafen, SiO₂, gümüş ve seryum oksit ilave edilen nanopartikül takviyeli kompozit plakalar çekme ve üç nokta eğme testine tabi tutulmuştur. Her plaka grubundan çekme ve eğme testleri için aynı ölçülerde en az 6 adet numune üretilmiştir.

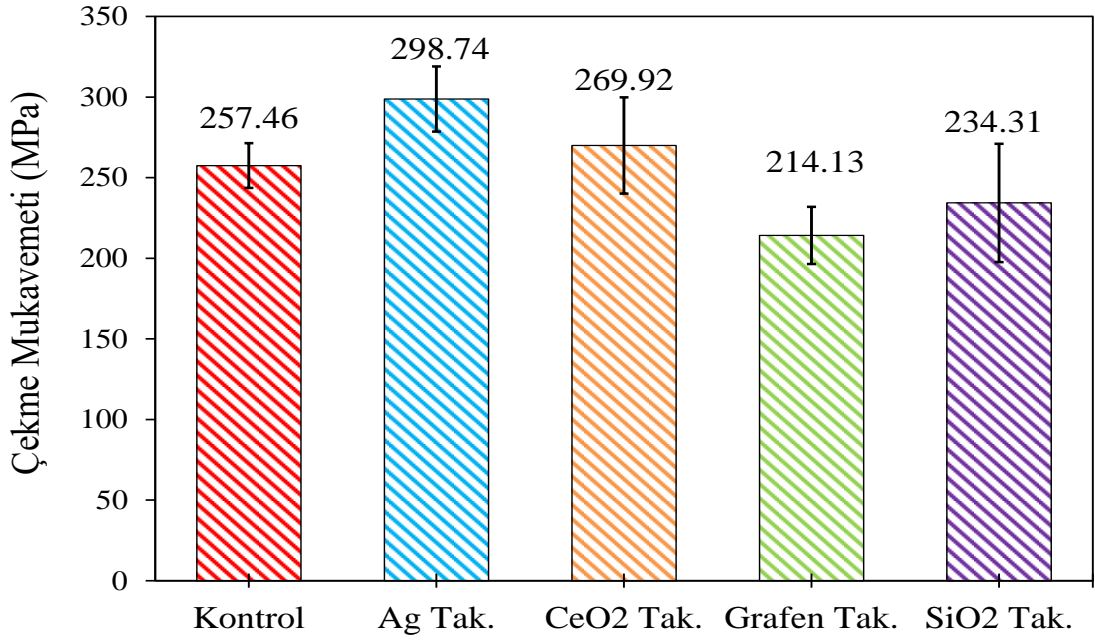
4.1. Çekme Testi Bulguları



Şekil 21. Grafen, kontrol grubu, SiO₂, gümüş ve seryum oksit ilave nano partikül katkıli kompozitlerin çekme deneyi numuneleri hasar görüntüleri

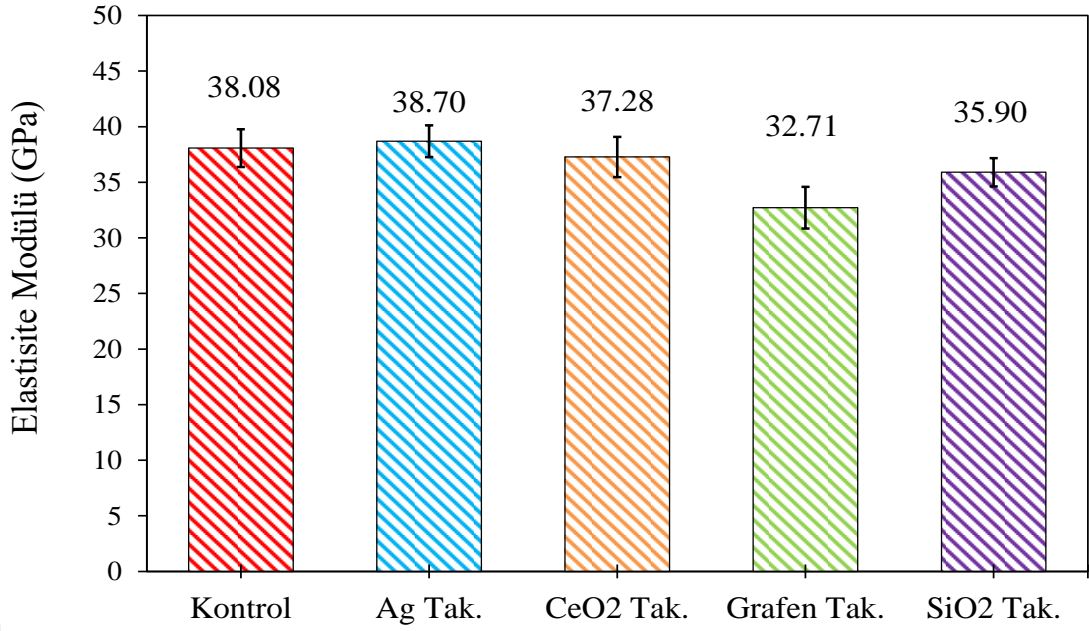
Şekil 21' de çekme yükü altında nano parçacık ilaveli polimer kompozitte görülen hasar mekanizmalarının görüntüsü sunulmuştur. Tüm plaka çeşitlerinde matris ve fiber kırıkları olduğu görülmektedir. Literatür doğrultusunda lif ve epoksinin ayrılması ile meydana geldiği tahmin edilen lif olukları testere dişi hasar mekanizmasına işaret

etmektedir. Lif yönüne dik olarak oluşan testere dişleri hasar mekanizması, kompozitlerde gözlenen en önemli fraktografik özelliklerden birisidir.



