

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO MALZEME KATKILI POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şevval YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

SUBAT 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANO MALZEME KATKILI POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şevval YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Akın AKINCI

ŞUBAT 2024

Şevval YILMAZ tarafından hazırlanan “Nano Malzeme Katkılı Polimer Matrisli Kompozit Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 08.02.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Akın AKINCI (Danışman)
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sefer Cem OKUMUŞ
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hüseyin ÜNAL
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Nano Malzeme Katkılı Polimer Matrisli Kompozit Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

Şevval YILMAZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar beni destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Akın AKINCI'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans tez çalışmalarına vermiş oldukları katkılarından dolayı Doç. Dr. Murat ÖZSOY ve Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÖZSOY hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarında imkanlarından faydalandığım ve tez çalışmalarında kullanılan malzemeler konusunda beni destekleyen Subor Boru San. ve Tic. A.Ş.'ye, Cihat ARDA, Nisan KUYUMCU ve Mert SELMANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımı daha güzel kıldıkları için kardeşim İrem Ceylin YILMAZ'a ve kedilerim Badem ve Lila'ya teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatımda desteklerini her daim hissettiğim, bana inanan ve güvenen, her zaman yanımda olan, evlatları olmaktan gurur duyduğum babam Şenol YILMAZ'a ve annem Müberra YILMAZ'a sonsuz minnetimi sunarım.

Şevval YILMAZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	2
2. KOMPOZİTLER	3
2.1. Nano takviyeli kompozitler	3
2.1.1. Nano takviyeli kompozitlerin avantajları ve dezavantajları	4
2.1.2. Nano takviyeli kompozitlerin kullanım alanları	5
2.2. Polimer Matrisli Kompozitler	5
2.2.1. Sürekli elyaf sarma yöntemi	7
2.3. Reçineler	9
2.3.1. Polyester reçineler	10
2.3.1.1. Doymamış polyester reçine	11
2.3.1.2. Başlatıcılar	13
2.3.1.3. Hızlandırıcılar	13
2.4. Nano Malzemeler	13
2.4.1. Nano malzemelerin sınıflandırılması	14
2.4.2. Nano malzemelerin kullanım alanları	15
2.4.3. Nano TiO ₂	17
2.4.4. Nano SiO ₂	17
2.4.5. Nano Al ₂ O ₃	18
2.4.6. Nano ZrO ₂	19
2.4.7. Karbon nanotüp	20
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
3.1. Malzemeler ve Numune Üretimi	23
3.2. Sertlik Ölçümü	30
3.3. Eksenel Çekme Testi	30
3.4. Üç Nokta Eğilme Testi	33
3.5. Rijitlik Testi	34
3.6. Çember Çekme Dayanım Testi	35
3.7. Boru Üretimi	35
4. DENEYSEL SONUÇLAR	37
4.1. Sertlik Ölçümü Sonuçları	37

4.2. Eksenel Çekme Testi Sonuçları.....	39
4.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları.....	51
4.4. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Çember Çekme Dayanım Testi.....	61
4.5. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Eksenel Çekme Dayanım Testi.....	61
4.6. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Rijitlik Testi.....	62
4.7. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Barcol Sertlik Ölçümü.....	63
4.8. Nano SiO ₂ Katkılı Boru Çember Çekme Dayanım Testi Sonuçları	64
4.9. Nano SiO ₂ Katkılı Boru Eksenel Çekme Dayanım Testi Sonuçları	64
4.10. Nano SiO ₂ Katkılı Boru Rijitlik Testi Sonuçları	67
4.11. Nano SiO ₂ Katkılı Boru Sertlik Ölçümü Sonuçları	68
4.12. Borular Arasında Karşılaştırma	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
5.1. Sonuçlar.....	71
5.2. Öneriler.....	72
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

0B	: Sıfır boyutlu
1B	: Bir boyutlu
2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
Al₂O₃	: Alüminyum oksit
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CaCO₃	: Kalsiyum karbonat
CEN/TR	: European Committee for Standardization
CTP	: Cam elyaf takviyeli plastik
ÇDKNT	: Çok duvarlı karbon nano tüp
FTP	: Fiber takviyeli plastik
GPa	: Giga Pascal
HBA	: Barcol sertliği
IEC	: International Electrotechnical Commission
IPR	: İzofталik polyester reçine
ISO	: International Organization for Standardization
kg	: Kilogram
kN	: Kilo Newton
KNT	: Karbon nano tüp
MEKP	: Metil etil keton peroksit
mm	: Milimetre
MMK	: Metal matrisli kompozit
MPa	: Mega Pascal
nm	: Nanometre
OPR	: Ortoftalik polyester reçine
PLA	: Poliaktik asit
PMK	: Polimer matrisli kompozit
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
RTK	: Reçine transfer kalıplama
SiC	: Silisyum karbür

SiO₂	: Silisyum dioksit
SMK	: Seramik matrisli kompozit
TDKNT	: Tek duvarlı karbon nano tüp
TiO₂	: Titanyum dioksit
TS EN	: Türk Standardı European Norm
UV	: Ultra viyole
ZnO	: Çinko oksit
ZrO₂	: Zirkonyum dioksit



SİMGELER

σ	: Gerilme [N/mm^2]
σ_a	: Akma gerilmesi
σ_{ϕ}	: Çekme dayanımı
$\sigma_f M$	: Eğilme mukavemeti [MPa]
σ_K	: Kopma gerilmesi
P_K	: Kopma anındaki yük [N]
A	: Alan [mm^2]
b	: Kiriş genişliği [mm]
D	: Kirişin maksimum sehim [mm]
d	: Kirişin yüksekliği [mm]
E	: Elastisite modülü
E_f	: Elastik modül [GPa]
I	: Atalet momenti [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]
L	: Mesafe [mm]
L_0	: İlk boy [mm]
m	: Kuvvet - alan grafiğinin eğimi [N/mm^2]
P	: Kuvvet [N]
S	: Boru rijitliği [kN/m^2]
ΔL	: Boy değişimi (mm)
ε	: Birim şekil değiştirme
εM	: Eğilme miktarı [%]



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri.	23
Tablo 4.1. Numunelerin sertlik değerleri.	37
Tablo 4.2. Saf reçine numunesi için çekme testi sonuçları.	39
Tablo 4.3. %2 SiO ₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.	39
Tablo 4.4. %2 Karbon nanotüp katkılı numune için çekme testi sonuçları.	40
Tablo 4.5. %2 ZrO ₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.	41
Tablo 4.6. %2 TiO ₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.	42
Tablo 4.7. %2 Al ₂ O ₃ katkılı numune için çekme testi sonuçları.	43
Tablo 4.8. Saf reçine numunenin üç nokta eğilme testi değerleri tablosu.	51
Tablo 4.9. %2 Al ₂ O ₃ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.	52
Tablo 4.10. %2 SiO ₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.	53
Tablo 4.11. %2 TiO ₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.	54
Tablo 4.12. %2 ZrO ₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.	55
Tablo 4.13. %2 KNT katkılı numune için üç nokta eğilme testi değerleri.	56
Tablo 4.14. Karbon nano tüp katkılı numune boru için çember çekme dayanım testi sonuçları.	61
Tablo 4.15. Karbon nanotüp katkılı boru eksenel çekme test sonuçları.	62
Tablo 4.16. Rijitlik testi numune özellikleri.	62
Tablo 4.17. Karbon nanotüp katkılı boru rijitlik test sonuçları.	63
Tablo 4.18. Karbon nanotüp katkılı numune boru sertlik ölçüm sonuçları.	63
Tablo 4.19. Nano SiO ₂ katkılı borunun çember çekme dayanım testi sonuçları.	64
Tablo 4.20. Nano SiO ₂ katkılı borunun eksenel çekme dayanım testi sonuçları.	65
Tablo 4.21. Rijitlik testi numune özellikleri.	68
Tablo 4.22. Nano SiO ₂ katkılı boru rijitlik testi sonuçları.	68
Tablo 4.23. Nano SiO ₂ katkılı boru ve standart boru sertlik karşılaştırması.	69
Tablo 4.24. Standart boru- nano borular mekanik özellik karşılaştırma tablosu.	70



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Polimer matrisli kompozitlerin içeriği [18].	6
Şekil 2.2. Elyaf sarma yöntemi ile boru üretimi[19].	7
Şekil 2.3. Elyaf sarma yöntemi ile üretilmiş cam elyaf takviyeli boru [20].	8
Şekil 2.4. Reçine havuzlu elyaf sarma yöntemi [23].	9
Şekil 2.5. Nano malzemelerin boyutlarına göre sınıflandırılması [36].	15
Şekil 2.6. Karbon nanotüp a. Tek duvarlı karbon nanotüp b. Çift duvarlı karbon nanotüp [75].	21
Şekil 3.1. Numune hazırlama akış şeması.	24
Şekil 3.2. a. Hassas terazide tartılan teraftalik reçine b. İçerisine nano partikül eklenmiş teraftalik reçine.	25
Şekil 3.3. Mekanik karıştırıcı karıştırma işlemi (WiseStir HT50DX).	25
Şekil 3.4. Ultrasonik karıştırıcıda karıştırma işlemi (Sonics VC750).	26
Şekil 3.5. Standartlara göre hazırlanmış silikon kalıplar.	26
Şekil 3.6. Reçine karışımının kalıplara dökülmesi.	27
Şekil 3.7. Kalıplara dökülmüş numuneler.	27
Şekil 3.8. Etüvde post kür işlemi.	28
Şekil 3.9. Post kürleme işleminde kullanılan Termaks marka etüv.	28
Şekil 3.10. Elde edilen kompozit numuneler a. Al_2O_3 katkılı numune b. Karbon nanotüp katkılı numune c. ZrO_2 katkılı numune d. TiO_2 katkılı numune e. SiO_2 katkılı numune f. Katkısız teraftalik reçine numune.	29
Şekil 3.11. Barcol sertlik ölçüm cihazı.	30
Şekil 3.12. Zwick-Roel Z250 test cihazı.	32
Şekil 3.13. Zwick-Roel Z250 test cihazı üç nokta eğme testi aparatları.	34
Şekil 3.14. a. Plaka ile yükleme b. Çubuk ile yükleme [86].	35
Şekil 4.1. Barcol sertlik değerleri grafiği.	37
Şekil 4.2. Saf reçine numunesi için yük-yer değiştirme grafiği.	39
Şekil 4.3. %2 SiO_2 katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.	40
Şekil 4.4. %2 Karbon nanotüp katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.	41
Şekil 4.5. %2 ZrO_2 katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.	42
Şekil 4.6. %2 TiO_2 katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.	43
Şekil 4.7. %2 Al_2O_3 katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.	44
Şekil 4.8. Çekme testi yapılan %2 ZrO_2 katkılı numune.	44
Şekil 4.9. Pik noktadaki yük grafiği.	45
Şekil 4.10. Maksimum yük grafiği.	45
Şekil 4.11. Pik noktadaki gerilme.	46
Şekil 4.12. Kırılmadaki yük grafiği.	46
Şekil 4.13. Kırılmadaki gerilme grafiği.	47
Şekil 4.14. Young modülü grafiği.	47
Şekil 4.15. 0.2 Yield.	48
Şekil 4.16. Maksimum yer değiştirme.	48
Şekil 4.17. Saf reçine numune için gerilme-deformasyon grafiği.	52

Şekil 4.18. %2 Al ₂ O ₃ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.	53
Şekil 4.19. %2 SiO ₂ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.	54
Şekil 4.20. %2 TiO ₂ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.	55
Şekil 4.21. %2 ZrO ₂ katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği.	56
Şekil 4.22. %2 KNT katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği.	57
Şekil 4.23. Elastik Modül.	57
Şekil 4.24. Yüzdece eğilme miktarı.	58
Şekil 4.25. Üç nokta eğilme testi sonrası kırılmış %2 SiO ₂ katkılı numune.	58
Şekil 4.26. TiO ₂ numunesi üç nokta eğilme testi.	58
Şekil 4.27. Karbon nanotüp katkılı boru çember çekme dayanım testi.	61
Şekil 4.28. Karbon nanotüp katkılı boru eksenel çekme dayanım testi.	62
Şekil 4.29. Karbon nanotüp katkılı boru rijitlik testi	62



NANO MALZEME KATKILI POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemeler, geleneksel malzemelere göre birçok avantaja sahiptir. Kompozit malzemelerin ortaya çıkışı, 20. yüzyılın ortalarında olmuştur. Ahşap, tuğla ve çelik gibi çok fazlı malzemeler binlerce yıldır bilinmesine rağmen, kompozitlerin yeni bir malzeme olarak tanımlanması, üretim sırasında farklı malzemelerin birleştirilmesine ilişkin yeni bir konseptin tanınmasıyla olmuştur. Polimer matrisli kompozitler, bir polimer matrisi ve bir takviye malzemesi içeren kompozitlerdir. Matris malzemesi, takviye malzemesini bir arada tutan ve kompozitin genel özelliklerini belirleyen malzemedir. Takviye malzemesi, kompozitin mekanik özelliklerini iyileştiren malzemedir. Polimer matrisli kompozitlerin avantajları arasında düşük yoğunluk, düşük maliyet, daha az aşındırıcılık ve üstün mekanik özellikler yer alır. Bu özellikler, polimer matrisli kompozitleri otomotiv, havacılık, spor ekipmanları, denizcilik, tıp ve inşaat gibi çeşitli endüstriyel alanlar için uygun hale getirir.

Bu çalışmada polimer matris içerisine nano malzemelerin katılmasıyla mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Matris malzemesi olarak polyeester reçine kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak nano boyutlardaki TiO_2 , SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 ve tek duvarlı karbon nano tüp katkıları kullanılmıştır. Bu katkılar polyeester reçine matrise ağırlıkça %2 oranda eklenmiştir. Numuneler mekanik ve ultrasonik karıştırıcılarla karıştırıldıktan sonra deney standartlarına uygun olarak hazırlanmış silikon kalıplara dökülmüştür. Nano boyutta SiO_2 ve tek duvarlı karbon nano tüp katkıları kullanarak cam takviyeli polyeester boru üretilmiştir. Üretilen numunelere ve borulara mekanik testler uygulanmıştır. Numunelere uygulanan testler: Barcol sertlik ölçümü, çekme testi ve üç nokta eğilme testidir. Borulara uygulanan testler: Barcol sertlik ölçümü, eksenel çekme testi, çember çekme testi, rijitlik testi, aşınma testidir. Eksenel çekme, çember çekme ve üç nokta eğilme testleri oda sıcaklığında Zwick/Roell Z250 test cihazında yapılmıştır. Bu testler sonucunda üretilen numunelerin rijitlik, sertlik, eğilme mukavemeti, akma dayanımı, uzama miktarı, elastik modülü gibi özellikleri tespit edilmiştir.

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde kompozitlerin tarihçesi ve kompozit çeşitleri hakkında bilgiler verilmiştir. Polimer matrisli kompozitler incelenmiştir. Üçüncü bölümde polimer matrisli kompozitler ve kullandığımız nano malzemeler incelenmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde ise deney sonuçları incelenmiştir.



PRODUCTION OF NANO MATERIAL ADDED POLYMER MATRIX COMPOSITE AND INVESTIGATION OF ITS PROPERTIES

SUMMARY

Polymer matrix composites (PMCs) are composites that consist of a polymer matrix and a reinforcing material. The matrix material holds the reinforcing material together and determines the overall properties of the composite. The reinforcing material improves the mechanical properties of the composite. The emergence of composite materials dates to the mid-20th century. While multi-phase materials such as wood, brick, and steel have been known for thousands of years, the definition of composites as a new material came with the recognition of a new concept of combining different materials during manufacturing. There are three main types of composites: natural composites, man-made composites, and modern composites. Natural composites include wood, bones, and eggshells. Wood is composed of cellulose fibers held together by lignin. Bones are composed of hydroxyapatite and collagen. Eggshells are composed of calcium carbonate and protein. Man-made composites include adobe, concrete, and plywood. Adobe is a mixture of mud and straw. Concrete is a mixture of cement, sand, and gravel. Plywood is composed of layers of wood veneer and glue.

Modern composites typically combine structural fibers and plastic. These composites are called fiber-reinforced plastics (FRPs). Fibers can include aramid fiber, basalt fiber, boron fiber, carbon fiber, glass fiber, or natural fibers such as flax, hemp, or wood. Plastic resins include epoxy, polyester, polypropylene, polyurethane, and vinyl ester. FRPs are used in a wide variety of applications, including aircraft, automotive components, body armor, construction materials, sporting equipment, and marine vessels. For example, fiberglass is commonly used in automobile bodies and surfboards. Carbon fibers are found in golf clubs and other sporting equipment. Disc brake pads contain carbon fiber and silica reinforcement. FRPs are adaptable and can be tailored to many specific uses. Designers and engineers can vary the ratios of resin and fiber reinforcement; change the direction of the fiber; add fillers; or change the manufacturing process, such as the molding method. FRPs are commonly used in the construction of bathtubs, countertops, hot tubs, sinks, and swimming pools. Many pipes, tanks, and containers are made using these composites. Some researchers are investigating ways to use biodegradable materials to make composites. For example, many waste products from crops are sustainable sources that can be used as reinforcing materials. In conclusion, composite materials are strong and lightweight materials with many advantages over traditional materials. Their range of applications is expanding, and they are being developed for new applications.

Polymer matrix composites (PMCs) are composed of continuous or short fibers made from a variety of reinforcing materials, including different types of organic polymers. This improves the properties of the composite materials, such as stiffness, high strength, and fracture toughness. PMCs are made up of reinforcing fibers, along with a matrix material that is softer and less strong than the fibers. The matrix holds the

fibers together, transfers loads, and protects the fibers from mechanical and environmental damage. The advantages of PMCs include low density, low cost, reduced abrasiveness, and superior mechanical properties. These properties make PMCs suitable for a variety of applications, including automotive, aerospace, sporting goods, marine, medical, and construction. PMCs have been used in marine applications for about 50 years. During this time, significant progress has been made in understanding the behavior of these materials under mechanical, thermal, and fire-induced loading scenarios.

Metal matrix composites (MMCs) are composite materials that contain dispersed reinforcing materials within a metal matrix material. The reinforcing materials can be in the form of fibers, powders, or particles. MMCs offer many advantages over conventional metals. They can exhibit properties such as higher strength, stiffness, and toughness, lower density, and improved corrosion resistance. These properties make MMCs suitable for a variety of applications, including automotive, aerospace, defense, construction, and energy. Metal matrix materials used in the production of MMCs include aluminum, magnesium, titanium, and steel. Reinforcing materials include glass fiber, carbon fiber, aramid fiber, boron fiber, silicon carbide, ceramics, and metals. Some disadvantages of MMCs include high cost, complex manufacturing process, and limited recyclability.

Ceramic matrix composites (CMCs) are composite materials that contain reinforcing elements in a ceramic matrix. Ceramics have excellent properties such as high strength, hardness, high-temperature resistance, wear resistance, and chemical resistance. However, ceramics are typically brittle materials with low toughness. Therefore, reinforcing elements are used to improve the toughness and fracture toughness of ceramics. CMCs have a wide range of properties and applications. They are a developed material for applications requiring high thermal and mechanical properties. Such applications include nuclear power plants, aircraft, chemical plants, space structures, and transportation services. CMCs are also used in abrasive processing processes such as laser-assisted grinding due to their mechanical properties such as high-temperature resistance, corrosion resistance, and wear resistance. CMCs have been studied to understand their response under random vibration loads through dynamic properties of typical components, such as mode and vibration tests. This also suggests their potential applications in vibration-prone environments. FRCs are composed of two basic components: matrix and fiber. The matrix holds the fibers together and transfers loads. The fibers provide the strength and stiffness of the composite. Fiber-reinforced composites can be classified by the matrix material and the type of fiber.

By classification of matrix material, there are three main groups: MMCs, CMCs, and PMCs. By classification of the type of fiber, there are three main groups: glass fiber-reinforced composites, carbon fiber-reinforced composites, and natural fiber-reinforced composites. Fiber-reinforced composites have advantages such as high strength, hardness, lightness, and durability. Due to these advantages, they are used in a variety of applications such as aerospace and automotive industries, defense industries, construction industry, electronic and electrical devices, sports equipment, and pipe industry. The disadvantages of fiber-reinforced composites include material cost, production cost, and environmental impacts. Particle-reinforced composites are composite materials that are formed by combining at least two materials. The reinforcing elements used in these composites are typically made of materials such as metal, ceramic, or polymer. Particle-reinforced composites have advantages such as

high strength, hardness, low density, good wear resistance, and good corrosion resistance. Due to these advantages, they have a wide range of applications, especially in industries such as aerospace and automotive.

Nanocomposites are a revolutionary class of materials created by merging two or more distinct materials. These composites leverage the unique properties of nanoparticles (microscopic particles between 1-100 nanometers) as reinforcements. This synergistic combination unlocks a spectrum of superior properties, including exceptional strength, hardness, thermal and electrical conductivity, and remarkable resistance to wear. These remarkable characteristics make nanocomposites highly sought-after across diverse industries. From lighter, stronger car parts in the automotive sector to advanced sports equipment, durable construction materials, and cutting-edge electronics, their applications are extensive. Even the fields of medicine and defense benefit from the versatility of nanocomposites. Optimizing the production of nanocomposites hinges on meticulously controlling the size and distribution of the reinforcing nanoparticles. These factors significantly influence the final properties of the composite, allowing for precise tailoring for specific applications. As a rapidly evolving field within materials science and engineering, nanocomposites hold immense potential for driving innovation and shaping the future of advanced technologies..

In this study, the effects of adding nano-materials to polymer matrices on their mechanical properties were investigated. Polyester resin was used as the matrix material. Nano-sized TiO_2 , SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , and single-walled carbon nanotubes were used as reinforcing materials. These additives were added to the polyester resin matrix at a weight ratio of 2%. After the samples were mixed with mechanical and ultrasonic mixers, they were poured into silicone molds prepared in accordance with the test standards. Glass-reinforced polyester pipes were produced using nano-sized SiO_2 and single-walled carbon nanotubes additives. Mechanical tests were applied to the produced samples and pipes. The tests applied to the samples were: Barcol hardness measurement, tensile test, and three-point bending test. The tests applied to the pipes were: Barcol hardness measurement, axial tensile test, circumferential tensile test, rigidity test, and wear test. Axial tensile, circumferential tensile, and three-point bending tests were performed at room temperature on a Zwick/Roell Z250 test machine. As a result of these tests, the properties of the produced samples, such as rigidity, hardness, bending strength, yield strength, elongation, and elastic modulus, were determined.

In the first chapter, information is given about the purpose and scope of the study. In the second chapter, information is given about the history of composites and their types. Polymer matrix composites are examined. In the third chapter, polymer matrix composites and the nano materials we used are examined. In the fourth chapter, information is given about the experimental studies. In the fifth chapter, the experimental results are examined.



1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte kompozitler önemli bir malzeme haline gelmiştir. Artan nüfusla ve ortaya çıkan ihtiyaçlarla birlikte gelişmiş özelliklere sahip malzeme arayışı başlamıştır.

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin birleşimiyle oluşur. Bu malzemeler makroskopik düzeyde birleştirilir ve birbiri içinde çözünmeyen, önemli ölçüde farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahiptir. Kompozit malzemelerin bileşenleri matris fazı ve takviye fazıdır. Matris takviye fazına gömülür. Takviye fazı malzemesi parçacıklar, lifler veya pullar şeklindedir. Matris malzemeleri genellikle sürekli dir. Bu malzemeler birlikte, bireysel olarak sahip oldukları özelliklerden farklı özelliklere sahiptir. Kompozit malzemeler doğal veya insan yapımı olabilir [1, 2]

Kompozitlerin farklı bir malzeme sınıflandırması olarak ortaya çıkışı, 20. yüzyılın ortalarında, CTP gibi bilinçli olarak tasarlanmış ve tasarlanmış çok fazlı kompozitlerin imalatıyla başlangıç yapılmıştır. Saman katılarak güçlendirilmiş tuğlalar, deniz kabukları ve hatta çelik gibi alaşımlar gibi çok fazlı materyeller binlerce yıldır kullanılmasına karşın, üretim sırasında farklı malzemelerin birleştirilmesine ilişkin bu yeni konseptin tanınması, kompozitlerin yeni bir malzeme olarak tanımlanmasına yol açmıştır. Bu çok fazlı kompozit kavramı, monolitik geleneksel metal alaşımların, seramiklerin ve polimerik malzemelerin hiçbirinin karşılayamayacağı özellik kombinasyonlarına sahip, son derece geniş çeşitlilikte malzemelerin tasarlanması için heyecan verici fırsatlar sağlar [3, 4]

1.1. Çalışmanın Amacı

Kompozitler gelişen teknoloji de önemli bir malzemedir. İki malzemenin birleşimi ile oluşurlar. Birinci malzeme matris diğ eri takviye malzeme olur. Polimer matrisli kompozitler de kompozit malzemelerin bir dalıdır. Bu çalışmada matris olarak polyester reçine, takviye elemanı olarak nano tozlar kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı farklı mühendislik alanlarında kullanılabilecek nano kompozit malzemeler

retmektir. Mekanik zelliklerin iyileştirilmesi, elastik modülün arttırılması da bu çalışmanın amaçlarındandır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Polimer matrisli kompozit malzemeler, havacılıktan denizciliğe, kompozit borulardan otomotive, makine imalatından spor aletlerine kadar birçok farklı alanda üstün performans sağlaması için kullanılan malzemelerdir. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, kullanım yerlerinde performansını ve ömrünü etkileyen önemli faktörlerdir.

Polimer matrisli kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için yapılan çalışmalarda, katkı malzemeleri önemli bir rol oynamaktadır. Katkı malzemeleri, matrise ilave edilerek matrisin niteliklerini iyileştiren veya yeni nitelikler kazandıran malzemelerdir.

Bu çalışmada, polyester matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için nano boyutlu SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ve tek duvarlı karbon nanotüp katkı malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemeler, yüksek sertlik, yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir.

Çalışmada, farklı reçetelerle elde edilen kompozitlerin elastik modülü, sertliği, rijitliği, mukavemeti gibi özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, katkı miktarının artmasıyla kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

2. KOMPOZİTLER

2.1. Nano takviyeli kompozitler

Nano takviyeli kompozitlerde takviye elemanı olarak nano boyuttaki (1-100 nm) partiküller kullanılır. Matris malzemesi ise takviye elemanlarının etrafını kaplayan ve onlarla bağ yapan materyeldir [5].

Al_2O_3 ve ZrO_2 gibi nanopartiküllerin eklenmesinin, kompozitlerin boyut kararlılığını, sertliğini, nihai çekme dayanımını ve aşınma direncini artırabileceğini, bu da onları otomotiv ve spor ekipmanları üretim sektörlerinde çeşitli uygulamalara uygun hale getirdiğini göstermiştir [6, 7].

Metal matris kompozitlerde nanopartikül takviyesinin kullanımı, mikro-nano boyutlu Al_2O_3 parçacıklarının eklenmesinin kompozitlerin termal genişmesini ve mekanik davranışını etkilediği gösterilen otomotiv motor egzoz valfleri gibi özel uygulamalar için geliştirilmiştir [8].

Nanometre büyüklükteki parçacıklar, ortaya çıkan malzemelerin mekanik, ısı iletim ve elektrik iletim özelliklerine olan etkilerini anlamaya odaklanarak polimer kompozitlerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. ZnO , SiO_2 ve $CaCO_3$ gibi nano boyutlu parçacıkların dahil edilmesinin polimer kompozitlerin mekanik, termal ve elektriksel etkisinin artırıldığı gözlenmiştir [9, 10].

Bu parçacıklar, yüksek özgül yüzey alanları nedeniyle dolgu partikülünün etrafında ara-faz tabakası oluşturur, bu da kompozit malzemenin genel özelliklerini etkiler [11].

Nano-parçacıkların polimer matris içindeki dağılımı ve boyutu, ortaya çıkan kompozitlerin niteliklerini belirlemede rol oynar. İnorganik bileşenlerin temel polimerde düzgün bir şekilde dağılımı, nanokompozitlerin istenen özelliklerine ulaşmak için gereklidir [12].

Knt, grafen ve nano partikül silisyum yaygın olarak nano takviyeli kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılır. Nano takviye elemanları kullanılarak istenilen

özelliklerde yüksek mukavemet, sertlik veya elektriksel iletkenlik özelliklerine sahip malzemeler oluşturulabilir.

Nano-parçacıkların yüzey modifikasyonunun polimer kompozitlerin mekanik özelliklerini etkilediği, modifiye edilmiş nano-parçacıkların saf reçineye kıyasla daha iyi darbe enerjisi emilimi gösterdiği bulunmuştur [13].

Nano boyutlu parçacıkların polimer kompozitlerde kullanımı, nanoteknolojinin ortopedik implantlar ve iskelelerin iyileştirilmesi için araştırıldığı nan alanına kadar uzanmıştır. Bu uygulama, ortopedik uygulamalarda kullanılan malzemelerin performansını artırmak için nano yapıları yüzey özelliklerinin veya bileşen nanomalzemelerin kullanılmasını içerir [14] .

Özet olarak, nano boyutlu parçacıkların polimer kompozitlere dahil edilmesi, mekanik mukavemet, termal davranış ve belirli uygulamalar için işlevsellik gibi çeşitli özellikleri geliştirmede önemli bir role sahiptir. Nano boyutlu parçacıkların polimer kompozitlerdeki tam potansiyelini ortaya çıkarmak için partikül dağılımının, yüzey modifikasyonunun ve ara-yüz etkileşimlerinin kontrol aşaması büyük önem taşımaktadır.

2.1.1. Nano takviyeli kompozitlerin avantajları ve dezavantajları

Nano takviyeli kompozitler, aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- Yüksek mukavemet ve sertlik: Nano takviyeli kompozitler, takviye elemanının boyutundan dolayı, geleneksel materyellere çok daha yüksek dayanım ve sertlik özelliklerine sahiptir.
- Hafiflik: Nano takviyeli kompozitler, geleneksel materyellere göre daha hafiftir. Bu da bu kompozitlerin ağırlık sınırlı uygulamalarda kullanılmasına olanak sağlar.
- Dayanıklılık: Nano takviyeli kompozitler, geleneksel materyellere göre daha dayanıklı ve aşınma direnci yüksektir.
- Düşük yoğunluk: Nano takviyeli kompozitler, geleneksel materyellere göre yoğunluğu düşüktür. Bu da daha hafif olmasını sağlar.
- İyi elektriksel ve termal iletkenlik: Bazı nano takviyeli kompozitler, iyi elektrik ve ısı iletim özelliklerine sahiptir. Bu da bu kompozitlerin elektronik ve elektrikli cihazlarda kullanılmasına olanak sağlar [5, 15, 16].

Nano takviyeli kompozitler, aşağıdaki dezavantajlara sahiptir:

- Maliyet: Nano takviyeli kompozitler, üretim maliyeti yüksek olan malzemelerdir.
- Üretim zorluğu: Nano takviyeli kompozitlerin üretimi, karmaşık ve hassas bir işlemdir.
- Çevresel etkileri: Nano takviyeli kompozitlerin üretimi ve imha edilmesi, çevrede olumsuz etkiler yaratabilir.

2.1.2. Nano takviyeli kompozitlerin kullanım alanları

Nano takviyeli kompozitler, aşağıdaki gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır:

- Uçak ve otomotiv sanayi: Nano takviyeli kompozitler, uçak ve otomotiv gövdelerinde, motor parçalarında ve diğer yapısal elemanlarda kullanılmaktadır.
- Savunma sanayi: Nano takviyeli kompozitler, savunma sanayinde, zırhlı araçlarda, silahlarda ve diğer askeri ekipmanlarda kullanılmaktadır.
- İnşaat sektörü: Nano takviyeli kompozitler, inşaat sektöründe, köprülerde, binalarda ve diğer yapılarda kullanılmaktadır.
- Elektronik ve elektrikli cihazlar: Nano takviyeli kompozitler, elektronik ve elektrikli cihazlarda, devre kartlarında, kablolarda ve diğer bileşenlerde kullanılmaktadır.
- Sportif malzemeler: Raketler, bisiklet gövdeleri, golf sopaları gibi spor ekipmanlarında [15].

2.2. Polimer Matrisli Kompozitler

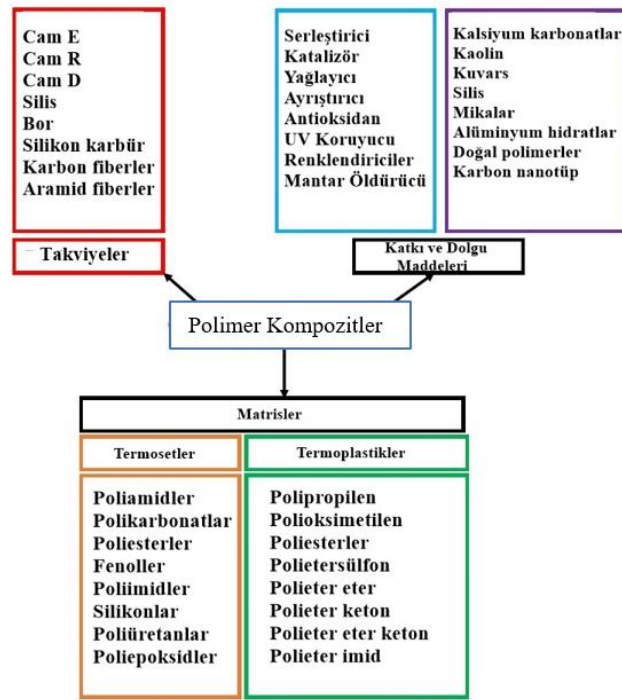
Pmk, polimer zincirleri ve katkı maddelerinin bir matris oluşturmak için bir araya getirildiği ve dolgu partiküllerinin de bu matrise dahil edildiği malzemelerdir. Takviyeler ile polimerlerin mekanik özellikleri iyileştirilir.

PMK'lar, geniş bir uygulama yelpazesine sahip önemli bir kompozit malzeme kategorisini oluşturur. PMK'lerde fiberler veya herhangi bir başka takviye maddesi polimer matrisin içine gömülür. Uygun fiber, matris, fiber konfigürasyonu (kısa, uzun, düz, dokuma, örgü, kaplama vb.) ve fiber yüzey işleminin seçimiyle özel

gereksinimlere göre uyarlanabilecek çok çekici özellikler sunarlar. PMK'ler, yüksek sertlik ve dayanım ile bir araya getirilmiş hafif malzemelerdir Aynı zamanda boyutsal değişiklik göstermemesi, sıcaklık ve kimyasal direnç ve kolay işlenme özellikleri de sergilerler. Gelişmiş PMK'ler, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde olmak üzere birçok alanda metal parçaların yerini almaktadır [17].

Polimer matrisli kompozitlerin özellikleri, matris malzemesinin, dolgu malzemesinin ve bunların arasındaki etkileşimlerin bir kombinasyonu ile belirlenir. Matris malzemesi, kompozitin mekanik özelliklerinin temelini oluşturur. Dolgu malzemesi, matrisin mekanik özelliklerini artırmaya ve diğer özellikleri de iyileştirmeye yardımcı olabilir.

Polimer matrisli kompozitlerin içeriğinde katkı ve dolgu maddeleri, takviyeler ve matrisler bulunur. Bunların da çeşitleri Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. PMK'ların içeriği [18].

PMK parçalar, farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilir. Bu yöntem seçimi, parçanın kalitesi, istenilen özellikler, üretim miktarı ve maliyet gibi faktörlere bağlıdır.

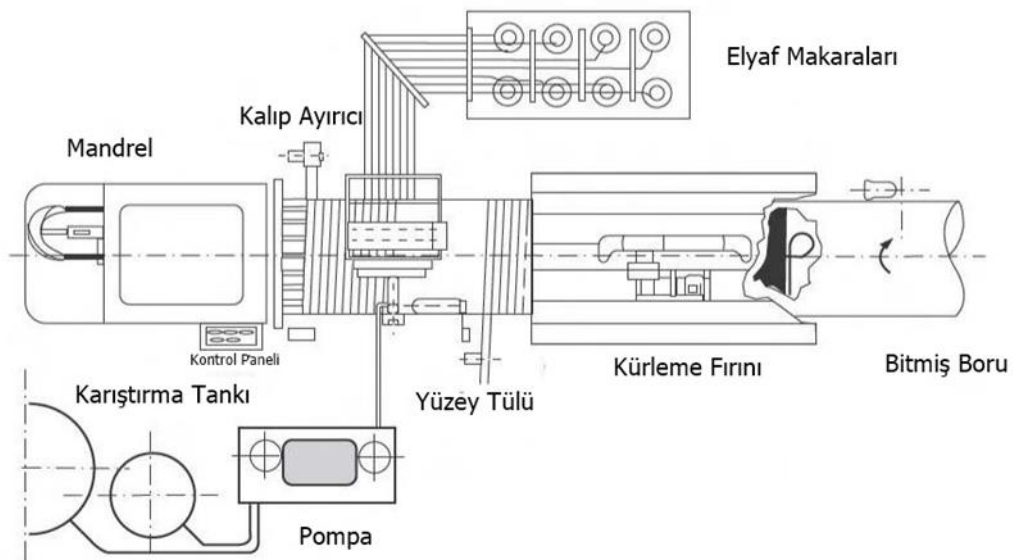
2.2.1. Sürekli elyaf sarma yöntemi

Elyaf sarma tekniği, kompozit materyellerin üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, sürekli elyaf lifleri, porselen deliklerden geçirilerek, dairesel hareket eden bir kalıp üzerine sarılır. Sürekli liflerin farklı sarma açılarla kalıba sarılması, farklı mekanik özelliklerde ürünler elde edilmesini sağlar.

Sürekli elyaf sarma yönteminde, dönen bir mandrel üzerine, üstten dökülen hammaddeler, dışarıdan mekanik baskı ile sıkıştırılır. Bu yöntemde, hammaddelerin yeri, miktarı ve oranı önemlidir. Boru üretiminde hem sürekli hem de kesikli elyaf kullanılabilir. Bu yöntemin avantajları arasında, boru boyunun istenilen ölçüde üretilmesi, üretimin hızlı ve maliyetinin düşük olması, üretilen boru çap aralığının geniş olması yer alır.

Elyaf sarma işleminde, sürekli ilerleyen bir kalıp üzerinde, elyaf dönen bir mandrel üzerine sarılır ve reçine dökülür. Son ürün, oda sıcaklığında bekletilerek veya bir post prosese maruz bırakılarak elde edilir.

Şekil 2.2’de sürekli elyaf sarma yöntemi ile boru üretimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Elyaf sarma tekniği ile boru üretimi[19].

Şekil 2.3'te sürekli elyaf sarma tekniği ile üretilmiş ctp boru görülmektedir.



Şekil 2.3. Elyaf sarma yöntemi ile üretilmiş cam elyaf takviyeli boru [20].

Avantajlar

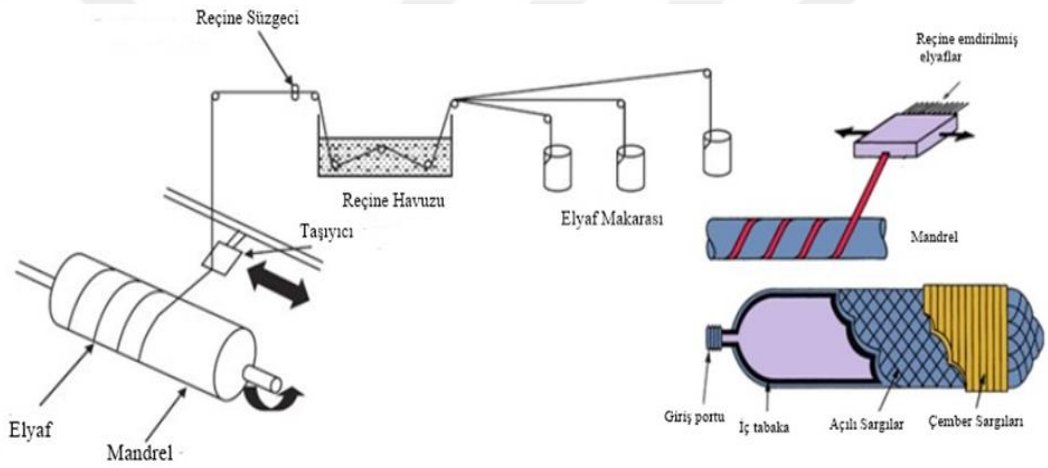
- Yarı otomatik bir yöntem olduğu için iş gücü diğer proseslere göre azdır.
- Fiber oranı, fiberlerin geometrik dizilimi ve fiber gerdirme hassas bir şekilde kontrol edilerek yüksek dayanıma sahip ürünler tekrarlı bir şekilde üretilir.
- Fiber oranı %70 gibi yüksek oranlara çıkabilmektedir.
- Fiber yönelimleri kontrol edilerek anizotropik özelliklere sahip parçalar üretilir.
- Görece düşük maliyetlerle büyük parçalar üretilmektedir. Bu yöntemle 15 m çapında depo tankları üretmek mümkündür.
- Diğer birçok PMK üretim yöntemine göre malzeme israfı çok azdır [21].