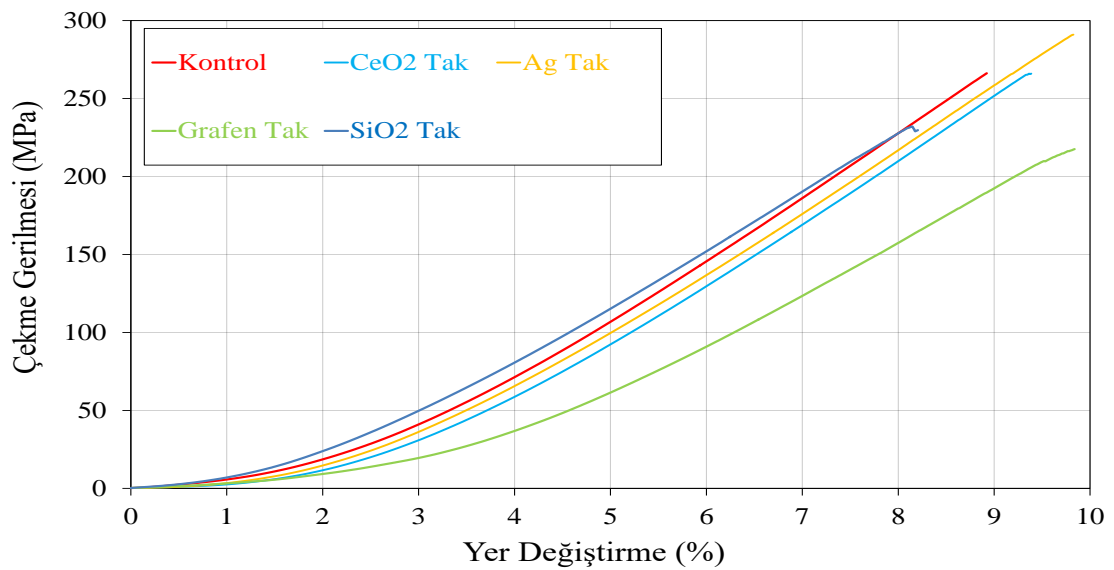
Şekil 22. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri

Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri Şekil 22’ de verilmiştir. Buna göre; kontrol, Ag takviyeli, CeO₂ takviyeli, grafen takviyeli ve SiO₂ takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri, sırasıyla, 257.46, 298.74, 269.92, 214.13 ve 234.31 MPa olarak tespit edilmiştir. Nanopartikül katkısının çekme mukavemetine en yüksek katkısı %16 artış oranı ile Ag takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. Benzer şekilde, CeO₂ takviyeli kompozitlerde de %4.8’lik bir artış gözlenmiştir. Diğer yandan, grafen ve SiO₂ takviyeli kompozitlerde, sırasıyla, %16.8 ve %9’luk azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmaların nedeninin, nanopartiküllerin epoksi reçine içinde heterojen dağıldığı veya kendi aralarında topaklandığı ya da bu iki olumsuz durumun aynı anda gerçekleşmesi ihtimalleri olduğu düşünülmektedir.



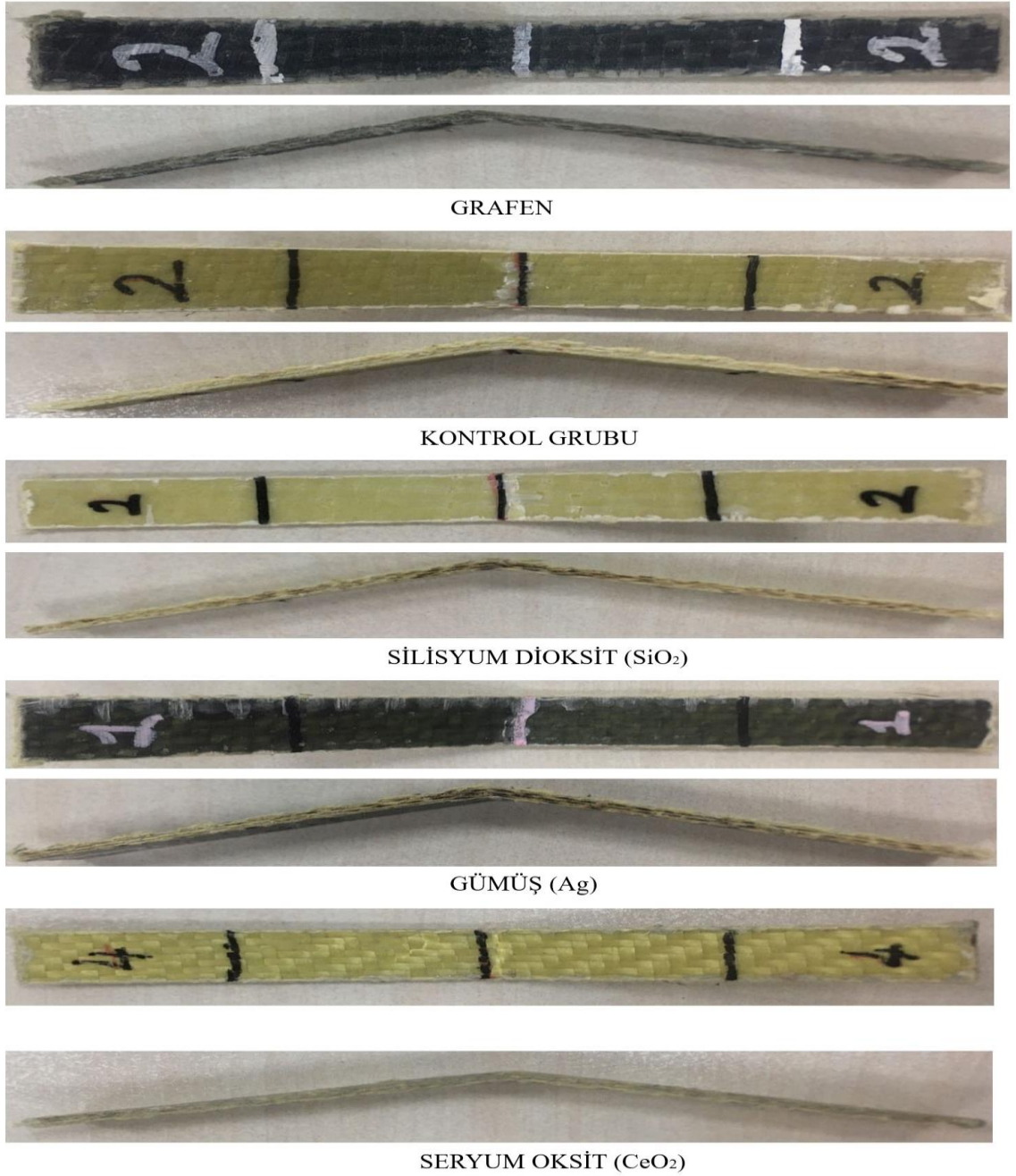
Şekil 23. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama elastisite modülleri

Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama elastisite modülleri Şekil 23' te verilmiştir. Buna göre; kontrol, Ag takviyeli, CeO₂ takviyeli, grafen takviyeli ve SiO₂ takviyeli kompozitlerin ortalama elastisite modülleri, sırasıyla, 38.08, 38.70, 37.28, 32.71 ve 35.90 GPa olarak bulunmuştur. Nanopartikül takviyesinin kompozitlerin ortalama elastisite modülerinde kayda değer artışlar meydana getirmediği fakat grafen takviyeli numunelerde %14.1'lik önemli bir düşüş gözlemlendiği belirtilmelidir. Bu numunelerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri Şekil 24' te sunulmuştur.



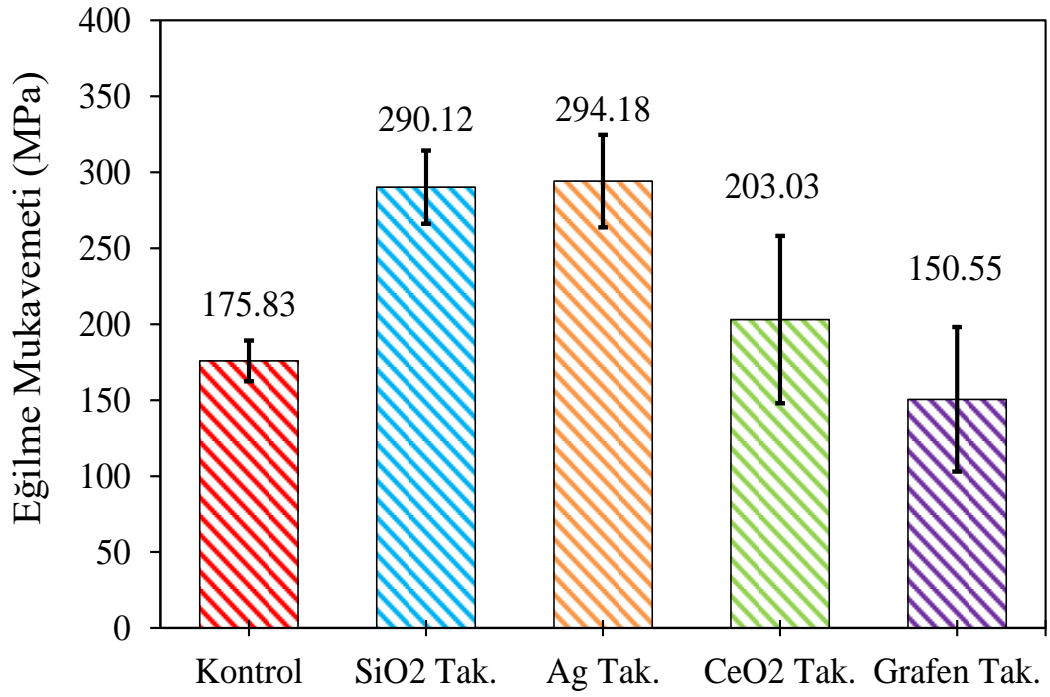
Şekil 24. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin temsili gerilme ve yer değiştirme (%) eğrileri

4.2. Eğme Testi Bulguları



Şekil 25. Grafen, Silisyum dioksit (SiO₂), gümüş (Ag) ve seryum oksit (CeO₂) ilave nano partikül katkılı kompozitlerin eğme deneyi numunelerinin ön ve yan hasar görüntüsü

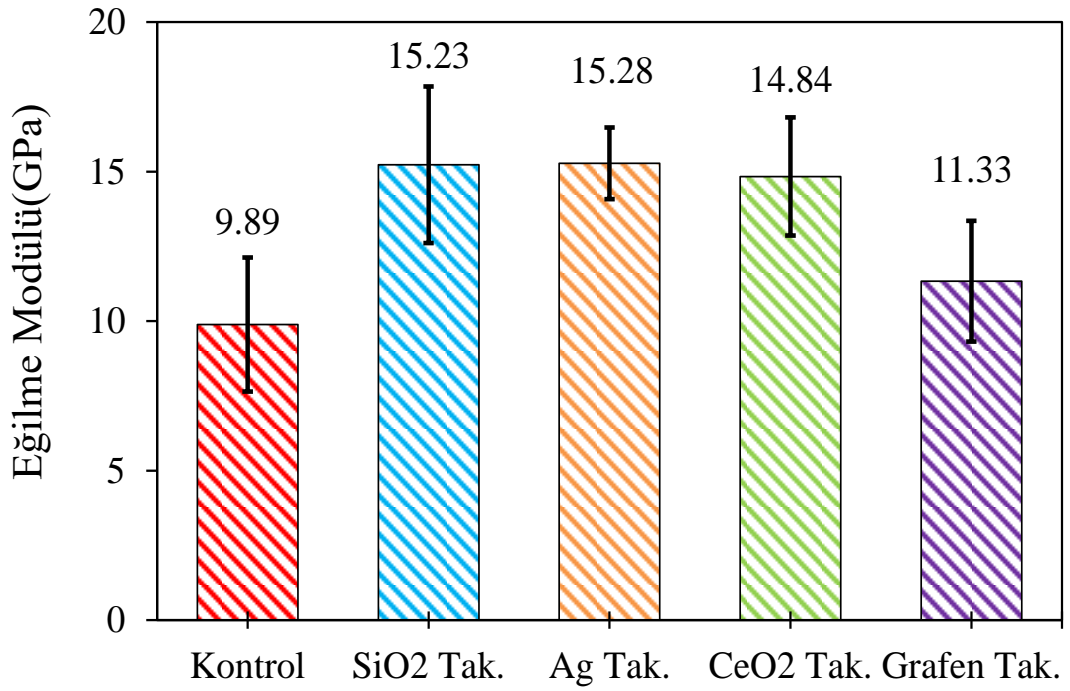
Şekil 25’ de eğme yükü altında nano parçacık ilaveli polimer kompozitte görülen hasar mekanizmalarının görüntüsü sunulmuştur. Bütün plakalarda orta ara yüzde matrisin kırılmasıyla birlikte bir miktar daha yük taşıdıktan sonra aniden kırılarak bütünlüğünü kaybetmiştir. Meydana gelen gerilmeler altında tüm plakalarda numunelerin önce üst katmanı sonrasında alt katmanı kırılmıştır.



Şekil 26. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri

Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme mukavemetleri Şekil 26' da verilmiştir. Buna göre; kontrol, Ag takviyeli, CeO2 takviyeli, grafen takviyeli ve SiO2 takviyeli kompozitlerin ortalama çekme mukavemetleri, sırasıyla, 175.83, 294.18, 203.03, 150.55 ve 190.12 MPa olarak tespit edilmiştir.

Nanopartikül katkısının çekme mukavemetine en yüksek katkısı % 67.3 artış oranı ile Ag takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. Benzer şekilde, sırasıyla, SiO2 ve CeO2 takviyeli kompozitlerde % 65 ve % 15.5'lik artışlar gözlenmiştir. Diğer yandan, grafen takviyeli kompozitlerde, % 14.4' lük azalmalar meydana gelmiştir. Grafen takviyesi ile meydana gelen azalmanın daha önce belirtildiği gibi, nanopartiküllerin epoksi reçine ki negatif dispersiyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

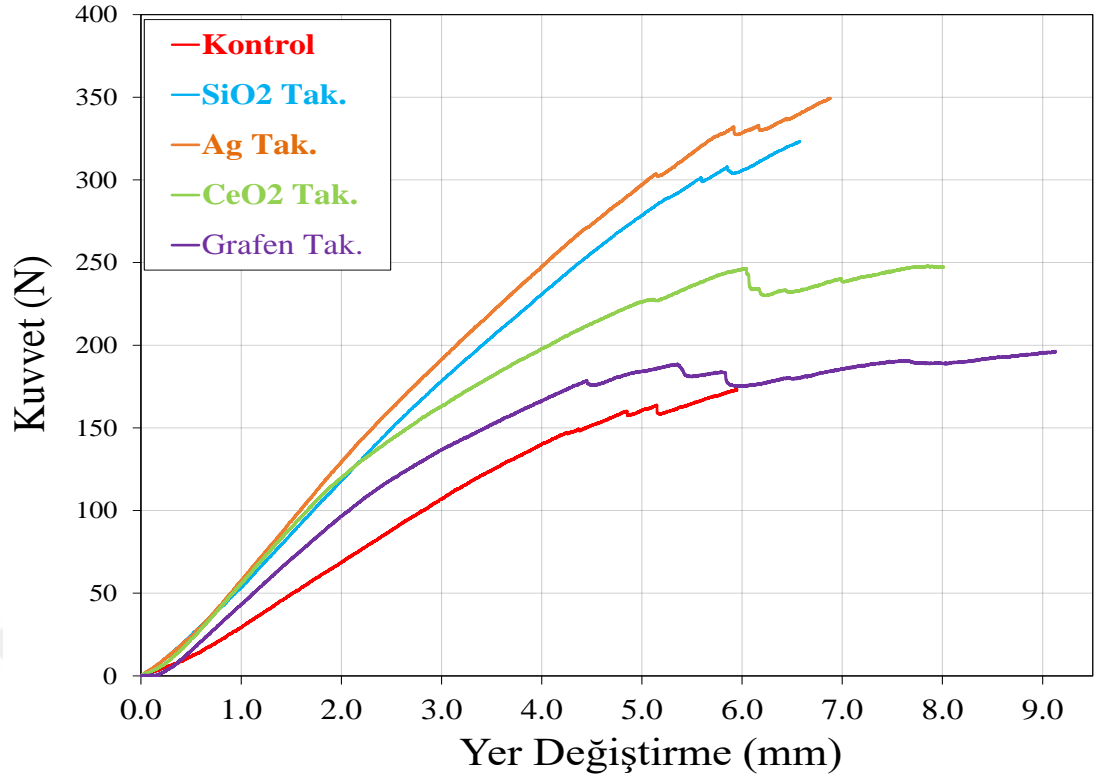


Şekil 27. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülleri

Nanopartikül takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülleri Şekil 27’ de verilmiştir. Buna göre; kontrol, Ag takviyeli, SiO₂ takviyeli, CeO₂ takviyeli ve grafen takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modülleri, sırasıyla, 9.89, 15.28, 15.23, 14.84 ve 11.33 GPa olarak bulunmuştur.

Nanopartikül takviyesinin kompozitlerin ortalama elastisite modülerinde kayda değer artışlar gözlemlendiği belirtilmelidir. Bu kapsamda; Ag takviyeli, SiO₂ takviyeli, CeO₂ takviyeli ve grafen takviyeli kompozitlerin ortalama eğilme modüllerinde, sırasıyla, % 54.5, 53.9, 50.1 ve 14.6 oranında artışlar meydana gelmiş ve nanopartikül takviyesinin kompozitlerin eğilme modülü davranışlarında oldukça olumlu sonuçlar ortaya koyduğu anlaşılmıştır.

Bu numunelerin temsili kuvvet ve yer değiştirme eğrileri Şekil 28’de sunulmuştur.