Dezavantajlar

- Karmaşık şekilli ya da hem içbükey hem dışbükey eğime sahip parçaları üretmek, çok küçük açık uçlu parçaları üretmek çok zordur/mümkün değildir.
- Her ne kadar otoklav ile kalıplama kadar pahalı olmasa da önemli yatırım gerektiren bir prosestir.

- Elyaf demetinin katlar arasında çekme dayanımı ve basma dayanımı düşüktür.
- Eğer harici kalıplar ya da kalıplama cihazları kullanılmaz ise yüzey kalitesi kötüdür.
- Üretilen parçanın kalitesi otoklavlı kalıplamaya göre daha düşüktür çünkü yapıdaki boşluklar daha fazladır [22].

Şekil 2.4'te elyafların reçine havuzuna daldırıldığı elyaf sarma yöntemi görülmektedir. Bu yöntemde sürekli elyaf sarma yönteminden farklı olarak elyaflar reçineyi üstten damlatma yerine reçine havuzuna daldırılarak ıslatılır.



Şekil 2.4. Reçine havuzlu elyaf sarma yöntemi [23].

2.3. Reçineler

Fiberglas borunun ikinci ana bileşeni reçine sistemidir. Üreticiler kimyasal, mekanik ve termal özellikler ve işlenebilirlik açısından bir reçine sistemi seçerler. Reçine sistemlerinin iki temel grubu termoset ve termoplastiktir. Fiberglas boru, tanımı gereği yalnızca ısıyla sertleşen reçine sistemlerini kullanır. Termosetler ısı veya kimyasal maddeler ile kürlenerek polimerik reçine sistemleridir. Bir kez kürlendikten sonra, bir termoset yeniden eritilemez ve çözünmezdir. Fiberglas borularda kullanılan ısıyla sertleşen reçineler iki genel kategoriye ayrılır: polyesterler ve epoksiler.

2.3.1. Polyester reçineler

Polyester reçineler, çok işlevli asitler ve polialkollerin polimerizasyonu ile oluşur. Polyester reçineler, çift karbon bağları içerip içermediğine bağlı olarak doymuş ve doymamış polyester olarak sınıflandırılabilirler. Bu tepkimenin sıcaklığı tipik olarak 200 ila 260°C arasındadır. Kullanılan hammaddelerin kararlılığına bağlı olarak ideal sıcaklık seçilir. Bu doğrudan esterleşme tepkimesi, doymamış polyester için en çok kullanılan tepkimedir. Polimerin moleküler ağırlığı, yapısı, fonksiyonel u gruplarının tipi ve sayısı, reaktanların türü ve moleküler oranları değiştirilerek kontrol edilebilir.. Polimerin fonksiyonelliğini ve dallanma seviyesini kontrol etmek için çeşitli hammaddeler kullanılabilir. Asit fonksiyonel hammaddelerin fazlalığı, asit fonksiyonel gruplar içeren bir polimer oluşturur.

Çok işlevli alkollerin fazlalığı ise hidroksil u grupları içeren bir polimer verir. Dallanma istenirse, üç veya dört işlevli polihidroksil bileşikleri gibi çok işlevli hammaddeler kullanılır. Pratikte, polimer molekülünü tasarlamak için geniş bir yelpazede hammadde mevcuttur [24].

Polyester reçineler genellikle büyük çaplı su ve kanalizasyon boruları üretmek için kullanılır. Polyesterler mükemmel su ve kimyasal dirence sahiptir ve asit direnciyle dikkat çekmektedir. Baz polyester reçinesi katıdır. Tipik olarak stiren monomerinde çözülür ve nihai termoset yapıyı sağlamak için çapraz bağlanır. Polyester reçineler organik peroksit katalizörleri ile kürlenir. Katalizörün türü ve miktarı jelleşme süresini, sertleşme süresini, sertleşme sıcaklığını ve kürlenme derecesini etkileyecektir. Tipik katalizörler arasında metil etil keton peroksit (MEKP) ve benzil peroksit yer alır. Üreticiler, çok çeşitli performans özellikleri sağlayan birkaç farklı tipte polyester reçine arasından seçim yapabilir. Bunlar şunları içerir:

- Ortoftalik polyester,
- Teraftalik polyester,
- Klorendik asit polyester,
- Novolak epoksi vinil ester,
- İzoftalik polyester,
- Bisfenol-a fumarat polyester,
- Bisfenol-a vinil ester [25].

Polyester reçinelerin çekme mukavemetleri 34,5 ile 103,5 MPa arasında değişmektedir. Polyester reçinelerin camsı geçiş sıcaklığı, epoksi reçinelerle karşılaştırıldığında 70°C ile 120°C arasında bir aralıktadır. Polyesterler, stiren gibi vinil monomerlerde     nen, uzun zincirli ve doğrusal bir yapıya sahip polimerlerdir. Bu polimerler, doymuş ve doymamış dikarboksilik asitlerin ( rneğin, ftalik anhidrit ve maleik anhidrit) susuz formlarının bir araya gelmesiyle oluşur. Asitler, diollerle reaksiyona girerek polimer omurgasını oluşturan ester gruplarını oluşturur. Polimer zincirlerinde bulunan doymamış bölgeler reaktifdir ve stiren monomeri ile serbest radikal reaksiyonu yoluyla çapraz bağlanır. Başlatıcı olarak metil etil keton peroksit MEKP gibi bir peroksit kataliz  r  kullanılır. Belirli bir sıcaklıkta reaksiyonun hızı, reçinede kobalt oktoat gibi radyoaktif bir hızlandırıcı kullanılarak arttırılabilir. Reçinenin katılaşması için belli bir süre gereklidir. Sisteme yapılan ısı girişi, reaksiyonunu önemli ölçüde hızlandırır [17].

2.3.1.1. Doymamış polyester reçine

Doymamış polyester reçineler, kaplama, elyaf, kompozit ve plastik gibi geniş uygulama alanı olan sentetik kopolimerlerdir. Monomerlerin, k rleme maddelerinin seçimine ve takviye elemanının kullanımına göre geniş bir yelpazede istenen yapılarda materyeller üretiler.  retimlerinde yer alan düşük maliyet onları popüler hale getirmiştir. Temel uygulama sahaları kompozitlerin matrisleridir. Kompozitler arasında cam elyaf takviyeli kompozitler kullanım alanlarını sıralamak gerekirse başlıca olarak denizcilik, otomotiv, elektrik, inşaat ve havacılık sektörleridir [26].

Polyester, dialkol ve dikarboksilik asitlerin bir araya gelmesiyle oluşan, uzun zincirli polimerlerden oluşan bir malzeme sınıfıdır. Bu polimerlerin temel özelliği, zincirlerinde çok sayıda tekrarlanan ester (-COO-) gruplarıdır. En yaygın polyester türü, etilen glikol ve tereftalik asit veya dimetil tereftalat gibi dikarboksilik asitlerin esterleşmesiyle oluşur [27].

Polyesterler, çeşitli organik asitler ve glikollerin kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan polimerlerdir. Bu reaksiyonda ftalik anhidrit, maleik anhidrit, izoftalik asit, adipik asit ve fumarik asit gibi organik asitler; propilen glikol, etilen glikol, dietilen glikol, dipropilen glikol ve neopentil glikol gibi glikoller kullanılır. Polyesterlerin temel yapısal özelliği, zincir boyunca tekrar eden ester bağlarıdır. Bu ester bağları, oksijen

ve karbonil karbon atomlarından oluşur ve polar yapıdadır. Farklı ester gruplarının sahip olduğu polarite, zincirler arası etkileşimi ve kristal yapı oluşumunu sağlar [28].

Polyesterlerin üretim yöntemleri, başlangıç maddelerinin özelliklerine göre değişir. En yaygın kullanılan yöntem, polihidroksi asitlerin (polialkoller ve hidroksiasitler gibi) ve polikarboksilik asitlerin (serbest karboksil grupları içeren) kondenzasyon reaksiyonu ile doğrudan esterleşmesidir. Bu yöntem, hem iki hem de üç boyutlu polyesterlerin üretimini mümkün kılar [29].

Polyester reçineler, farklı dibazik asitler ve diollerin polimerizasyonu yoluyla üretilen, geniş bir yelpazede mekanik ve kimyasal özelliklere sahip bir reçine sınıfıdır. Bu reçineler, sahip oldukları esneklik, dayanıklılık ve uygun maliyet gibi avantajlar sayesinde birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. OPR, düşük maliyetli ve genel amaçlı kullanıma uygundur. İPR, ortoftalilere göre daha yüksek gerilme ve bükülme dayanımlarına sahiptir. Vinilester reçineler, kimyasallara ve korozyona karşı yüksek direnç gösterir.

Monomerik diollerin ve dibazik asitlerin seçimi: Farklı dibazik asitler ve diollerin kullanımı, polyester reçinelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, İPR'ler, OPR'lere göre daha yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler oluşturarak daha yüksek gerilme ve eğilme dayanımları sunar. Miktarları, kullanılan dibazik asit ve diol miktarları da mekanik özellikleri etkileyen bir faktördür. İşlem sıcaklığı, polyester reçinelerin üretim ve kurlenme sıcaklıkları da mekanik özelliklerini belirlemede önemli rol oynar. Farklı ajanlar kullanılarak çapraz bağlı hale getirilen polyester reçineler, yüksek sıcaklıklardaki fiziksel deformasyonlara karşı oldukça dirençli hale gelir. Sonuç olarak, polyester reçineler, sunduğu geniş mekanik ve kimyasal özellik yelpazesi, esneklik, dayanıklılık ve uygun maliyet gibi avantajlar ile birçok farklı sahada önemli bir rol oynamaktadır. Uygun polyester reçine seçimi, kullanım amacına ve istenen özelliklere bağlı olarak yapılmalıdır [30].

Polyester reçineler genellikle kompozit materyel olarak kullanılırlar. Bu polimerler en az iki farklı materyelden yapılırlar. Takviye elemanları reçinenin özelliklerini ve karakteristiklerini geliştirmek için kullanılır. Üretim kürleşme daha gerçekleşmemişken yapılır. Bu reçinelerin mekanik nitelikleri çok iyidir. PMK'larda kullanılan polyester reçinelerinin iki ana çeşidi vardır. OPR birçok endüstri tarafından kullanılan ekonomik bir reçinedir. İPR ise marine endüstrisinde sıkça

kullanılan bir maddedir. Bunun sebebi su aşınmasına ve korozyona karşı olan direncidir [31].

Doymamış polyester reçineler geniş bir yelpazede uygulamaya sahiptir. Mükemmel mekanik ve elektriksel özellikler, korozyona karşı direnç ve üstün ısı kararlılık sunarlar. Alev ve kimyasallara karşı dirençlidirler. Ancak, sert değildirler ve kolayca kırılabilirler. Bu nedenle döküm malzemesi olarak kullanılırlar. Motor parçaları, elektrik kutuları, botlar, tanklar ve havuzlarda kullanılırlar. Dolgu maddeleri ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin yapımında kullanılırlar. Tekstil sektöründe elyaf ve dokuma için kullanılırlar [32].

2.3.1.2. Başlatıcılar

Başlatıcılar, genellikle O₂ içeren peroksit bileşikleridir. Oksijen bağı kararlı olmadığı için ısı etki ile parçalanırlar. Bu parçalanma sonucu etken molekülür oluşur. Bu etken molekülür polyester reçine içinde yeterli miktarda oluşursa polyesterin ve stirenin çift bağları bazı yerlerde açılır. Sonucunda tekrar etken molekülür oluşur ve bir zincirleme kimyasal tepkime meydana gelir. Bu tepkimede çift bağlar tükenene kadar veya reçine kürleşene mevcut çift bağlara etken molekülür varamayınca kadar devam eder. Bu sebeple peroksit miktarının doymamış polyesterin çeşidine ve istenilen reaksiyon hızına göre ayarlamak oldukça önemlidir.

2.3.1.3. Hızlandırıcılar

Peroksitlerin parçalanarak etken molekülür oluşturma ya sıcaklık etkisiyle ve hızlandırıcı ile olur. Hızlandırıcı olarak adlandırılan kimyasallar kürleşme için gerekli olan aktifleştirme enerjisini aşağıya çekerler. Kısaca reçineye hızlandırıcı katılması ile peroksit daha düşük sıcaklıklarda etken molekülür ayrılır. Doymamış polyesterlerin sertleştirilmesinde kullanılan hızlandırıcı kimyasallar kobalt ve vanadyum metallerinin bileşikleri ile azotlu bileşiklerdir [32].

2.4. Nano Malzemeler

Cam elyaf takviyeli polimer kompozitler, endüstriyel uygulamalarda kullanımı giderek artan, ancak mekanik özellikleri geleneksel metal malzemelerden daha düşük olan malzemelerdir. Bu malzemeler, diğer avantajları arasında yüksek mekanik performans sonucuyla yakın zamanda trend olmuştur. Cam elyaf takviyeli plastikler, yüksek mekanik performans, iyi termal ve fiziksel özellikler gibi gelişmiş özelliklere

sahip çok işlevli malzemeler için önemlidir. Cam elyaf takviyeli plastiklerin, farklı uygulamalar için inorganik dolgu ve nanopartikül içeren çeşitli polimerlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu polimerler, cam elyaf takviyeli plastiklerin mekanik özelliklerini ve diğer performans özelliklerini daha da artırmaya yardımcı olmaktadır. Cam elyafın yüksek maliyeti, polimer nano-kompozitlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu kompozitler, nano dolgu maddelerinin dahil edilmesiyle, daha düşük yükleme hızlarında ilginç mekanik, termal ve elektriksel özellikler kazandırmasına zemin hazırlar. Ayrıca, daha az hammadde kullanıldığı için maliyetleri de düşürmektedir [33].

Nano materyaller, benzeri malzeme türlerine kıyasla çarpıcı özelliklere sahip oldukları için giderek artan bilimsel ilgi gören ileri seramik malzemelerdir. Nano kompozit parçacıklar, iki farklı malzemenin tek bir hibrit parçacık haline getirilmesiyle oluşur, elektronik ve mühendislik uygulamaları dahil olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılabilen veya mevcut özellikleri geliştirmek için kullanılabilen çok işlevli bir malzeme oluşturur [34].

Nanokompozitler, son yıllarda yapılan araştırmalar ve yenilikler sayesinde, otomobil gövdelerinden uzay araçlarına kadar çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [35].

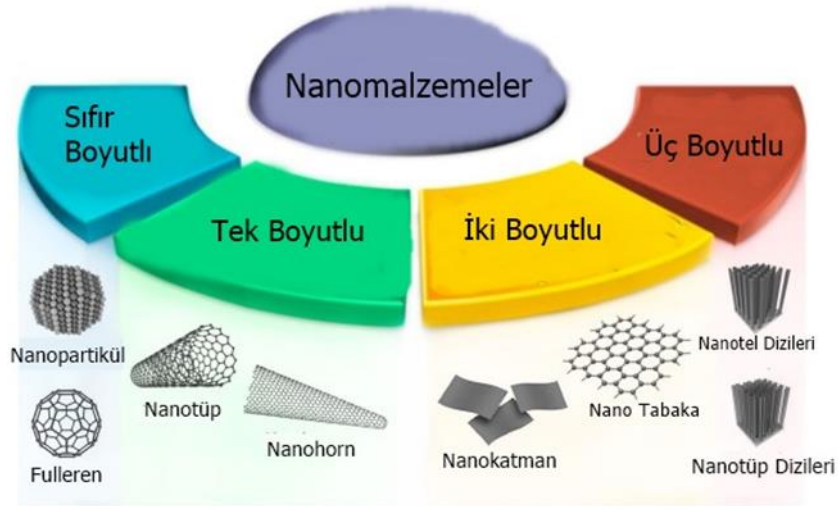
2.4.1. Nano malzemelerin sınıflandırılması

Nano malzemeler, boyutlarının nanometre aralığında olduğu malzemelerdir. Nano malzemeler, geleneksel malzemelerden farklı fiziksel ve kimyasal niteliklere sahiptir. Bu nitelikler, nano malzemelerin çeşitli uygulamalarda kullanılmasına olanak tanır.

Nano malzemeler, boyutlarına göre sınıflandırılabilirler.

0B nano malzemeler, tek bir boyutunun 0,8 ila 2 nanometre aralığında olduğu malzemelerdir. 1B nano malzemeler, iki boyutunun nanometre aralığında olduğu malzemelerdir. 2B nano malzemeler, üç boyutunun nanometre aralığında olduğu malzemelerdir. 3B nano malzemeler, dört boyutunun nanometre aralığında olduğu malzemelerdir [1,2].

Şekil 2.5'te nano malzemelerin boyutlarına göre sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Nano malzemelerin boyutlarına göre sınıflandırılması [36].

0B nano malzemeler, genellikle nanopartiküller olarak adlandırılır. Nanopartiküller, küresel, silindirik veya diğer şekillerde olabilir. Nanopartiküller, metaller, metal oksitler, seramikler, polimerler ve diğer malzemelerden yapılabilir.

1B nano malzemeler, genellikle nanotüp, nanolif veya nano çubuk olarak adlandırılır. Nanotüp, tüp şeklindeki bir nano malzemedir. Nanolif, fiber şeklindeki bir nano malzemedir. Nano çubuk, çubuk şeklindeki bir nano malzemedir. Nanotüp, nanolif ve nano çubuklar, genellikle karbondan yapılır [37, 38].

2B nano malzemeler, genellikle grafen, molibden disülfür veya grafen benzeri malzemeler olarak adlandırılır. Grafen, tek bir atom kalınlığındaki bir karbon malzemesidir. Molibden disülfür, iki atom kalınlığındaki bir disülfür malzemesidir. Grafen benzeri malzemeler, grafenin özelliklerini taklit eden malzemelerdir.

3B nano malzemeler, genellikle nanokompozitler olarak adlandırılır. Nano katkılı PMK'lar , en az iki materyelden oluşan kompozitlerdir. Nanokompozitler, nanopartiküller, nanotüp, nanolif veya nano çubuklar gibi nano malzemeleri içerir [37].

2.4.2. Nano malzemelerin kullanım alanları

Enerji

- Güneş pilleri: Nano malzemeler, güneş ışığını daha verimli bir şekilde elektriğe dönüştürmek için güneş pillerinde kullanılır. Örneğin, nano

titanyum dioksit (TiO_2), güneş ışığını daha verimli bir şekilde emmek için güneş pillerine eklenir.

- Yakıt hücreleri: Nano malzemeler, yakıt hücrelerinde, hidrojen ve oksijenin kimyasal enerjisini elektriğe dönüştürmek için kullanılır. Örneğin, nano platin, yakıt hücrelerinde katalizör olarak kullanılır.
- Akümülatörler: Nano malzemeler, piller ve aküler gibi enerji depolama cihazlarında kullanılır. Örneğin, nano lityum oksit, lityum iyon pillerde elektrot olarak kullanılır [39, 40].