Şekil 28. Nanopartikül takviyeli kompozitlerin temsili kuvvet (N) ve yer değiştirme (mm) eğrileri

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Deneyler sonucunda katmanlı cam ve aramid elyaf kompozit malzemelere eklenen nano partikül malzemeleri mukavemet değerlerine göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Nanopartikül katkısının çekme mukavemetine en yüksek katkısı Ag (%16) takviyeli kompozitlerde gözlenmiştir. Grafen takviyeli kompozitlerde ise (%16.8) beklenenin aksine düşüş meydana gelmiştir.

- Nanopartikül takviyesinin kompozitlerin ortalama elastisite modülerinde kayda değer artışlar meydana getirmediği fakat grafen takviyeli numunelerde %14.1'lik önemli bir düşüş gözlemlendiği belirlenmiştir.

- Çekme testi bulgularına göre tüm plaka çeşitlerinde tabakalar arası ayrışma (delaminasyon), matris ve fiber kırıkları belirlenmiştir.

- Nanopartikül katkısının eğilme mukavemetine en yüksek katkısı çekme testinde de olduğu gibi % 67.3 artış oranı ile Ag takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. Diğer yandan, grafen takviyeli kompozitlerde, % 14.4' lük azalmalar meydana gelmiştir.

- Sonuç olarak nano parçacık takviyesin, parçacık malzemesine ve matris içerisinde homojen dağılmasına göre çekme ve eğilme mukavemetini kayda değer oranda artış meydana getirdiği görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aida, H. J., Nadlene, R., Mastura, M. T., Yusriah, L., Sivakumar, D., ve İlyas, R. A. (2021). Erimiş Biriktirme Modellemesi (FDM) için doğal elyaf filaman: Bir inceleme. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik Dergisi* , 14 (6), 1988-2008.
- Aktaş, A., Aktaş, M., ve Turan, F. (2013). The effect of stacking sequence on the impact and post-impact behavior of woven/knit fabric glass/epoxy hybrid composites. *Composite Structures*, 103, 119-135.
- Almagro Coll, J. L. (2014). Fabricación de una boya marina en biocomposite de fibra y resina naturales.
- Altenbach, H., Altenbach, J., Kissing, W., Altenbach, H., Altenbach, J., ve Kissing, W. (2004). Classification of composite materials. *Mechanics of composite structural elements*, 1-14.
- Amin, S., ve Amin, M. (2011). Thermoplastic elastomeric (TPE) materials and their use in outdoor electrical insulation. *Rev. Adv. Mater. Sci*, 29(1), 15-30.
- Assarar, M., Scida, D., El Mahi, A., Poilâne, C., ve Ayad, R. (2011). Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax–fibres and glass–fibres. *Materials ve Design*, 32(2), 788-795.
- ASTM, S. (1997). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. . *ASTM D790. Annual book of ASTM standards*.
- Ates, B., Koytepe, S., Ulu, A., Gurses, C., ve Thakur, V. K. (2020). Chemistry, structures, and advanced applications of nanocomposites from biorenewable resources. *Chemical Reviews*, 120(17), 9304-9362.
- Bahl, S. (2021). Fiber reinforced metal matrix composites-a review. *Materials Today: Proceedings*, 39, 317-323.
- Bailey, Z. S., Nilson, E., Bates, J. A., Oyalowo, A., Hockey, K. S., Sajja, V. S. S. S., ... ve Rzigalinski, B. A. (2020). Cerium oxide nanoparticles improve outcome after in vitro and in vivo mild traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 37(12), 1452-1462.
- Bajpai, P. (2013). *Update on carbon fibre*. Smithers Rapra.
- Baker, D. A., Gallego, N. C., ve Baker, F. S. (2012). On the characterization and spinning of an organic-purified lignin toward the manufacture of low-cost carbon fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 124(1), 227-234.

- Balaji, V., Sateesh, N., ve Hussain, M. M. (2015). Manufacture of aluminium metal matrix composite (Al7075-SiC) by stir casting technique. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 3403-3408.
- Balasubramanian, K., Rajeswari, N., ve Balasubramanian, K. (2018). Manufacturing Methods of Composites Materials. *Advanced Engineering Research and Applications*, 241.
- Bansal, N. P., ve Lamon, J. (2014). Ceramic matrix composites: materials, modeling and technology. John Wiley ve Sons.
- Batten, S. R., Champness, N. R., Chen, X. M., Garcia-Martinez, J., Kitagawa, S., Öhrström, L., ... ve Reedijk, J. (2012). Coordination polymers, metal–organic frameworks and the need for terminology guidelines. *CrystEngComm*, 14(9), 3001-3004.
- Bello, S. A., Agunsoye, J. O., Hassan, S. E. A., ve Kana, M. Z. (2015). Epoxy resin based composites, mechanical and tribological properties: A review. *Tribology in Industry*, 37(4), 500.
- Bilisik, K. (2017). Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye. *Yüksek Performanslı Tekstil Mühendisliği*, 377.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science ve Business Media.
- Chawla, K. K., ve Chawla, K. K. (1998). *Metal matrix composites* (pp. 164-211). Springer New York.
- Chemicals, R. (2016). The advantages of epoxy resin versus polyester in marbles ve stones. RachTR chemicals.
- Chyuan, L. B. (2005). *Linear Static Finite Element Analysis Of Composite Hat-Stiffened Laminated Plates* (Doctoral Dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).
- Clauser, H. R. (1973). Advanced composite materials. *Scientific American*, 229(1), 36-45.
- Çiçek, Ö. F. (2019). *Aramid elyaf ve cam elyaf ile oluşturulan kompozit boruların iç basınç altındaki hasar gerilme davranışı* (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çiftçi, N. S. (2015). *İndirgenmiş Grafen Okside Desteklenmiş Nikel-Paladyum Alaşım Nanopartikülleri: Sentezi, Yapısal Tanımlanmaları Ve Amonyak Boran'dan Hidrojen Üretiminde Katalitik Etkinlikleri* (Doctoral Dissertation).

- Das, M., Patil, S., Bhargava, N., Kang, J. F., Riedel, L. M., Seal, S., ve Hickman, J. J. (2007). Auto-catalytic ceria nanoparticles offer neuroprotection to adult rat spinal cord neurons. *Biomaterials*, 28(10), 1918-1925.
- Datoo, M. H. (2012). *Mechanics of fibrous composites*. Springer Science ve Business Media.
- De Rosa, I. M., Santulli, C., ve Sarasini, F. (2009). Acoustic emission for monitoring the mechanical behaviour of natural fibre composites: A literature review. *Composites part a: applied science and manufacturing*, 40(9), 1456-1469.
- Dhaliwal, G. S., ve Newaz, G. M. (2018). Effect of resin rich veil cloth layers on the uniaxial tensile behavior of carbon fiber reinforced fiber metal laminates. *Journal of Composites Science*, 2(4), 61.
- Dil, T. (2016). *Polimer matrisli kompozitlerde sarım açısının mekanik özelliklere etkisi* (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Ekinci, A., Abki, A., ve Mirzababaei, M. (2022). Parameters controlling strength, stiffness and durability of a fibre-reinforced clay. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(1), 6.
- Enişi, A. (2008). Polymer Based Composites in Industrial Design. *Gemi ve Deniz Teknolojisi* (178), 10
- Erden, S., ve Ho, K. (2017). * Ege University, Izmir, Turkey,† Cytec Engineered Materials, United Kingdom. *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*, 51.
- Ergüner, A., Özkan, R., Kemal, Koca Ve Genç, Ms (2021). Epoksi Reçine İçinde Nanoakışkan Grafen Ve/Veya Cam Elyaf Kullanılarak Rüzgar Türbini Kanadının Mekanik Davranışının İyileştirilmesi. *Sigma Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Dergisi* , 39 (1), 58-69.
- Ertekin, M. (2017). Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye. *Elyaf Takviyeli Kompozitler için Elyaf Teknolojisi* , 153.
- Eryıldız, E., ve Eker, A. A. (2015). Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları. *International Journal of Engineering Research and Development*, 7(4), 8-12.
- Evans, A., San Marchi, C., Mortensen, A., Evans, A., San Marchi, C., ve Mortensen, A. (2003). Metal matrix composites (pp. 9-38). Springer US.
- Forbes, R. J. (1971). Silver and Lead. In *Studies in Ancient Technology, Volume 8 Metallurgy in Antiquity, part 1. Early Metallurgy, the Smith and his Tools, Gold, Silver and Lead, Zinc and Brass* (pp. 193-259). Brill.

- Garcia, E. J., Wardle, B. L., ve Hart, A. J. (2008). Joining prepreg composite interfaces with aligned carbon nanotubes. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(6), 1065-1070.
- García-Moreno, I., Caminero, M. Á., Rodríguez, G. P., ve López-Cela, J. J. (2019). Effect of thermal ageing on the impact and flexural damage behaviour of carbon fibre-reinforced epoxy laminates. *Polymers*, 11(1), 80.
- Gerth, H. U., Dammaschke, T., Züchner, H., ve Schäfer, E. (2006). Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites—a comparative study. *Dental Materials*, 22(10), 934-941.
- Guo, Z. S., Xing, D., Xi, X. Y., Yue, X., Liang, C. G., Hao, B., ... ve Ma, P. C. (2022). Production of fibres from lunar soil: Feasibility, applicability and future perspectives. *Advanced Fiber Materials*, 4(5), 923-937.
- Gururaja, M. N., ve Rao, A. H. (2012). A review on recent applications and future prospectus of hybrid composites. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 1(6), 352-355.
- Güneş, D., Çanlı, M., ve Urtekin, L. (2021). Investigation Of Mechanical Properties Of Carbon Fibre Reinforced Polyester Matrix Composite. *Journal Of Scientific Reports-A*, (047), 68-79.
- Hada, J. S. ve Kumar, I. (2019). Vücut zırhları-Hint incelemesi. *Hindistan'da İnsan Yapımı Tekstiller* , 47 (1).
- Harris, B. (1999). Engineering composite materials.
- Hearle, J. W. (Ed.). (2001). High-performance fibres. Elsevier.
- Hollaway, L. C. (2011). Key issues in the use of fibre reinforced polymer (FRP) composites in the rehabilitation and retrofitting of concrete structures. In *Service life estimation and extension of civil engineering structures* (pp. 3-74). Woodhead Publishing.
- Hunter, R. J., ve Preedy, V. R. (Eds.). (2011). *Nanomedicine in health and disease*. CRC press.
- Hyer, M. W., ve White, S. R. (2009). Stress analysis of fiber-reinforced composite materials. DEStech Publications, Inc.
- Jagadeesh, D., Kanny, K., ve Prashantha, K. (2017). A review on research and development of green composites from plant protein-based polymers. *Polymer Composites*, 38(8), 1504-1518.