Tıp ve biyoteknoloji

- Tedavi: Nano malzemeler, ilaçların hedefli olarak verilmesi, kanser tedavisi ve doku onarımı gibi tıbbi uygulamalarda kullanılır. Örneğin, nano doku mühendisliği, organ ve dokuların yenilenmesi için nano malzemelerin kullanıldığı bir alandır.
- Tarama: Nano malzemeler, tıbbi taramalar için kullanılır. Örneğin, nanopartiküller, kanser hücrelerini tespit etmek için tıbbi görüntülemelerde kullanılır.
- Teşhis: Nano malzemeler, hastalıkların teşhisi için kullanılır. Örneğin, nanopartiküller, kandaki hastalıkları tespit etmek için kullanılır.
- Kişisel bakım: Nano malzemeler, kozmetikler, güneş kremi ve deodorant gibi kişisel bakım ürünlerinde kullanılır. Örneğin, nano titanyum dioksit, güneş kremlerinde UV ışınlarından koruma özelliği sağlar.
- Gıda: Nano malzemeler, gıdaların korunması, paketlenmesi ve dağıtımı için kullanılır. Örneğin, nanopartiküller, gıdaların bozulma süresini uzatmak için kullanılır.
- Su arıtma: Nano malzemeler, suyun arıtılması ve temizlenmesi için kullanılır. Örneğin, nanofiltrasyon, sudaki kirleticileri ve mikroorganizmaları gidermek için kullanılan bir su arıtma yöntemidir [41].

Endüstri

- Yapı malzemeleri: Nano malzemeler, daha düşük ağırlıkta ve daha dayanıklı yapı malzemeleri üretmek için kullanılır. Örneğin, nano kompozitler, beton ve çelik gibi geleneksel yapı malzemelerini güçlendirmek için kullanılır.
- Boya ve kaplama: Nano malzemeler, daha dayanıklı, daha parlak ve daha kir tutmayan boya ve kaplamalar üretmek için kullanılır. Örneğin, nano titanyum dioksit, boya ve kaplamalara güneş ışığını yansıtarak yüzeylerin daha az kirlenmesini sağlayan bir özellik kazandırır.
- Elektronik: Nano malzemeler, daha yüksek enerji verimliliğinde elektronik cihazlar üretmek için kullanılır. Örneğin, nano yarı iletkenler, bilgisayar çiplerinde kullanılır [42].

2.4.3. Nano TiO₂

Titanyum ve oksijen atomlarından oluşan, rutil ve ilmenit gibi minerallerden elde edilen doğal, beyaz bir pigmenttir. Erime noktası 1845°C'dir [43].

Nano TiO₂, ya da nano titanyum dioksit, farklı alanlarda geniş uygulama çeşitliliğine sahip, yaygın olarak kullanılan bir nanomalzemedir. Gıda ve kişisel bakım ürünlerinde, ambalaj filmlerinde, tekstil üretimde, atık su arıtma sistemlerinde, kompozit malzemelerde ve fotokatalitik teknolojilerde sıklıkla kullanılır. Gıda alanında nano TiO₂ renk, tat ve parlaklığı arttırmak için birçok gıda ürününde, özellikle gıda ambalajlarında ısıl dayanıklılığını arttırdığı için kullanılmaktadır. Kişisel bakım alanında ultraviyole filtresi olarak güneş kremlerinde kullanılmaktadır. TiO₂'nin yüksek kırılma indeksi, UV ışınlarına karşı yüksek yansıtıcı ve saçılma sahip olmasını sağlar, bu da cilt üzerinde etkili bir koruma tabakası oluşturmaya yardımcı olur. Beyaz rengi sayesinde fondötenlerde ve pudralarda pigment olarak kullanılır. Diş macunlarında ise diş beyazlatıcı olarak kullanılmaktadır [44, 45]. Nano TiO₂, kâğıt hamuru atık suyu gibi yüksek derecede kirlenmiş atık suyun arıtımında, güneş fotokatalitik oksidasyon aracılığıyla kullanılmıştır [46].

2.4.4. Nano SiO₂

Silisyum dioksit (SiO₂), doğada en bol bulunan ikinci mineraldir. Kuvars, kum ve camın ana bileşenidir. Nano SiO₂, SiO₂'nin 100 nanometrenin (nm) altındaki boyutlardaki partiküllerine verilen addır.

Önemli kullanım sahalarından biri de inşaat sektörüdür. Nano SiO₂, beton malzemelerine eklenerek betonun mekanik niteliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Araştırmalar, nano SiO₂'nin betona eklenmesinin hidrasyon reaksiyonlarını desteklediğini, iç gözenek yapısını optimize ettiğini ve betonun dayanıklılığını artırdığını göstermiştir [47].

Nano SiO₂, ahşap-polimer kompozitlerde de kullanılmaktadır. Buralarda boyut kararlılığı, sertlik ve alev dayanımı gibi özelliklerini artırmak için kullanılmaktadır. Reçine verimliliğini artırmak için inşaat malzemeleri için reçine modifikasyonunda kullanılmıştır [48]. Fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için naylon kumaşların modifikasyonunda da kullanılmıştır nano SiO₂, yapay çim elyaflarının güçlendirilmesi, sertleştirilmesi, aşınma direnci ve kızılötesi emilimini iyileştirmek için kullanılmıştır [49].

Nano SiO₂, elektronik sektöründe de uygulamalar bulmuştur. Uzak fosforlu yapıları beyaz ışık yayan diyotların optik performansını artırmak için kullanılmaktadır [50].

2.4.5. Nano Al₂O₃

Nano Al₂O₃, malzeme, inşaat, enerji ve kaplama alanlarında kullanılmaktadır.

Malzeme Bilimi:

Al₂O₃ nanopartikülleri, mekanik özelliklerini ve aşınma direncini artırarak alüminyum alaşımlarını takviye etmek için kullanılır [51].

Betonun mekanik özelliklerini, donatıya karşı dayanıklılığını ve tokluğunu iyileştirmek için beton karışımlarına dahil edilir [52].

Havacılık endüstrisinde, yorgunluk ve tribolojik özellikleri artırmayı gerektiren uygulamalarda metal matris kompozitler için Al₂O₃ nano-takviyeli malzemeler kullanılır [53].

İnşaat Mühendisliği:

İnşaat mühendisliğinde, çimento harçlarının mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır [54, 55].

Enerji ve Isı Yönetimi:

Ev tipi buzdolaplarında performanslarını geliştirmek için nano soğutucularda kullanılmıştır [56].

Pil termal yönetim sistemleri için faz değıştiren malzemelerde kullanılarak termal özellikleri artırma potansiyeli göstermiştir [57].

Otomotiv sektöründe, otomotiv sistemlerinde ısı transferini iyileştirmek için hibrit nano soğutucu olarak kullanılmıştır [58].

Kaplamalar ve İnce Filmler:

Aşınma, difüzyon ve korozyonu azaltmak için koruyucu kaplamalarda yaygın olarak uygulanarak malzeme dayanıklılığını artırır [59].

Kuvars elyaf üzerine nano-kaplama sentezi için plazma elektrolizi püskürtme tekniğinde kullanılarak termal iletkenlik ve stabiliteyi artırmak hedeflenir [60].

2.4.6. Nano ZrO₂

Nano zirkonyum oksit (ZrO₂), benzersiz özellikleri nedeniyle dişçilik, doku mühendisliği, malzeme bilimi, inşaat, kataliz ve nano-kaplamalar gibi pek çok sahada kullanıma sunulmuştur.

Tıp ve Mühendislik:

Dişçilik ve doku mühendisliğinde gelişmiş mekanik özellikleri ve üstün biyolojik uyumluluk nedeniyle kullanılır [61].

Mühendislik seramikleri, frezeleme, refrakter malzemeler, çizilmez kaplamalar, elektronik, yakıt hücresi elektrolitleri ve oksijen sensörlerinde kullanılır [62].

Protez, implant ve insülin gibi ilaçların taşıyıcısı olarak biyomühendisliğe katkıda bulunur [63].

Seramik, diş ve optik kaplamalarda, fotokatalitik ve piezoelektrik uygulamalarda yaygın olarak kullanılır [64].

Malzeme Bilimi:

Portland çimentosunun hidrasyon süreçlerini hızlandırarak mikro yapısını değiştirdiği ve insan osteosarkoma hücreleriyle biyolojik uyumluluğunu artırdığı gösterilmiştir [65].

Betonun içine eklenmesi, kendiliğinden sıkıştırma betonu dahil olmak üzere çeşitli beton türlerinde çekme dayanımı ve su emilimini etkilediği bulunmuştur [66].

Polimer karışımlarına dahil edilmesinin, petrol tanklarında potansiyel uygulamalarla birlikte mekanik ve termal stabiliteyi artırdığı gösterilmiştir [67].

Diş Hekimliği:

Diş protezi taban malzemelerinin yapımında kullanımı, ısıyla polimerize akrilik reçinenin eğilme dayanımı, kırılma tokluğu ve sertliğini etkilediği gösterilmiştir [68].

Mekanik nitelikleri üzerindeki etkisi, eğilme ve darbe dayanımını önemli ölçüde iyileştirdiğini gösteren bulgularla birlikte çalışılmıştır [69].

Diğer Alanlar:

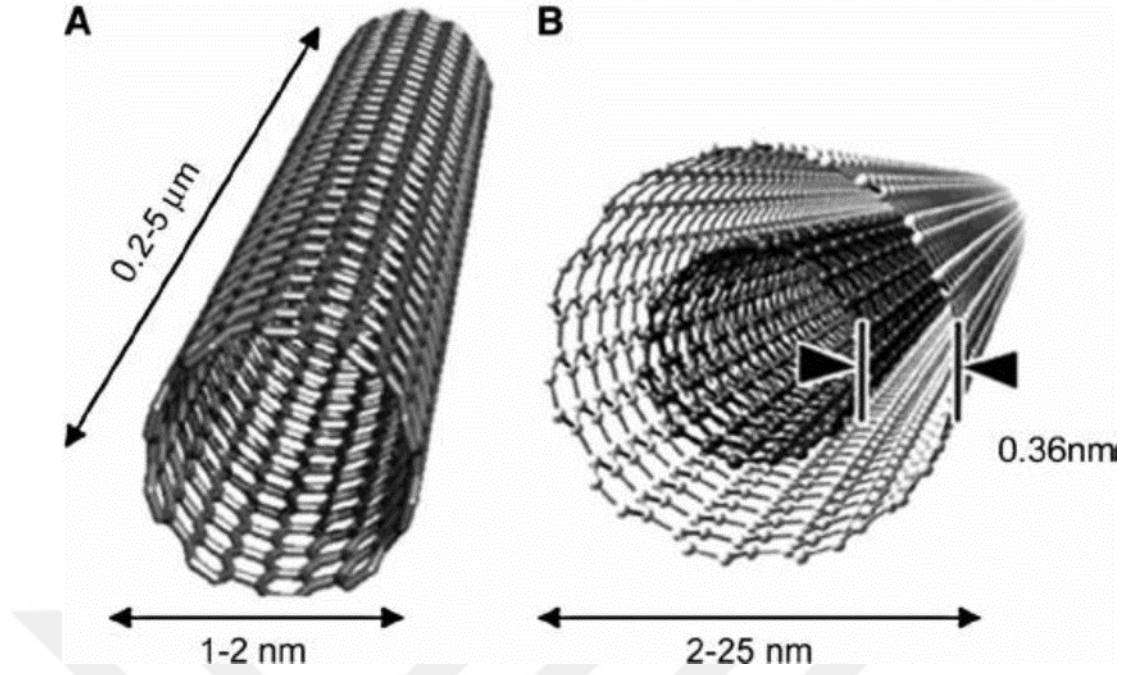
Süperhidrofobik nano-kaplamalar alanında, benzersiz özellikleri nedeniyle önemli ilerlemeler kaydetmiştir [70].

Katalizör olarak çeşitli organik reaksiyonlarda kullanımı, asit direnci göstererek hidrojenleme süreçleri için uygun hale getirmektedir [71].

Benzimidazol-füzyon heterosikllerin sentezinde kullanımı, katalitik uygulamalardaki çok yönlülüğünü göstermektedir [72].

2.4.7. Karbon nanotüp

Karbon nanotüpler (KNT'ler), grafenin silindirik bir yapıya dönüştürülmesiyle üretilir. Bu silindirik yapıların uçları küresel kapaklarla kapatılabilir. KNT'lerin çapları nanometre boyutlarındayken, uzunlukları 20 nanometreye kadar ulaşabilir. Silindirik yapının eksenine boyunca hekzagonal karbon birimlerinin dizilişi KNT'leri üç gruba ayırır: Zigzag, armchair ve chiral tipler. Enine kesit alınarak yapılan incelemede bu tipler kolayca ayırt edilebilir. Tek kat grafen sarımla üretilen KNT'ler tek katlı KNT (TDKNT) olarak adlandırılır. Birden fazla katman sarılmasıyla üretilen çift katlı ve çok katlı KNT'ler de yaygın olarak kullanılır [73]. KNT'ler, TDKNT ve ÇDKNT olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır (Şekil 2.6.) [74].



Şekil 2.6. Karbon nanotüp **A.** TDKNT **B.** ÇDKNT [75].

TDKNT'ler, tek bir karbon zincirinin sarılması ile oluşur. ÇDKNT'ler ise, birkaç TDKNT'nin bir arada sarılması ile oluşur [76].

KNT'lerin boyutları, nanometre cinsinden ölçülür. TDKNT'lerin çapı genellikle 0,7 ila 2 nanometre arasındadır. ÇDKNT'lerin çapı ise, birkaç nanometreden birkaç yüz nanometreye kadar değişim gösterebilir. KNT'lerin uzunluğu ise, mikrometre cinsinden ölçülür [77].

Kullanım Alanları

KNT'ler, çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır. Bazı önemli kullanım alanları şunlardır:

Elektronik: KNT'ler, yüksek elektriksel iletkenlikleri nedeniyle, elektronik cihazlarda, özellikle de sensörlerde, transistörlerde ve kapasitörlerde kullanılmaktadır.

Mekanik: KNT'ler, yüksek mekanik özelliklerinden dolayı, yapı malzemelerinde ve kompozit malzemelerde kullanılmaktadır.

Termal: KNT'ler, yüksek termal iletkenliklerinden dolayı, termal yönetim sistemlerinde ve enerji depolama cihazlarında kullanılmaktadır.

Optik: KNT'ler, optik özelliklerinden dolayı, ışık emicilerde, ışık kaynaklarında ve fotovoltaiik cihazlarda kullanılmaktadır [78].

Tek Duvarlı Karbon Nanotüpler

Tek duvarlı karbon nanotüpler grafen levhaların eksiz ve hatasız birer silindir halini alması olarak tanımlanabilir. Genellikle tek duvarlı karbon nanotüplerin çapı 0.6 – 2.0 nm'dir. Ancak daha küçük yani 0.4 nm ve daha büyük olan 3.0 nm çaplı TDKNT de çeşitli araştırmalarda incelenmiştir. Büyük çaplı TDKNT'ler başka bir kuvvet tarafından desteklenme olmadığı zaman çökme eğilimi gösterirler. TDKNT tipi genellikle, Van der Waals bağının nanotüpleri bir arada tutması sonucunda oluşmaktadır [79].

1993'te Iijima, Toshinari ve arkadaşları tarafından üretilen tek duvarlı karbon nanotüpler bilim dünyasında dikkat çekici bir gelişme olmuştur. Teorik olarak tanımlanan “ideal” nanotüp yapısına çok benzeyen tek duvarlı karbon nanotüpler, bükülme ve kırılma olmadan küçük daireler oluşturma gibi üstün özelliklerinden dolayı ÇDKNT'lere göre daha fazla araştırılmıştır. TDKNT'lerin kristal yapıları zigzag ve koltuk kristal yapıları şeklindedir. TDKNT'lerin elektronik özellikleri, grafit tabakasının sarım şekline göre değiştirilebilmektedir. Böylece tek duvarlı karbon nanotüpler metalik veya yalıtkan özellikler sergilemektedirler [80].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasının deneysel çalışmaları ikiye ayrılmaktadır. İlk deneysel çalışma bölümünde deneyler için kullanılacak polyester matrisli nano kompozit malzemelerin hazırlanması mekanik testlere tabii tutulması yer almaktadır. İkinci deneysel çalışma bölümünde cam elyaf takviyeli polyester boru numunesi üretimi yer almaktadır.

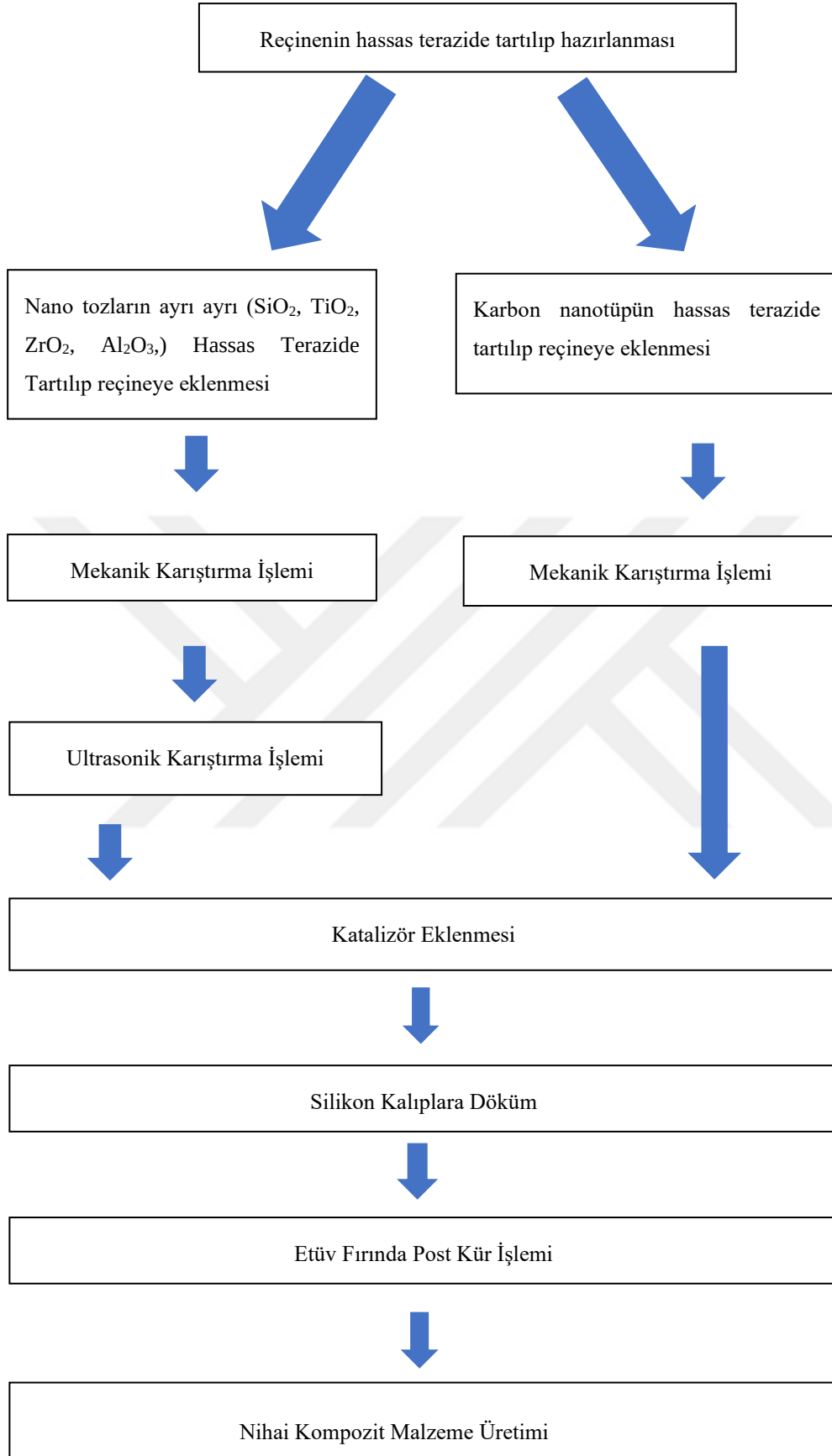
3.1. Malzemeler ve Numune Üretimi

Matris malzemesi olarak teraftalik polyester reçine (1/100 sertleştirici) kullanılmıştır. Polyester matris içerisine katılan katkılarda ise nano tanecikli silisyum dioksit (SiO_2), zirkonyum dioksit (ZrO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2) ve tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT) kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri.

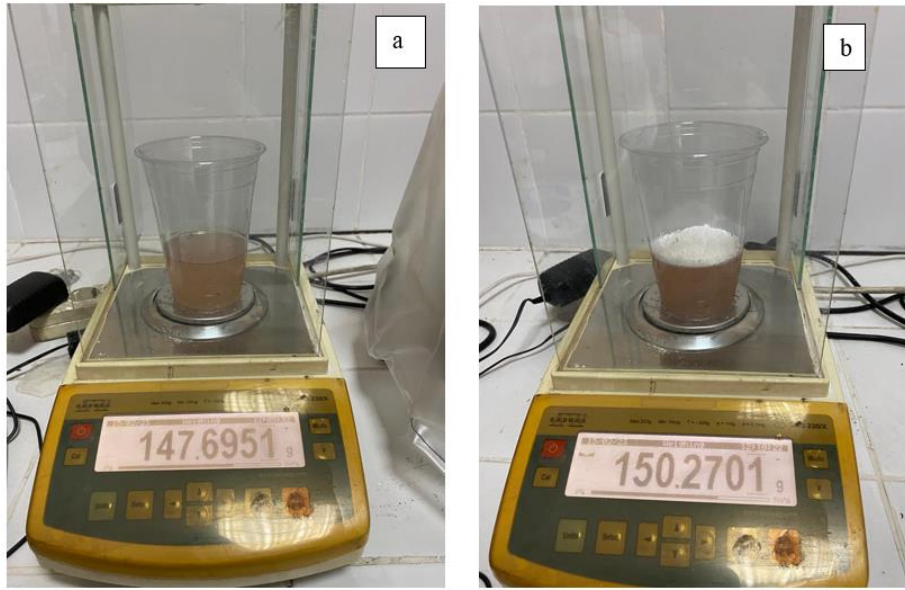
Malzemeler	Özellikler	Marka
Polyester Reçine	Teraftalik	REICHHOLD™
Zirkonyum dioksit (ZrO_2)	15-25 nm	Alfa-Aesar™
Titanyum dioksit (TiO_2)	32 nm	Alfa-Aesar™
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	40-50 nm	Alfa-Aesar™
Silisyum dioksit (SiO_2)	10-20 nm	Alfa-Aesar™
Karbon nanotüp	Tek duvarlı	TUBALL™

Numuneler deneylere hazırlanırken kullanılan akış şeması Şekil 3.1’deki gibidir;



Şekil 3.1. Numune hazırlama akış şeması.

Teraftalik reçine içerisine belirlenen miktarlarda %2 oran olacak şekilde nano partiküller eklenerek mekanik karıştırıcı (WiseStir HT50DX) ile 1 saat boyunca 500 rpm’de karıştırılmıştır (Şekil 3.3.). Ön karıştırması tamamlanan reçine ultrasonik karıştırıcıya (Sonics VC750) alınarak %30 genlikte 15 dakika boyunca karıştırma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.4.). Ultrasonik karıştırma esnasında oluşan ısının reçinenin yapısını bozmaması için bir kap içerisine buzlu su koyularak onun içerisinde karıştırma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.2’de reçinenin tartılması işlemi görülmektedir.



Şekil 3.2. a. Hassas terazide tartılan teraftalik reçine b. İçerisine nano partikül eklenmiş teraftalik reçine.



Şekil 3.3. Mekanik karıştırıcı karıştırma işlemi (WiseStir HT50DX).



Şekil 3.4. Ultrasonik karıştırıcıda karıştırma işlemi (Sonics VC750).

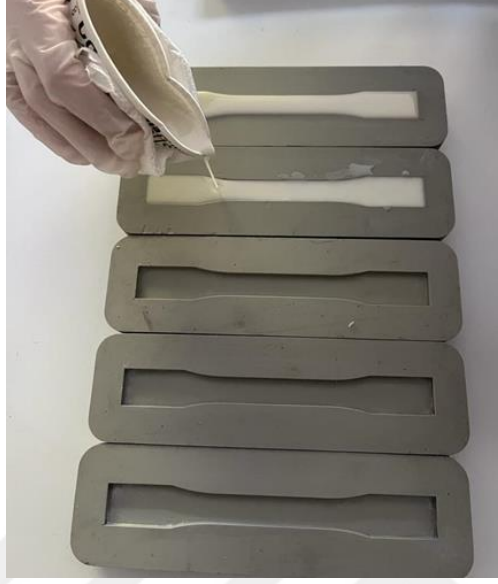
Hazırlanan kompozit karışımına, %1 oranında sertleştirici eklenip karıştırıldıktan sonra standartlara uygun hazırlanmış silikon kalıplara döküm işlemi yapılmıştır (Şekil 3.6.).

Şekil 3.5'te standartlara uygun hazırlanmış silikon kalıplar görülmektedir.



Şekil 3.5. Standartlara göre hazırlanmış silikon kalıplar.

Kalıplara dökülen karışım oda şartlarında kürlenmiştir. Sonrasında numunelere post kür işlemi yapılmıştır. Bu işlem için numuneler Şekil 3.8’de gösterildiği gibi 6 saat 80 °C’de etüv fırınında tutulmuştur.



Şekil 3.6. Reçine karışımının kalıplara dökülmesi.

Şekil 3.7’de kalıplara dökülmüş numuneler görülmektedir.



Şekil 3.7. Kalıplara dökülmüş numuneler.



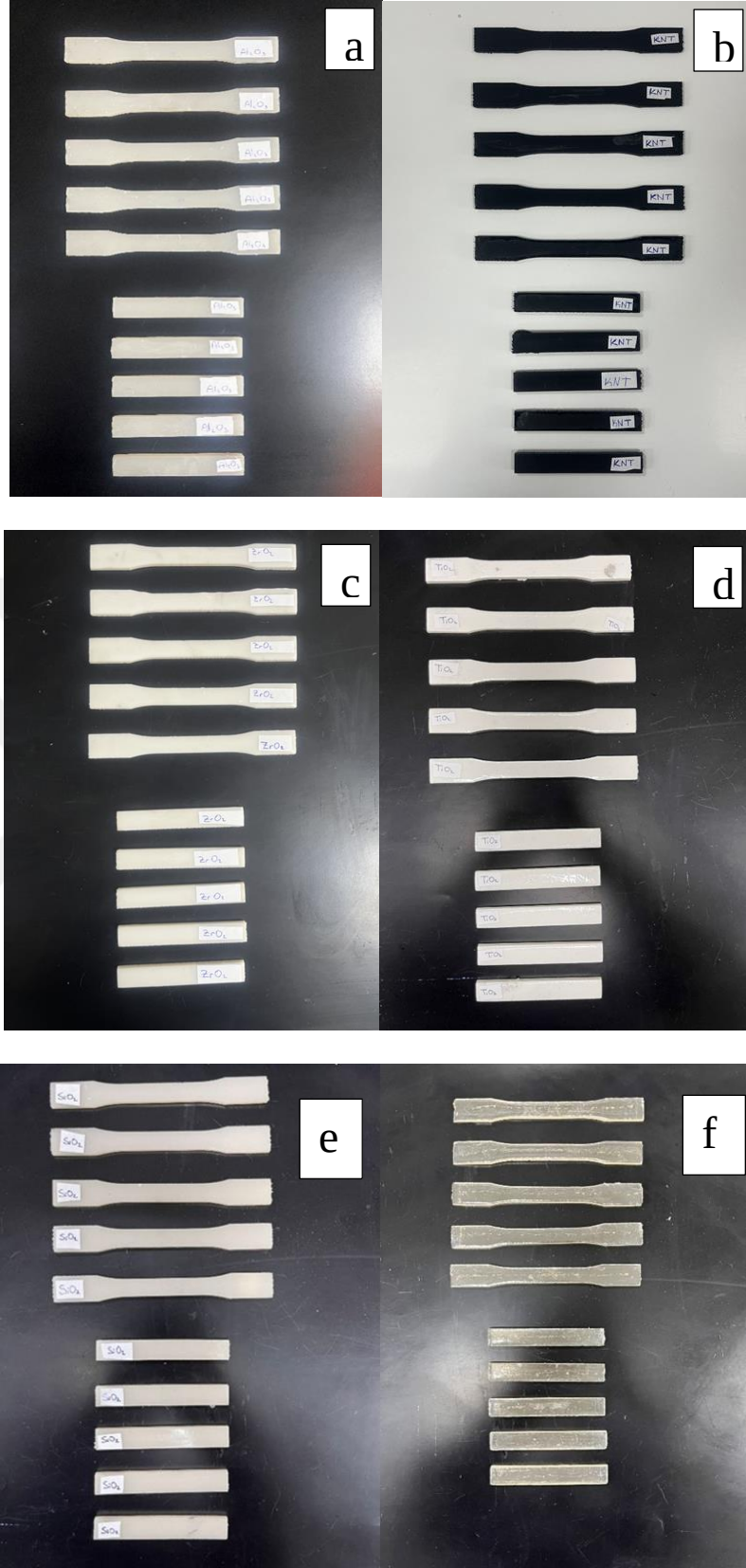
Şekil 3.8. Etüvde post kür işlemi.

Şekil 3.9’da post kürleme işlemi yapılan Termaks marka etüv gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Post kürleme işleminde kullanılan Termaks marka etüv.

Aşağıdaki Şekil 3.10’da elde edilen kompozit numuneler görülmektedir.



Şekil 3.10. Elde edilen kompozit numuneler a. Al_2O_3 katkılı numune b. Karbon nanotüp katkılı numune c. ZrO_2 katkılı numune d. TiO_2 katkılı numune e. SiO_2 katkılı numune f. Katkısız teraftalik reçine numune.

Üç nokta eğilme ve çekme testleri için her bir nano kompozitten ve saf reçineden 5 adet olmak üzere toplamda üç nokta eğilme testi için 30 adet ve çekme testi için 30 adet numune üretilmiştir.

3.2. Sertlik Ölçümü

Barcol sertlik testinde, örnek malzemeye, bir yay yüküyle keskin bir çelik noktanın penetrasyonu ölçülür. Örnek, cihazının girintisinin altına yerleştirilir ve kadradaki gösterge maksimuma ulaşmaya kadar düzgün bir basınç uygulanır. Barcol sertlik test yöntemi hem takviyeli hem de takviyesiz sert plastiklerin sertliğini belirlemek için kullanılır.

Nano tozların katılmasıyla birlikte polyester reçinenin sertlik değerlerinin katılan malzemeye göre nasıl değiştiği gözlenmiştir. Sertlik ölçümü deneyleri ASTM D 2583 [81] standardına uygun şekilde Barcol sertlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Subor Boru San. Tic. A.Ş. de bulunan Barcol sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Barcol sertlik ölçüm cihazı.

3.3. Eksenel Çekme Testi

Bu testin amacı ISO 8513 [82] test metodlarına uygun olarak numunenin çekme dayanım testini yapmaktır.

Sabit ve hareketli iki parçadan oluşan çekme makinesinin hareketli kısmı sabit hızda hareket etmelidir. Hareketli kısmın kapasitesi çeneleri 1 mm/dk hızda hareket ettirebilecek şekilde olmalıdır.

Gerilme birim alana etkiyen kuvvet anlamına gelir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (3.1)$$

P:Kuvvet (N)

A₀:Alan (mm²)

Birim Şekil Değiştirme:Materyele kuvvet uygulandığında, malzemenin boyunda meydana gelen değişimin, kuvvet uygulanmadan önceki ilk boyuna oranı.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.2)$$

ΔL :Boy değişimi(mm)

L₀:İlk Boy(mm)

Elastisite Modülü :Malzemelerin ne kadar dayanıklı olduğunu gösteren bir değerdir. Bu değer, malzemenin ne kadar uzayabileceği ile ne kadar gerilmeye dayanabileceği arasındaki ilişkiye dayanır. Birim uzama başına düşen gerilme olarak hesaplanır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

σ :Gerilme(N/mm²)

ε : Birim Şekil Değiştirme

Akma gerilmesi :Malzeme, sabit bir çekme kuvveti altında iken plastik deformasyonun hızla arttığı ve çekme diyagramında dalgalanmalar görülen gerilme değeri, akma gerilmesi olarak adlandırılır

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0} \quad (3.4)$$

Bir malzemenin kopmadan veya kırılmadan önce maruz kalabileceği maksimum çekme kuvveti, çekme dayanımı olarak adlandırılır.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (3.5)$$

P_{max} :Maksimum yük(N)

Numunenin koptuğu andaki gerilme değeri

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0} \quad (3.6)$$

P_K :Kopma anındaki yük(N)

[83]

Çekme dayanım testi için kullanılan Zwick-Roel Z250 markalı (Şekil 3.12.) çekme makinesi Subor Boru San. Tic. A.Ş. laboratuvarında bulunmaktadır.

Numune parçalarını tutabilmek için dört adet dişli çene bulunur. Bu çeneler çekme işlemi esnasında otomatik olarak sıkma yapabilecek şekilde tasarlanmışlardır.



Şekil 3.12. Zwick-Roel Z250 test cihazı.

3.4. Üç Nokta Eğilme Testi

Bu testin amacı ISO 178 [84] standartlarına uygun olarak esneme dayanımını bulmaktır.

Maksimum Eğilme Gerilmesi Hesabı

$$\sigma = \frac{3PL}{2d^2b} \quad (3.7)$$

σ = Orta noktada kiriş yüzeyindeki gerilme (N/mm²)

P = Yük sehimi eğrisinin herhangi bir noktasındaki kuvvet (N)

L = İki destek arası mesafe (mm)

b = Kiriş genişliği (mm)

d = Kirişin yüksekliği (mm)

Maksimum Şekil Değiştirme:

$$\varepsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (3.8)$$

ε = Kirişin dış yüzeyindeki şekil değiştirme (mm/mm)

D = Kirişin maksimum sehim (mm)

d = Kiriş kesitinin yüksekliği (mm)

L = Destekler arası mesafe (mm)

Eğilme Elastisite Modülü Gerilmenin malzemeye elastik sınır aşılanaya kadar neden olduğu şekil değiştirme

$$E = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (3.9)$$

E = Eğilme Elastisite Modülü (N/mm²)

L = Destekler arası mesafe (mm)

b = Kiriş kesitinin genişliği (mm)

d = Test edilen kiriş kesitinin yüksekliği (mm)

m = Kuvvet – alan grafiğinin eğimi (N/mm²) [85]

Üç nokta eğilme testi, Subor Boru San. Tic. A.Ş. laboratuvarında bulunan Zwick-Roel Z250 makinesiyle yapılmıştır. Teste başlamadan önce cihaza eğilme testinde kullanılacak aparatlar alt ve üst çenelere monte edilir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. Zwick-Roel Z250 test cihazı üç nokta eğme testi aparatları.

3.5. Rijitlik Testi

Bu testin amacı, cam elyaf takviyeli plastik (CTP) borularda TS EN 1228 [86] ve ISO 7685 [87] test metotlarına uygun olarak numune almak ve borunun başlangıç spesifik çember rijitliğini bulmaktır. Testler YLE marka CK4400 cihazı ile yapılmıştır.

Boruya dıştan uygulanan dikey yüke karşı direnci ifade eder

$$S = \frac{EI}{D^3} \quad (3.10)$$

S: Boru Rijitliği (kN/m²)

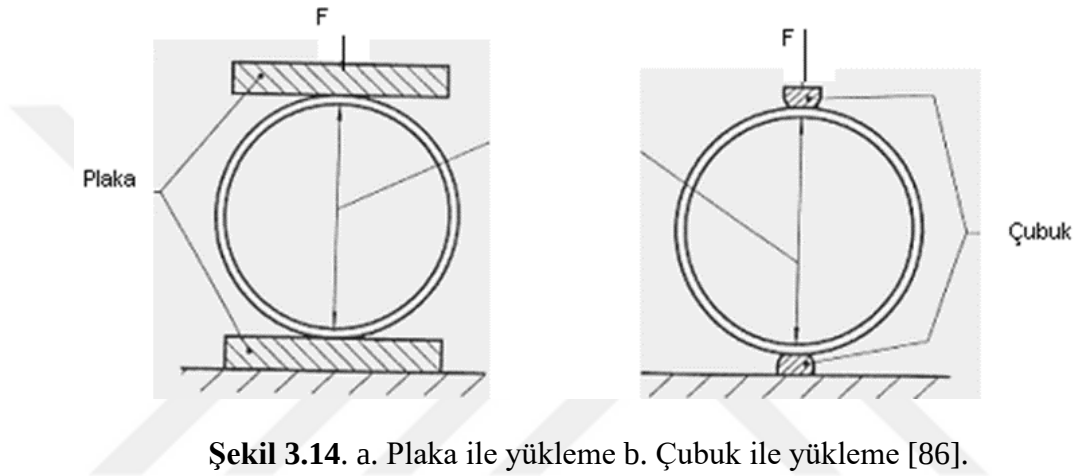
E: Eğilme momenti elastiklik modülü (kN/m²)

I: Atalet momenti (kg·m²)

D: Boru çapı (m) [88]

Kuvvet Uygulama Tertibatı, yatay konumdaki deney parçasına iki yük uygulama yüzeyi vasıtasıyla darbe uygulamaksızın, düşey yönde kontrollü bir sıkıştırma uygulayabilmeli veya ölü yük uygulama sistemine sahip bir tertibattır. Cihaz uygulanan yükü maksimum $\pm\%1$ doğrulukta ölçebilmelidir.

Baskı elemanları, bir çift plakadan veya bir çift çubuktan veya bir plaka ve çubuğun kombinasyonundan meydana gelebilir. Şekil 3.14'te gösterildiği gibi yüzeylerin ana eksenleri yük uygulama makinası vasıtasıyla uygulana F kuvvetinin yönüne dik olmalı ve baskı elemanının merkezi ile borunun merkezi çakışmalıdır.



Şekil 3.14. a. Plaka ile yükleme b. Çubuk ile yükleme [86].

3.6. Çember Çekme Dayanım Testi

Bu test metodunun amacı CTP boruda TS EN ISO/IEC 17025 [89] standardına ve TS EN 1394[90] ile ISO 8521[91] test metodlarına uygun olarak numune almak ve borunun çember yönünde çember dayanım mukavemet testini yapmaktır. Testler Zwick/Roell Z250 cihazında yapılmıştır.

3.7. Boru Üretimi

Boru üretimi için karbon nanotüp ve teraftalik reçine ile %0,5 oranında hazırlanmış ve sürekli elyaf sarım tekniği ile numune boru üretilmiştir. %0,5 oranında tercih edilmesinin nedeni oran arttıkça karıştırma işleminin zor olmasıdır. Üretilen boruda numuneler kesilip rijitlik testi, çember çekme dayanım testi, eksenel çekme dayanım testi yapılmıştır. Şekil 3.15'te boru üretiminde kullanılan reçine gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Boru üretimi için hazırlanmış karbon nanotüp katkılı reçine.

Diğer bir numune boru üretimi için Nanografi firmasından alınmış 15-35 nm boyutlarında nano SiO₂ ve teraftalik reçine ile %2 oranında hazırlanmış ve sürekli elyaf sarım tekniği ile boru üretilmiştir. Üretilen borudan numuneler kesilip standartlara uygun olarak rijitlik testi, çember çekme dayanım testi, eksenel çekme dayanım testi yapılmıştır.

Şekil 3.16'da nano SiO₂ katkılı boru üretimi esnasında çekilmiş bir fotoğraf gösterilmektedir.