- Jia, C., Li, J., Wang, Q., Li, Z., ve Pu, L. (2022). Analysis of low-energy impact damage to epoxy resin film based on surface damage characteristics. *Progress in Organic Coatings*, 172, 107147.
- Kantarci, F., Türkmen, İ., ve Ekinci, E. (2021). Improving elevated temperature performance of geopolymer concrete utilizing nano-silica, micro-silica and styrene-butadiene latex. *Construction and Building Materials*, 286, 122980.
- Kharbanda, S., Bhadury, T., Gupta, G., Fuloria, D., Pati, P. R., Mishra, V. K., ve Sharma, A. (2021). Polymer composites for thermal applications—A review. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2839-2845.
- Kim, Z. and. (2004). Width-Dependent Conductance of Graphene Nanoribbons. *Computational Materials Science*.
- Kozal, B. (2012). Karbon tabanlı petek örgülerin elektronik özellikleri.
- Köymen, G. (2013). *Eti Gümüş AŞ'de Siyanürle Gümüş Üretimi Ve Gümüş Veriminin Artırılması* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya).
- Krenkel, W., Heidenreich, B., ve Renz, R. (2002). C/C-SiC composites for advanced friction systems. *Advanced engineering materials*, 4(7), 427-436.
- Lee, N. J., ve Jang, J. (1999). The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(6), 815-822.
- Lubin, G. (2013). *Handbook of composites*. Springer Science ve Business Media.
- Luna, G. G., Axinte, D., ve Novovic, D. (2020). Influence of grit geometry and fibre orientation on the abrasive material removal mechanisms of SiC/SiC Ceramic Matrix Composites (CMCs). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 157, 103580.
- Mahmud, S., Hasan, K. F., Jahid, M. A., Mohiuddin, K., Zhang, R., ve Zhu, J. (2021). Comprehensive review on plant fiber-reinforced polymeric biocomposites. *Journal of Materials Science*, 56, 7231-7264.
- Masuelli, M. A. (2013). Introduction of fibre-reinforced polymers— polymers and composites: concepts, properties and processes. In *Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair*. IntechOpen.
- Mazumdar, S. (2001). *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press.
- Mingyan, Z., Jinghe, Z., Kun, W., ve Yong, F. (2004, July). Preparation and characterization of the nano-doped polyimide film. In *Proceedings of the 2004*

- IEEE International Conference on Solid Dielectrics, 2004. ICSD 2004.* (Vol. 2, pp. 840-843). IEEE.
- Mortensen, A., ve Llorca, J. (2010). Metal matrix composites. Annual review of materials research, 40, 243-270.
- Mouritz, A. P. (2012). *Introduction to aerospace materials*. Elsevier.
- Mrazova, M. (2013). Advanced composite materials of the future in aerospace industry. *Incas bulletin*, 5(3), 139.
- Mukhopadhyay, M. (2005). *Mechanics of composite materials and structures*. Universities press.
- Nagavally, R. R. (2017). Composite materials-history, types, fabrication techniques, advantages, and applications. *Int. J. Mech. Prod. Eng*, 5(9), 82-87.
- Nair, A. N., Sundharesan, S., ve Al Tubi, I. S. M. (2020, November). Kevlar-based composite material and its applications in body armour: a short literature review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 987, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- Nejhad, M. G., ve Chou, T. W. (1990). Compression behaviour of woven carbon fibre-reinforced epoxy composites with moulded-in and drilled holes. *Composites*, 21(1), 33-40.
- Oladele, IO, Omotosho, TF ve Adediran, AA (2020). Polimer bazlı kompozitler: mevcut ve gelecekteki uygulamalar için vazgeçilmez bir malzeme. *Uluslararası Polimer Bilimi Dergisi* , 2020 , 1-12.
- Onaran, K. (2000). Malzeme Bilimi (8. Baskı). *İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi*.
- Ömercikoğlu, A. (2009). *Metal katmanlar içeren hibrit katmanlı kompozit plakların anlık basınç yükü altındaki dinamik cevabının incelenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Öztop, B. (2017). *Atık Alüminyum Kullanarak Grafen ve Silisyum Nitrür Takviyeli Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 123, Samsun).
- Öztürk, Ö. (2015). *Poliüre Matris Malzemesi Ve Cam, Aramid, Karbon Elyaf Kumaş Takviyeleri Kullanılarak Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi* (Master's Thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Paladugu, S. R. M., Sreekanth, P. R., Sahu, S. K., Naresh, K., Karthick, S. A., Venkateshwaran, N., ... ve Shanmugam, R. (2022). A Comprehensive review of

- self-healing polymer, metal, and ceramic matrix composites and their modeling aspects for aerospace applications. *Materials*, 15(23), 8521.
- Patterson, CC (1971). İlk metalurjistlerin erişebildiği yerli bakır, gümüş ve altın. *Amerikan Antik Çağı* , 36 (3), 286-321.
- Polat, B. (2019). *Cam takviyeli polimer matrisli termoplastik kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması* (Master's thesis, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü/Makine Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Qing, L., Sun, H., Zhang, Y., Mu, R., ve Bi, M. (2023). Research progress on aligned fiber reinforced cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 363, 129578.
- Qu, Y., Wang, S., Tian, Y., ve Zhou, D. (2019). Comprehensive evaluation of Paraffin-HDPE shape stabilized PCM with hybrid carbon nano-additives. *Applied Thermal Engineering*, 163, 114404.
- Ramesh, G., Subramanian, K., Sathiyamurthy, S. ve Prakash, M. (2022). Calotropis Gigantea elyaf-epoksi kompozitleri: elyaf oryantasyonunun mekanik özellikler ve termal davranış üzerindeki etkisi. *Doğal Lifler Dergisi* , 19 (10), 3668-3680.
- Ramli, N., Mazlan, N., Ando, Y., Leman, Z., Abdan, K., Aziz, A. A. ve Sairy, N. A. (2018, Haziran). Otomotiv endüstrisinde yeşil teknoloji için doğal elyaf: kısa bir inceleme. GİB konferans serisinde : *Malzeme bilimi ve mühendisliği* (Cilt 368, s. 012012). IOP Yayıncılık.
- Reinhart, T. J. (1998). Overview of composite materials. In *Handbook of composites* (pp. 21-33). Boston, MA: Springer US.
- Rhim, J. W., Park, H. M., ve Ha, C. S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in polymer science*, 38(10-11), 1629-1652.
- Rohatgi, P. K. (1993). Metal matrix composites. *Defence science journal*, 43(4), 323.
- Rojas, D. F. H., Pineda-Gomez, P., ve Guapacha-Flores, J. F. (2020). Effect of silica nanoparticles on the mechanical and physical properties of fibercement boards. *Journal of Building Engineering*, 31, 101332.
- Rudd, C. D., Long, A. C., Kendall, K. N., ve Mangin, C. (1997). *Liquid moulding technologies: Resin transfer moulding, structural reaction injection moulding and related processing techniques*. Elsevier.
- Sanjay, M. R. ve Yogesha, B. (2017). Doğal/cam elyaf takviyeli polimer hibrit kompozitler üzerine çalışmalar: Bir evrim. *Bugünün malzemeleri: tutanaklar* , 4 (2), 2739-2747.