Şekil 3.16. SiO₂ katkılı boru üretimi.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

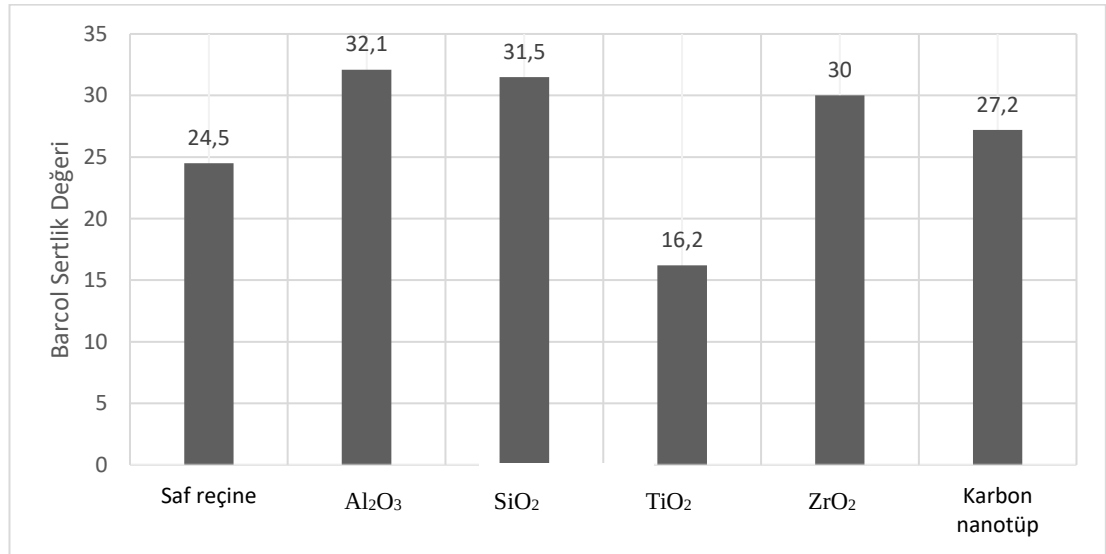
4.1. Sertlik Ölçümü Sonuçları

Tablo 4.1.'de nano katkılı polyester kompozitlerin Barcol sertlik değerleri görülmektedir.

Tablo 4.1. Numunelerin sertlik değerleri.

Numune	Barcol Sertlik Değeri (HBa)
TiO ₂	16,2
Saf reçine	24,5
Karbon nanotüp	27,2
Al ₂ O ₃	32,1
SiO ₂	31,5
ZrO ₂	30

Şekil 4.1'de numunelerin Barcol sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Barcol sertlik değerleri grafiği.

Sertlik değerlerinde Al_2O_3 katkılı numune en yüksek değeri göstermiştir. Bunu SiO_2 katkılı numune takip etmektedir. Sonrasında sırasıyla ZrO_2 ve karbon nanotüp katkılı numune gelmektedir. En düşük sertlik değeri TiO_2 katkılı numunede çıkmıştır.

En yüksek sertliğe sahip olan reçine, Al_2O_3 katkılı olanıdır. Bu, Al_2O_3 'ün sert ve dayanıklı bir materyel olmasından kaynaklanmaktadır. Al_2O_3 , bir metal oksittir ve yüksek sertliği, yüksek erime noktası ve düşük ısı hacim artışına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu özellikler, Al_2O_3 'ü polyester reçinelerin sertliğini ve dayanıklılığını artırmaya uygun bir takviye materyeli haline getirir. Literatür araştırmalarında da nano malzeme katkılarının sertliği artırdığı kanıtlanmıştır.

Uzay ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada epoksi reçineye katkı olarak atılan nano SiO_2 takviye elemanının sertliği arttırdığı görülmüştür [92].

Hameed ve arkadaşlarının (2015) yaptığı çalışmada polimetil metakrilata katılan nano ZrO_2 katkısının özelliklerini mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Nano ZrO_2 katkı malzemesinin oranı arttıkça malzemenin sertliğinin de arttırdığını ortaya koymuşlardır [93].

Adepu ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışmada metal matris içine katkı malzemesi olarak nano Al_2O_3 atılarak sertliğini ölçmüştür. Katkısız metal matrisli kompozitin sertliğinde artış gözlenmiştir [94].

Batista ve arkadaşları (2019) alüminyum metal matris kompozitleri incelemiş. Saf alüminyum kompozite %1,5 oranında karbon nanotüp takviyesi karıştırılınca kompozitin sertliğinin arttığını göstermektedir [95].

En düşük sertliğe sahip olan reçine, TiO_2 katkılı olanıdır. Bu, TiO_2 'nin daha yumuşak bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. TiO_2 , bir metal oksittir, ancak Al_2O_3 'ten daha düşük bir sertliğe sahiptir.

Sonuç olarak, polyester reçinelerin sertliği, kullanılan nano katkının türüne ve miktarına bağlıdır. Al_2O_3 gibi sert ve dayanıklı malzemeler, sertliği önemli ölçüde artırabilir. TiO_2 gibi daha az sert malzemeler ise, sertliği çok az artırabilir veya hatta azaltabilir.

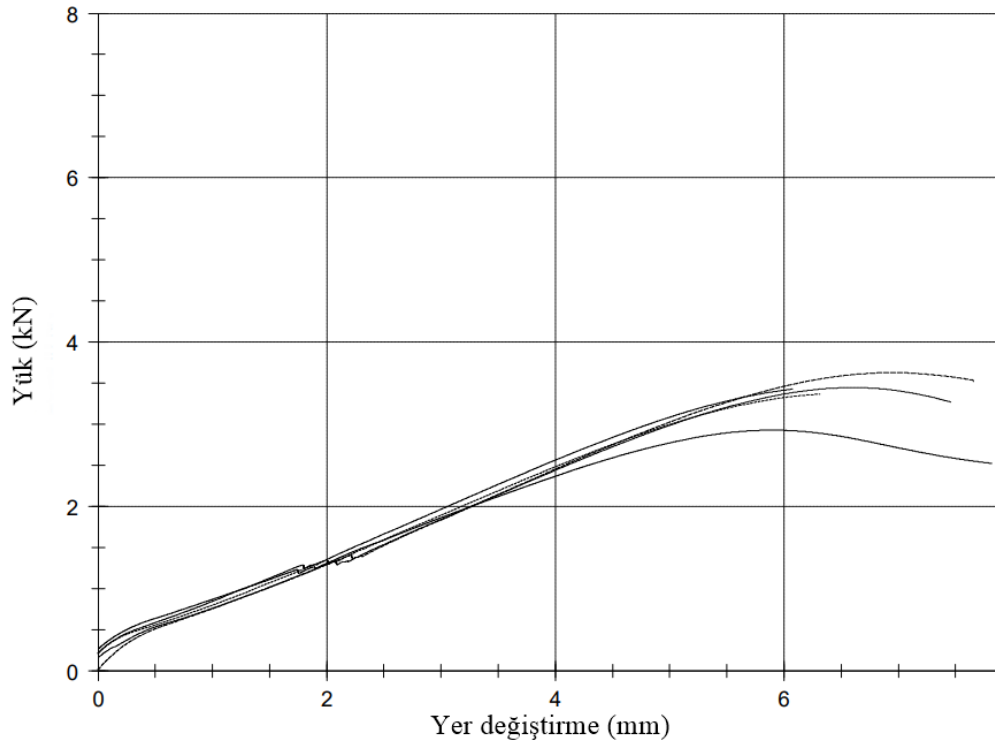
4.2. Eksenel Çekme Testi Sonuçları

Tablo 4.2’de saf reçine numunesi için çekme testinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.2. Saf reçine numunesi için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maksimum Yerdeğiştirme (%)
Saf Reçine	3,36	258,49	60,28	3,22	57,74	833,8	3,06	7,96

Şekil 4.2’de saf reçine numunesi için yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



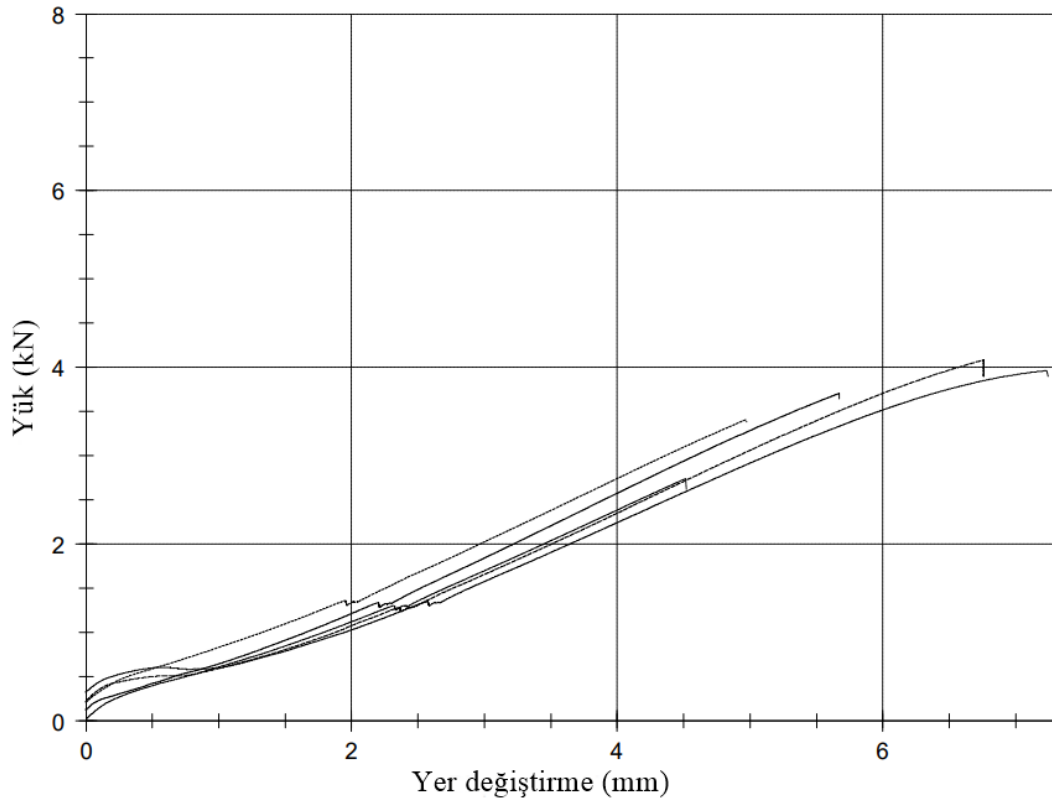
Şekil 4.2. Saf reçine numunesi için yük-yer değiştirme grafiği.

Tablo 4.3’te %2 SiO₂ katkılı numunenin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.3. %2 SiO₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yerdeğiştirme (%)
%2 SiO ₂	3,58	275,71	63,34	3,58	63,34	1000	3,38	5,46

Şekil 4.3'te %2 SiO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



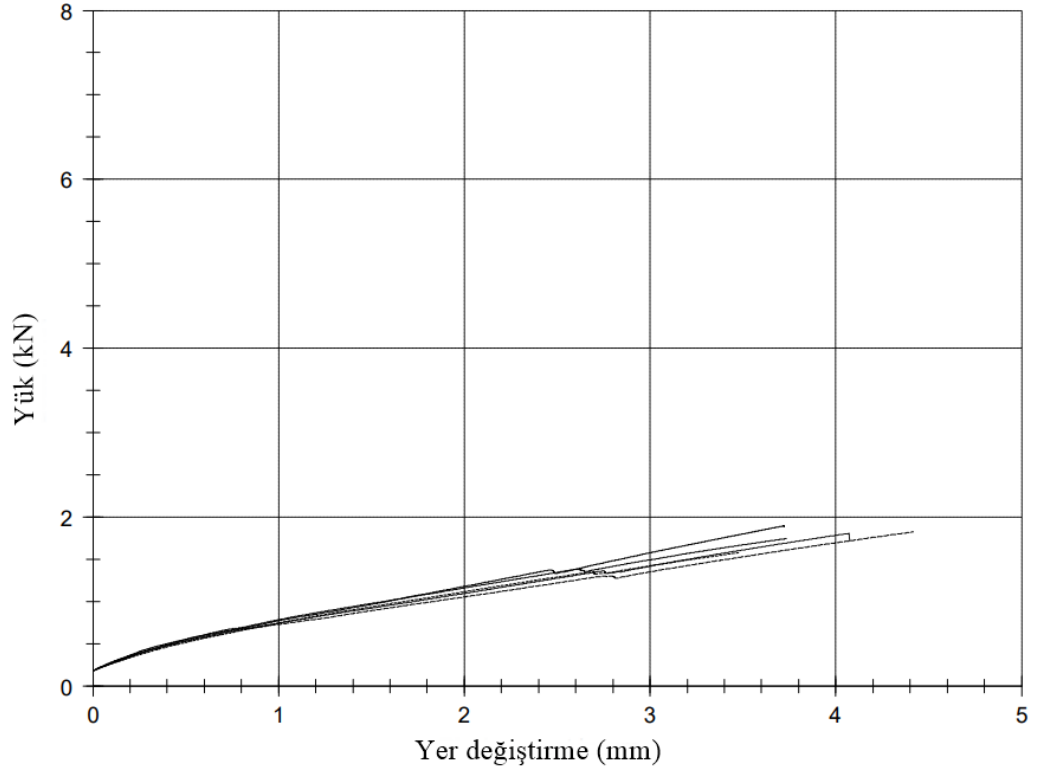
Şekil 4.3. %2 SiO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.

Tablo 4.4'te %2 karbon nanotüp katkılı numunenin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.4. %2 Karbon nanotüp katkılı numune için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yerdeğiştirme (%)
%2								
KNT	1,77	133,15	40,26	1,77	40,25	1780	0,56	4,86

Şekil 4.4'te %2 karbon nanotüp katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



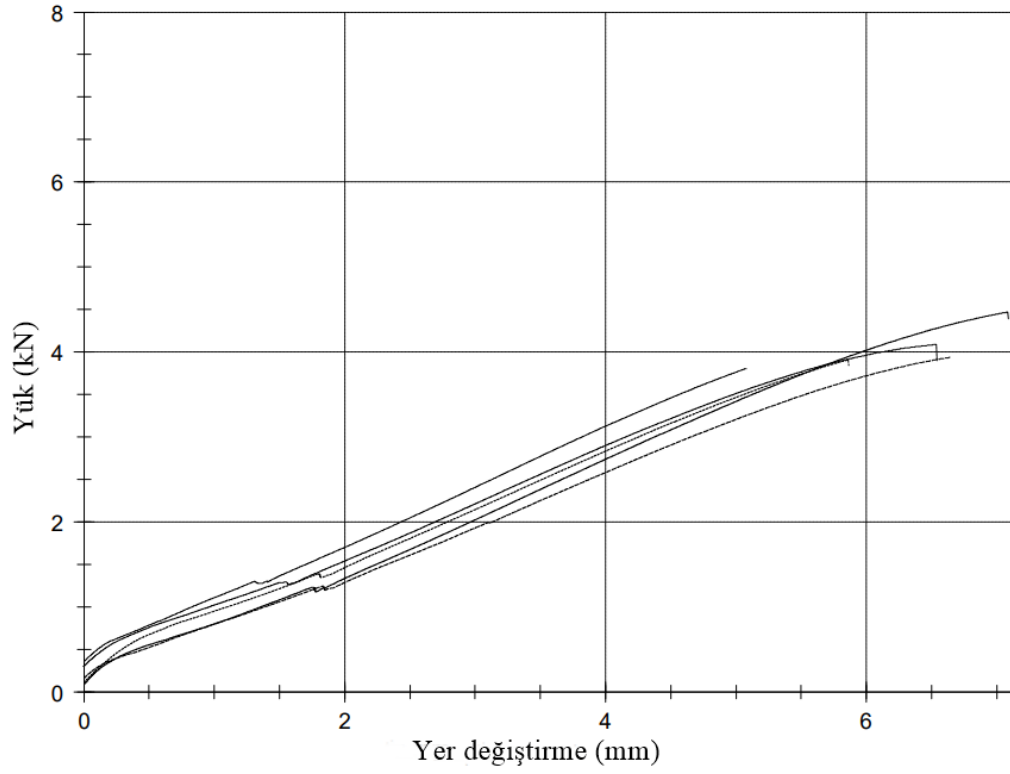
Şekil 4.4. %2 Karbon nanotüp katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.

Tablo 4.5'te %2 ZrO₂ katkılı numunenin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.5. %2 ZrO₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yerdeğiştirme (%)
%2 ZrO ₂	4,04	307,56	67,3	4,04	67,31	920,2	2,96	7,8

Şekil 4.5'te %2 ZrO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



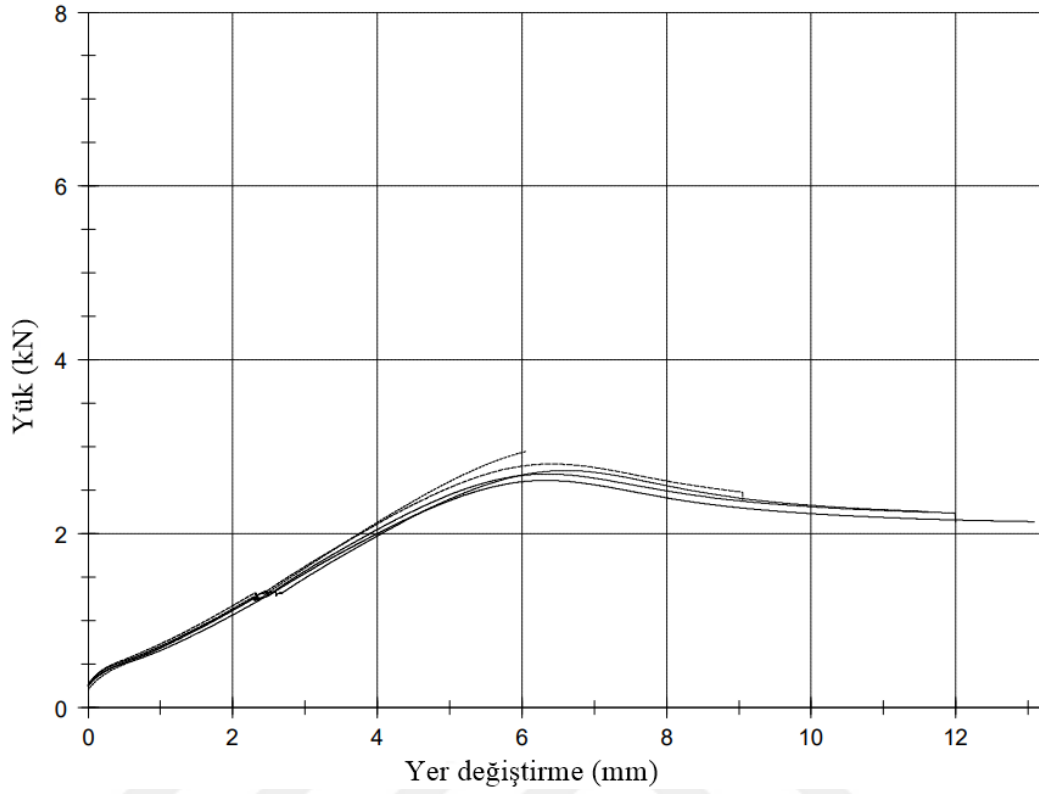
Şekil 4.5. %2 ZrO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.

Tablo 4.6'da %2 TiO₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.6. %2 TiO₂ katkılı numune için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yerdeğiştirme (%)
%2 TiO ₂	2,75	211,10	51,72	2,37	44,38	644,6	2,65	7,94

Şekil 4.6’da %2 TiO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği verilmiştir.



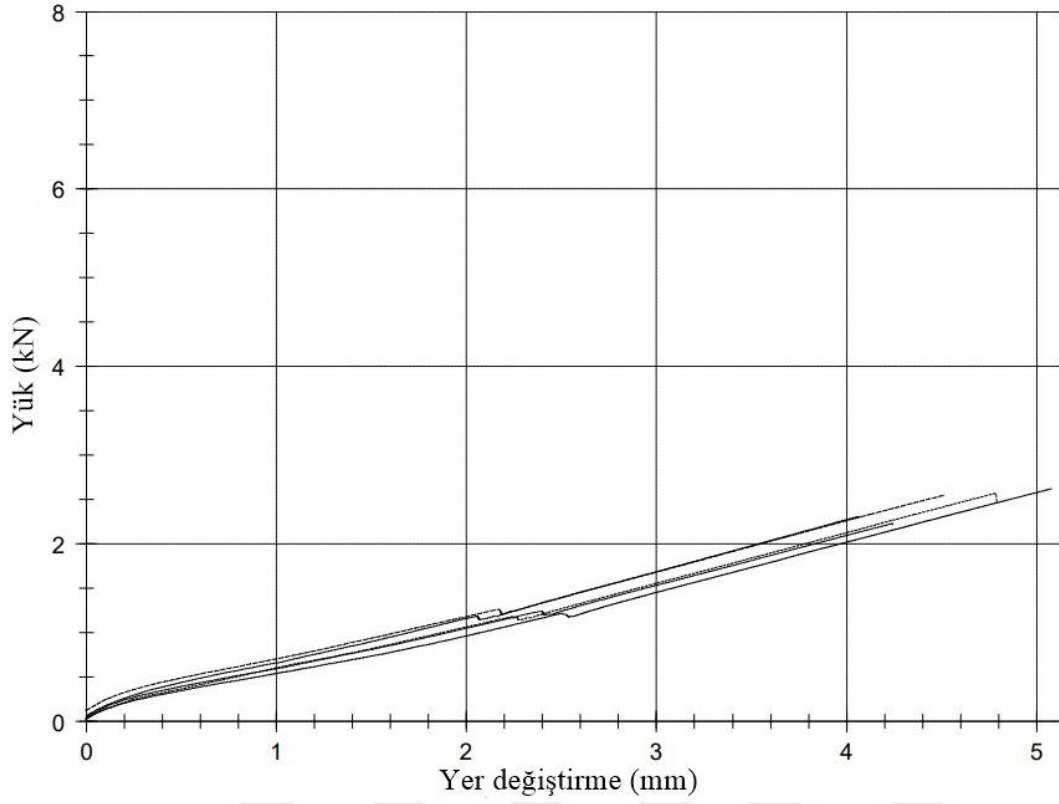
Şekil 4.6. %2 TiO₂ katkılı numune için yük-yer değiştirme grafiği.

Tablo 4.7’de %2 Al₂O₃ katkılı numunenin çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.7. %2 Al₂O₃ katkılı numune için çekme testi sonuçları.

Numune	PiktekiYük (kN)	Maksimum Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yerdeğiştirme (%)
%2 Al ₂ O ₃	2,45	185,94	46,96	2,45	46,9	2254	0,38	4,78

Şekil 4.7’de %2 Al_2O_3 katkılı numune için yük-yer değıştirme grafiğı verilmiştir.



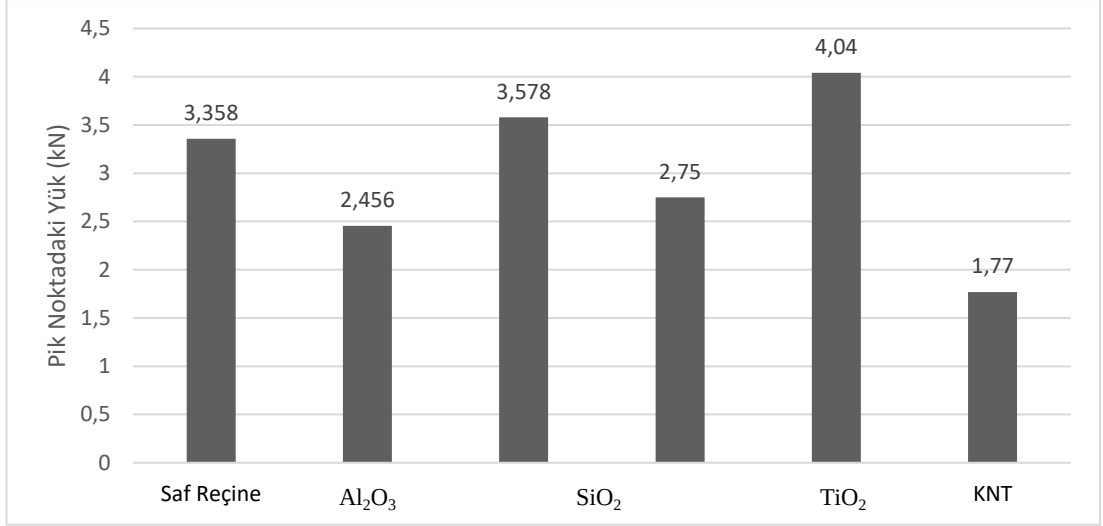
Şekil 4.7. %2 Al_2O_3 katkılı numune için yük-yer değıştirme grafiğı.

Şekil 4.8’de çekme testi yapılan %2 ZrO_2 katkılı numune görölmektedir.



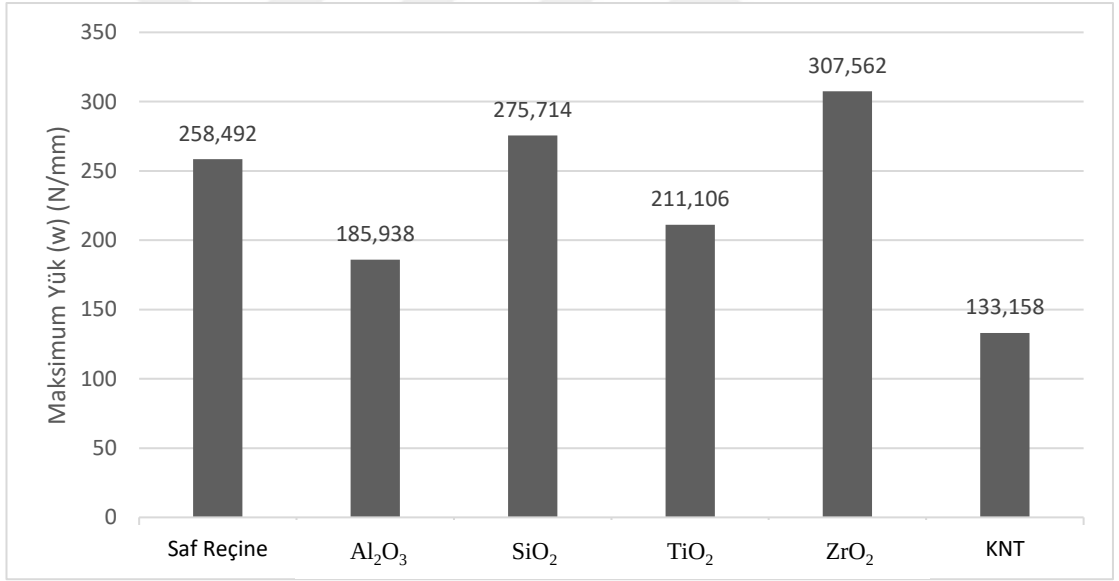
Şekil 4.8. Çekme testi yapılan %2 ZrO_2 katkılı numune.

Şekil 4.9’da numunelerin pik noktadaki yük değeri verilmiştir.



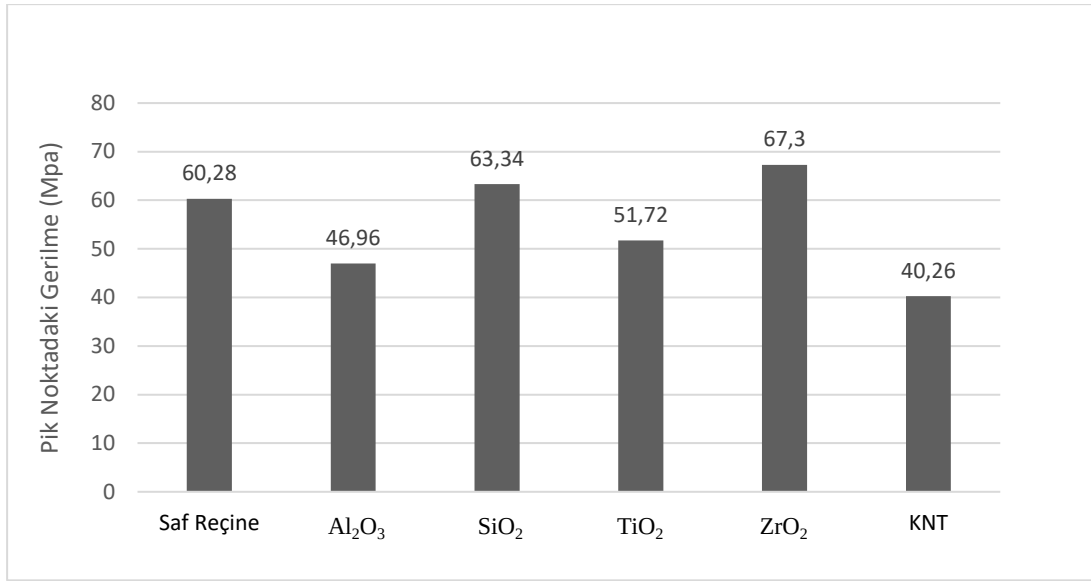
Şekil 4.9. Pik noktadaki yük grafiği.

Şekil 4.10'daki grafikte numunelerin test sırasındaki maksimum yük miktarı verilmiştir.



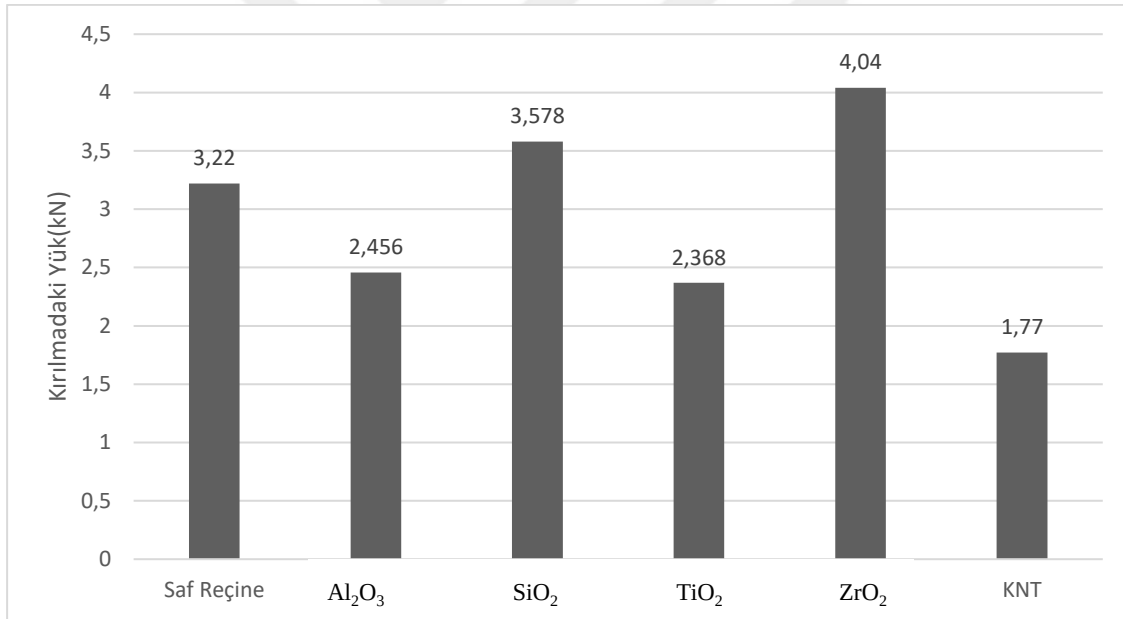
Şekil 4.10. Maksimum yük grafiği.

Şekil 4.11'deki grafikteki numunelerin pik noktadaki gerilme miktarları verilmiştir.



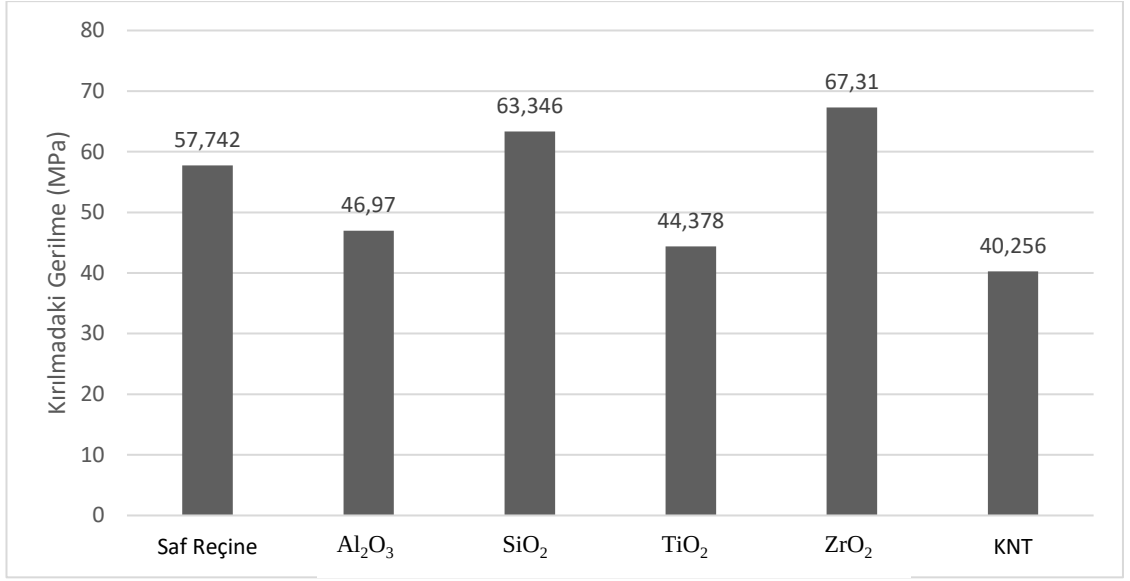
Şekil 4.11. Pik noktadaki gerilme.

Şekil 4.12'deki grafikte numunelerin kırılmadaki yük miktarı verilmiştir.



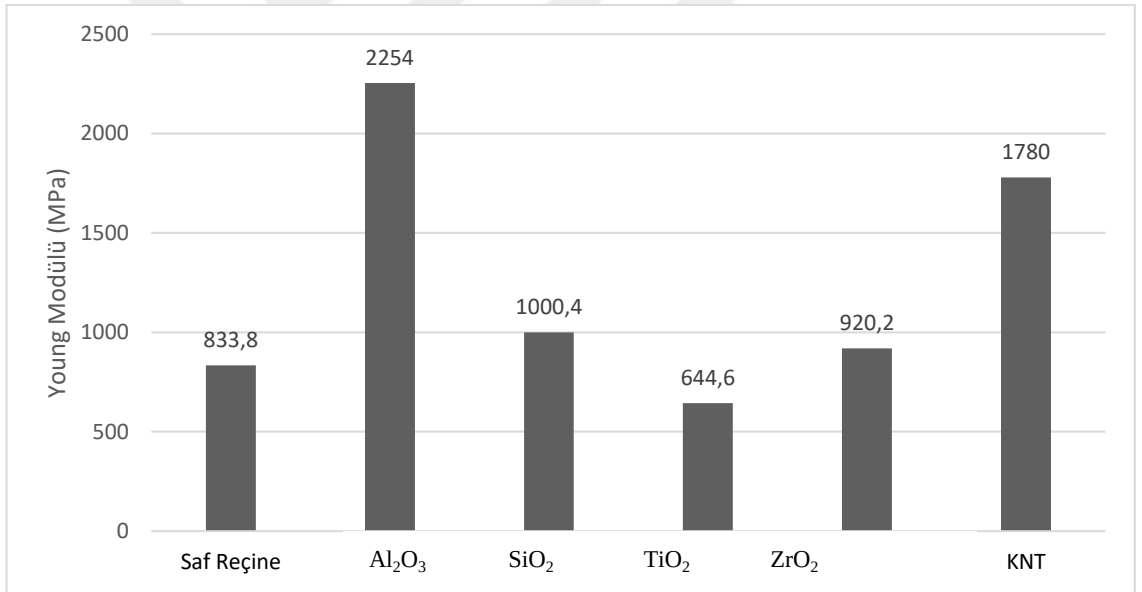
Şekil 4.12. Kırılmadaki yük grafiği.

Şekil 4.13'teki grafikte numunelerin kırılmadaki gerilme miktarları verilmiştir.



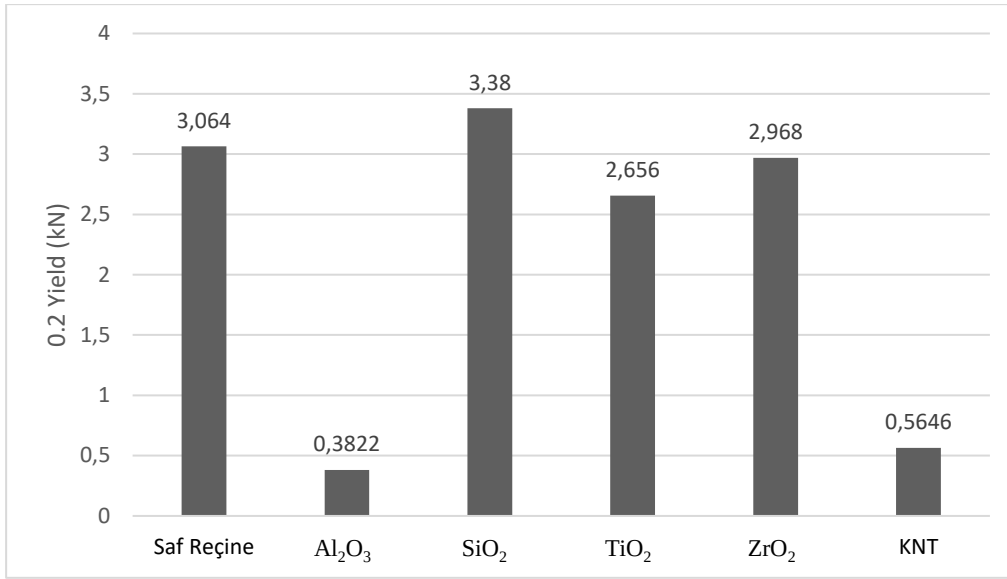
Şekil 4.13. Kırılmadaki gerilme grafiği.

Şekil 4.14'teki grafikte numunelerin Young modülü verilmiştir.



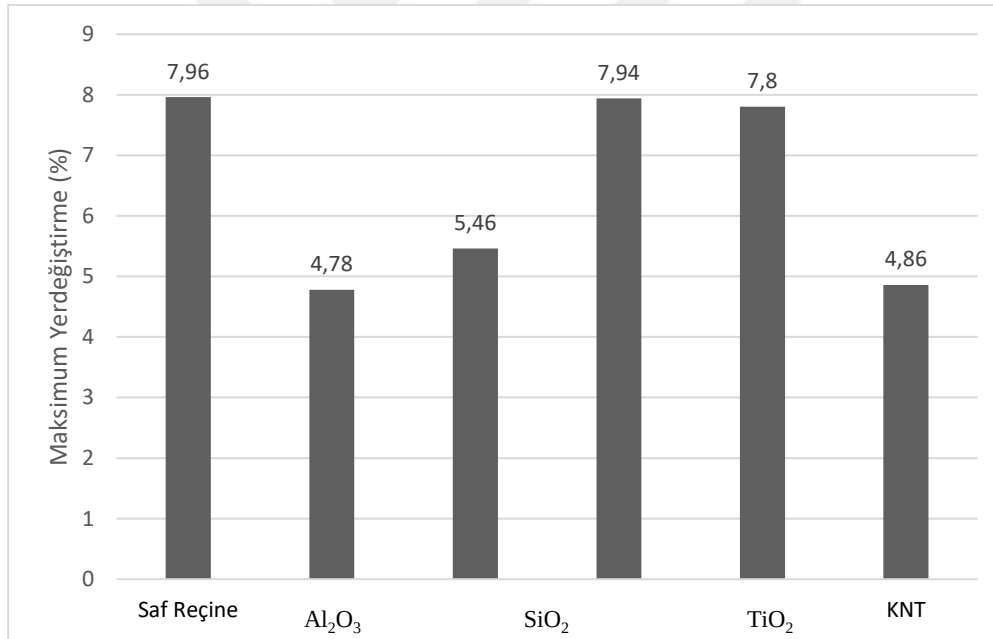
Şekil 4.14. Young modülü grafiği.

Şekil 4.15'deki grafikte 0.2 Yield (akma dayanımı) miktarları verilmiştir.



Şekil 4.15. 0.2 Yield.

Şekil 4.16'daki grafikte yüzdece maksimum yer değiştirme verilmiştir.



Şekil 4.16. Maksimum yer değiştirme.

Yaptığımız çalışmada en yüksek çekme dayanımına sahip katkı nano ZrO₂ çıkmıştır. Reçineye katıldığı zaman saf reçineye göre çekme dayanımında %11,65 artış gözlenmiştir. En yüksek elastik modülüne 2254 MPa ile Al₂O₃ olarak gözlenmiştir. En yüksek plastik deformasyona ise 3.38 MPa ile SiO₂ sahiptir. En yüksek maksimum yer değiştirmeye TiO₂ sahiptir.

%2 Nano ZrO₂ katkılı kompozit malzemenin çekme dayanımı katkısız reçineye göre artmıştır. Saf haldeki kompozit malzemenin çekme mukavemeti 60.28 MPa iken %2 Nano ZrO₂ katkı malzemesi katıldığı zaman 67.3 MPa'a çıkmıştır.