- Sarfraz, M. S., Hong, H., ve Kim, S. S. (2021). Recent developments in the manufacturing technologies of composite components and their cost-effectiveness in the automotive industry: A review study. *Composite Structures*, 266, 113864.
- Schmidt, S., Beyer, S., Knabe, H., Immich, H., Meistring, R., ve Gessler, A. (2004). Advanced ceramic matrix composite materials for current and future propulsion technology applications. *Acta Astronautica*, 55(3-9), 409-420.
- Scott, B. R. (2006). Yeni balistik ürünler ve teknolojiler. *Hafif balistik kompozitlerde* (s. 336-363). Woodhead Yayıncılık.
- Selvaraju, S., ve Ilaiyavel, S. (2011). Applications of composites in marine industry. *Journal of engineering research and studies*, 2(2), 89-91.
- Shaik, F., Ramakrishna, M., ve Varma, P. D. (2021). A review on fabrication of thermoset prepreg composites using out-of-autoclave technology. *Incas Bulletin*, 13(2), 133-149.
- Shalchian, M. M., ve Arabani, M. (2023). Application of plant-derived fibers in soil reinforcement on experimental, numerical, and case study scales: A review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 82(1), 19.
- Shalin, R. E. (Ed.). (2012). Polymer matrix composites (Vol. 4). Springer Science ve Business Media.
- Shukla, U., ve Garg, K. (2022). Journey of smart material from composite to shape memory alloy (SMA), characterization and their applications-A review. *Smart Materials in Medicine*.
- Sikora, P., Chung, S. Y., Liard, M., Lootens, D., Dorn, T., Kamm, P. H., ... ve Abd Elrahman, M. (2021). The effects of nanosilica on the fresh and hardened properties of 3D printable mortars. *Construction and Building Materials*, 281, 122574.
- Sönmez, M. (2009). *Polimer matrisli kompozitlerin endüstri ürünleri tasarımında önemi ve geleceği: Türkiye'den dört örnek firma üzerine bir inceleme* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Srinivasarao, D., Reddy, M. A., Veni, M. K., ve Kumar, M. S. (2014). Effect of nano rubber additions on wear and mechanical properties of epoxy glass fibre composites. *Journal of Material Sciences ve Engineering*, 3(143), 2169-0022.
- Sutherland, L. S. (2018). A review of impact testing on marine composite materials: Part I–Marine impacts on marine composites. *Composite Structures*, 188, 197-208.

- Şahin, A. Ş., ve Sayer, S. (2020) The influence of natural fiber reinforcement on the mechanical properties of polyolefin-based hybrid composites Doğal lif takviyesinin poliolefin bazlı hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(4), 605-612.
- Şenel, M. C., Gürbüz, M., ve Erdem, K. O. Ç. (2015). Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler. *Mühendis ve Makina*, 56(669), 36-47.
- Thori, P., Sharma, P., ve Bhargava, M. (2013). An approach of composite materials in industrial machinery: advantages, disadvantages and applications. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(12), 350-355.
- Torki, A. (2012). Dynamic mechanical properties of hybrid nanocomposite materials. *Универзитет у Београду*.
- Tsai, S. (2018). *Introduction to composite materials*. Routledge.
- Tuncer, C. (2018). *CACO₃, SiO₂ ve grafen nano partikül katkısının tabakalı cam elyaf kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Turayev, S., Tuychiyev, X., Sardor, T., Yuldashev, X., ve Maxsudov, M. (2021). The importance of modern composite materials in the development of the automotive industry. *Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR)*, 10(3), 398-401.
- Ulcay, Y., Akyol, M., ve Gemci, R. (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 7 (1), 93-116.
- Verma, D., Gope, P. C., Maheshwari, M. K., ve Sharma, R. K. (2012). Bagasse fiber composites-A review. *J. Mater. Environ. Sci*, 3(6), 1079-1092.
- Wallace-Dunlop, M. A. (1882). Glass in the old world. Field ve Tuer.
- Wang, R. M., Zheng, S. R., ve Zheng, Y. G. (2011). Polymer matrix composites and technology. Elsevier.
- Warren, R. (1991). Ceramic-matrix composites. Springer Science & Business Media.
- Wisniak, J. (2020). Edmund Davy. *Educación química*, 31(4), 144-155.
- Witik, R. A., Gaille, F., Teuscher, R., Ringwald, H., Michaud, V., ve Månson, J. A. E. (2012). Economic and environmental assessment of alternative production methods for composite aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 29, 91-102.
- Xin, M., Zhang, Y., Hao, C., ve Lei, Q. (2016, September). Influence of nano-doped LDPE cable insulating materials on the insulation and thermal conductivity

- properties. In *2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)* (pp. 1-3). IEEE.
- Yalçın, E. B. (2012). Farklı kumaş ve farklı yöntemlerle üretilmiş CTP kompozitlerin balistik davranışlarının incelenmesi.
- Yaman, N., Öktem, T., ve Seventekin, N. (2007). Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 17(2), 90-95.
- Yıldızhan, Ş., Feyza, Y. E. L., Akar, M. A., ve Kumlu, U. M. U. T. (2022). Tensile And Morphological Properties Of Waste Tire Rubber Granule/Polyester Polymer Matrix Composite. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(3), 773-780.
- Yoshida, K. (2010). Development of silicon carbide fiber-reinforced silicon carbide matrix composites with high performance based on interfacial and microstructure control. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 118(1374), 82-90.
- Zou, Y., Tong, L. P. S. G., ve Steven, G. P. (2000). Vibration-based model-dependent damage (delamination) identification and health monitoring for composite structures—a review. *Journal of Sound and vibration*, 230(2), 357-378.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretimini Aysin Rafet Ataç İlkokulunda, Lise Öğrenimini Gümüşhane Spor Lisesi'nde tamamladı. 2014 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde üniversite öğrenim hayatına başladı ve 2018 yılında Makine Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 2020 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir.