Saf reçineli kompozite %2 ZrO₂ katkılı katıldığı zaman malzeme gevrekleşir. Gevrekleştiği için akma dayanımı düşer, elastik modülü artar ve maksimum yer değiştirme yüzdesi akma dayanımına bağımlı olarak düşer. Polimer matrise katkı malzemesi katıldığı zaman matrisin bağlayıcı özelliği arttığından çekme dayanımı artar. Literatür araştırmalarına bakıldığında bunu doğrular niteliktedir.

El-Kemary ve arkadaşlarının (2021) yaptığı çalışmada katkısız akrilik reçine ve %1, %2 , %3 nano ZrO₂ katkılı akrilik reçine kıyaslandığında %3 ZrO₂ katkılı akrilik reçine en yüksek çekme dayanımını 44.30 + 3.06 MPa, %2 ZrO₂ katkılı akrilik reçine 40.13+ 1.68 MPa, %3 ZrO₂ katkılı akrilik reçine 33.30+ 1.49 MPa , katkısız akrilik reçine ise 31.42 + 1.21 MPa çekme dayanımı değerini vermiştir. Kompozit malzemeye nano ZrO₂ takviyesi eklendiğinde çekme dayanımının arttığını göstermektedir [96].

Mizobuchi ve arkadaşlarının (2023) yaptığı çalışmada katkısız kompozitin çekme dayanımı 7.6 MPa, Nano ZrO₂ katkılı kompozitin çekme dayanımı 26.4 MPa çıkmıştır. Katkı maddesi çekme dayanımını arttırmıştır. Bu çalışmadaki eğilme testine baktığımızda katkısız kompozitin eğilme dayanımı 128.1MPa Elastik modülü ise 2.67 GPa , Nano ZrO₂ katkılı kompozitin eğilme dayanımı 59.4 MPa elastik modülü ise 1.03 GPa çıkmıştır. Katkı maddesi eğilme dayanımını ve elastik modülünü düşürmüştür [97].

Saf haldeki kompozit malzemenin çekme mukavemeti 60.28 MPa iken %2 Nano TiO₂ katkı malzemesi katıldığı zaman 51.72 MPa'a inmiştir. Elastik modülüne (Young Modulu) baktığımızda 833,8 MPa'dan 644,6 MPa'a inmiştir. Malzemenin akma dayanımına (Yield Strength) baktığımız zaman 3,064 kN'dan 2,656 kN'a düşmüştür. Maksimum yer değiştirme yüzdesine baktığımız zaman %7,96 dan %7.94'e düşmüştür.

Saf reçineli kompozite %2 TiO₂ katkısını kattığımız zaman gevrekleştiği için akma dayanımı düşer, elastik modülü artar ve maksimum yer değiştirme yüzdesi akma dayanımına bağımlı olarak düşer.

%2 Nano SiO₂ katkılı kompozit malzemenin çekme dayanımı artmıştır. Saf haldeki kompozit malzemenin çekme mukavemeti 60.28 MPa iken %2 Nano SiO₂ katkı malzemesi katıldığı zaman 63,34 MPa'a çıkmıştır.

Young modülüne baktığımızda 833,8 MPa'dan 1000,4 MPa'a yükselmiştir. Malzemenin akma dayanımına baktığımız zaman 3,064 kN'dan 3,38kN'a yükselmiştir. Maksimum yer değiştirme yüzdesine baktığımız zaman %7,96'dan %5,46'e düşmüştür.

Saf reçineli kompozite %2 SiO₂ katkılı katıldığı zaman elastik modülü artmış ve maksimum yer değiştirme yüzdesi akma dayanımına bağımlı olarak düşer. Polimer matrise katkı malzemesi katıldığı zaman matrisin bağlayıcı özelliği arttığından çekme dayanımı artar. Literatür çalışmalarında da nano SiO₂ katkısının çekme dayanımını artırdığına dair çalışmalar yapılmıştır. Bulunan sonuçlar literatürü doğrular niteliktedir.

Younis ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışmada doymamış poliestere %1, %3, %5 Nano SiO₂ katkı malzemesi karıştırılmış, çekme dayanımına bakılmıştır. Saf doymamış poliesterin çekme dayanımı 40 MPa iken %1 nano SiO₂ katkılı doymamış poliesterin 78 MPa'dır. Nano SiO₂ katkısı doymamış poliesterin çekme mukavemetini arttırmıştır [98].

Song ve arkadaşlarının (2021) yaptığı çalışmada katkısız poliaktik asit (PLA) kompozite farklı boyutlarda nano malzeme karıştırılıyor. Nano SiO₂ katkılı jüt/PLA kompozitler, saf jüt/PLA kompozitlere kıyasla hem çekme dayanımı hem de elastiklik modülü açısından önemli seviyede olduğu sonucuna ulaşıyor [99].

%2 Nano Al₂O₃ katkılı kompozit malzemenin çekme dayanımı artmıştır. Saf haldeki kompozit malzemenin çekme mukavemeti 60.28 MPa iken %2 Nano Al₂O₃ katkı malzemesi katıldığı zaman 46,96 MPa'a inmiştir. Young modülüne baktığımızda 833,8 MPa 'dan 2254 MPa'a yükselmiştir. Malzemenin akma dayanımına baktığımız zaman 3,064 kN'dan 0,3822 kN'a düşmüştür. Maksimum yer değiştirme yüzdesine baktığımız zaman %7,96 dan %4,78 'e düşmüştür. Saf reçineli kompozite %2 Al₂O₃ katkılı katıldığı zaman malzeme gevrekleşir. Gevrekleştiği için akma dayanımı düşer, elastik modülü artar ve maksimum yer değiştirme yüzdesi akma dayanımına bağımlı olarak düşer. Polimer matrise katkı malzemesi katıldığı zaman matrisin bağlayıcı özelliği arttığından çekme dayanımı artar.

Zhou ve arkadaşlarının (2023) yaptığı çalışmada farklı nano boyutlarda epoksi reçine ve katkılı epoksi reçine incelenmiştir. 200 nm Al_2O_3 için inceleyecek olursak katkısız epoksi kompozitin çekme dayanımı 132.62 MPa iken %1 nano Al_2O_3 katkılı epoksi kompozitin 134.57 MPa'a yükselmiştir [54].

%2 Nano KNT katkılı kompozit malzemenin çekme dayanımı azalmıştır. Saf haldeki kompozit malzemenin çekme mukavemeti 60.28 MPa iken %2 Nano KNT katkı malzemesi katıldığı zaman 40,26 MPa'a inmiştir. Young modülüne baktığımızda 833,8 MPa 'dan 1780 MPa'a yükselmiştir. Malzemenin akma dayanımına baktığımız zaman 3,064 kN'dan 0,5646 kN'a düşmüştür. Maksimum yer değiştirme yüzdesine baktığımız zaman %7,96'dan %4,86 'e düşmüştür.

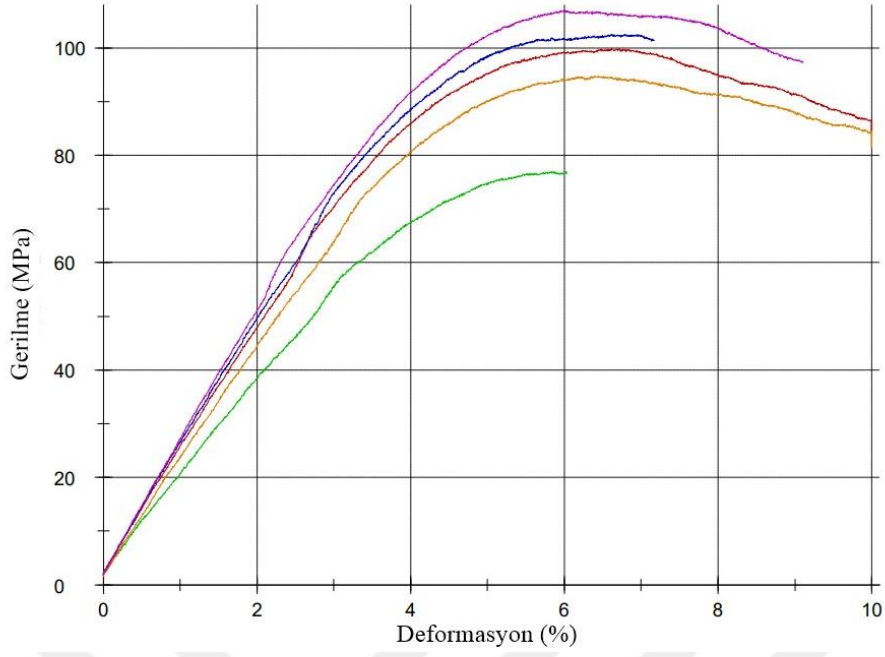
4.3. Üç Nokta Eğilme Testi Sonuçları

Saf reçine numune için üç nokta eğilme testi değerleri Tablo 4.8'te verilmiştir.

Tablo 4.8. Saf reçine numunenin üç nokta eğilme testi değerleri tablosu.

Numune	E_f [GPa]	σ_{fM} [MPa]	ϵ_M [%]
Saf Reçine	2,376	96,34	6,34

Şekil 4.17'de saf reçine numune için gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



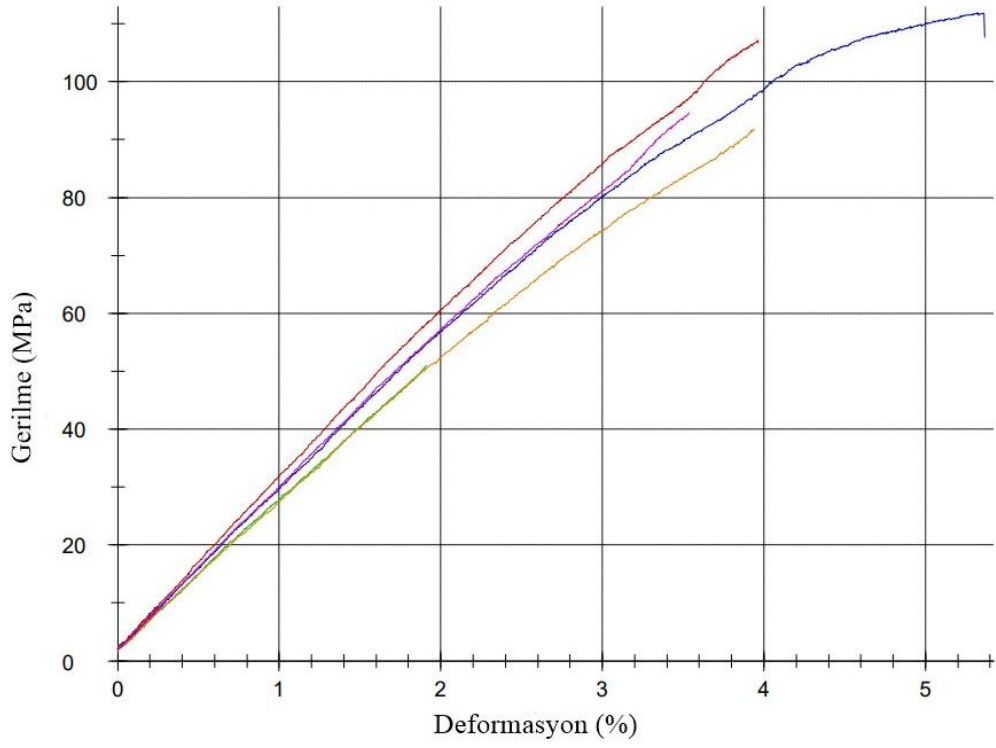
Şekil 4.17. Saf reçine numune için gerilme-deformasyon grafiği.

%2 Al₂O₃ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. %2 Al₂O₃ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.

Numune	E _f [GPa]	σ _{fM} [MPa]	ε _M [%]
%2 Al ₂ O ₃	2,864	91,3	3,72

Şekil 4.18’de %2 Al₂O₃ katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



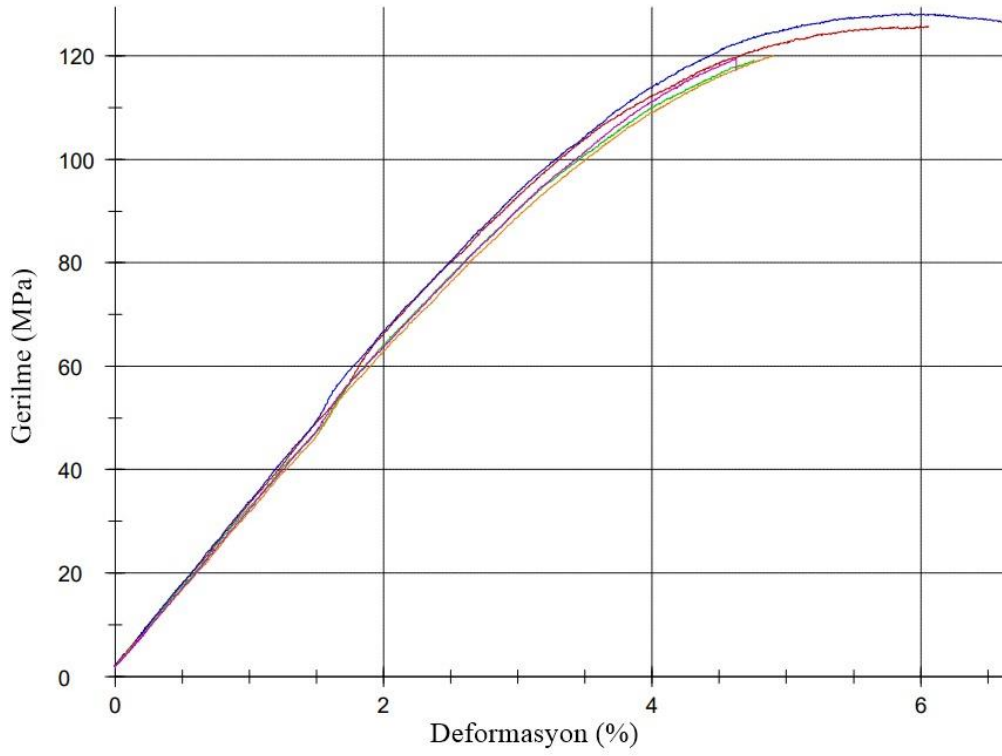
Şekil 4.18. %2 Al_2O_3 katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.

%2 SiO_2 katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10. %2 SiO_2 katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.

Numune	E_f [GPa]	σ_{fM} [MPa]	ϵ_M [%]
%2 SiO_2	3,062	122,6	5,24

Şekil 4.19’da %2 SiO_2 katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



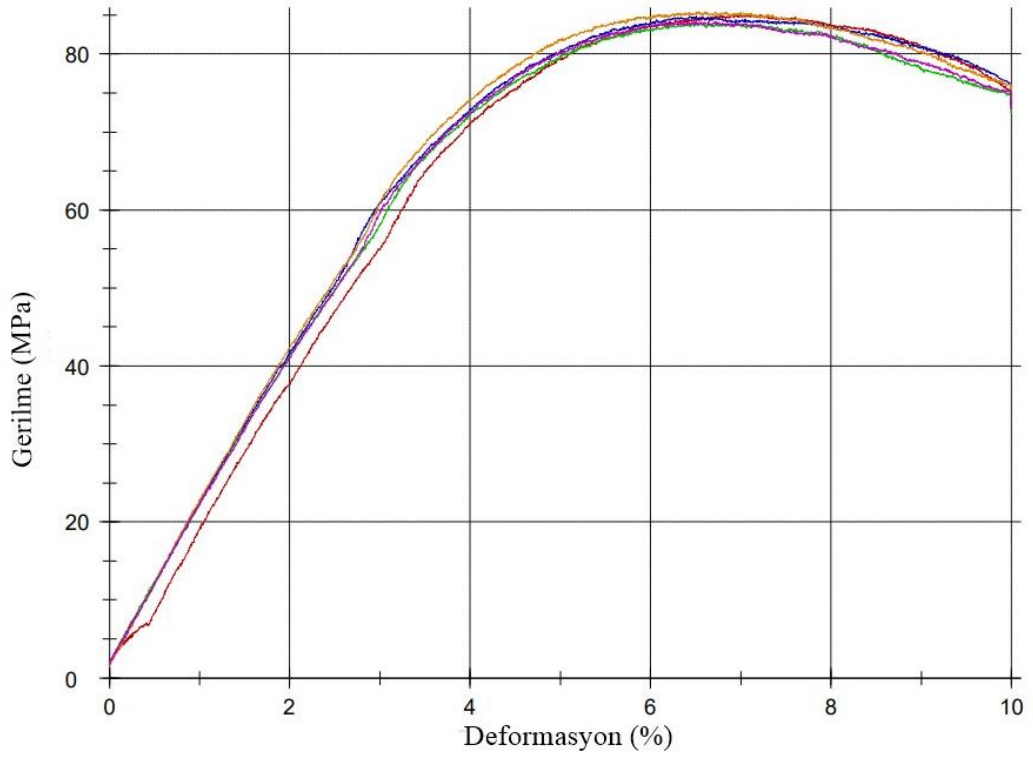
Şekil 4.19. %2 SiO₂ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.

Tablo 4.11’de %2 TiO₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.11. %2 TiO₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.

Numune	E _f [GPa]	σ _{fM} [MPa]	ε _M [%]
%2 TiO ₂	1,934	84,7	6,74

Şekil 4.20’de %2 TiO₂ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



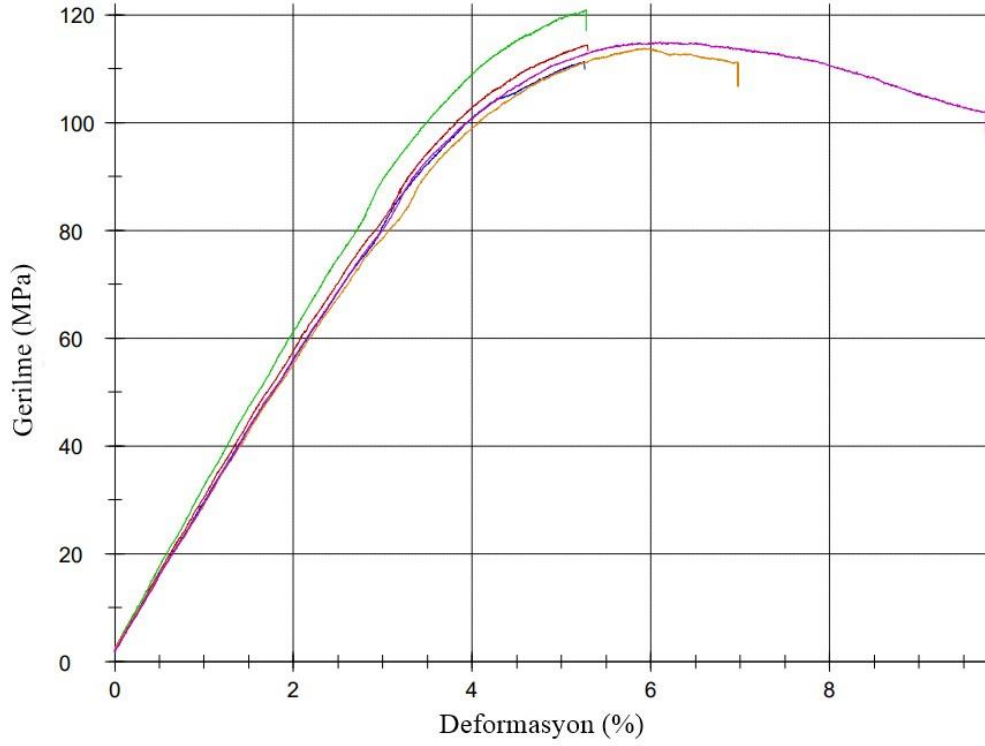
Şekil 4.20. %2 TiO₂ katkılı numune için gerilme-deformasyon grafiği.

Tablo 4.12’de %2 ZrO₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.12. %2 ZrO₂ katkılı numunenin üç nokta eğilme testi değerleri.

Numune	E _f [GPa]	σ _{fM} [MPa]	ε _M [%]
%2 ZrO ₂	2,754	115	5,56

Şekil 4.21’de %2 ZrO₂ katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



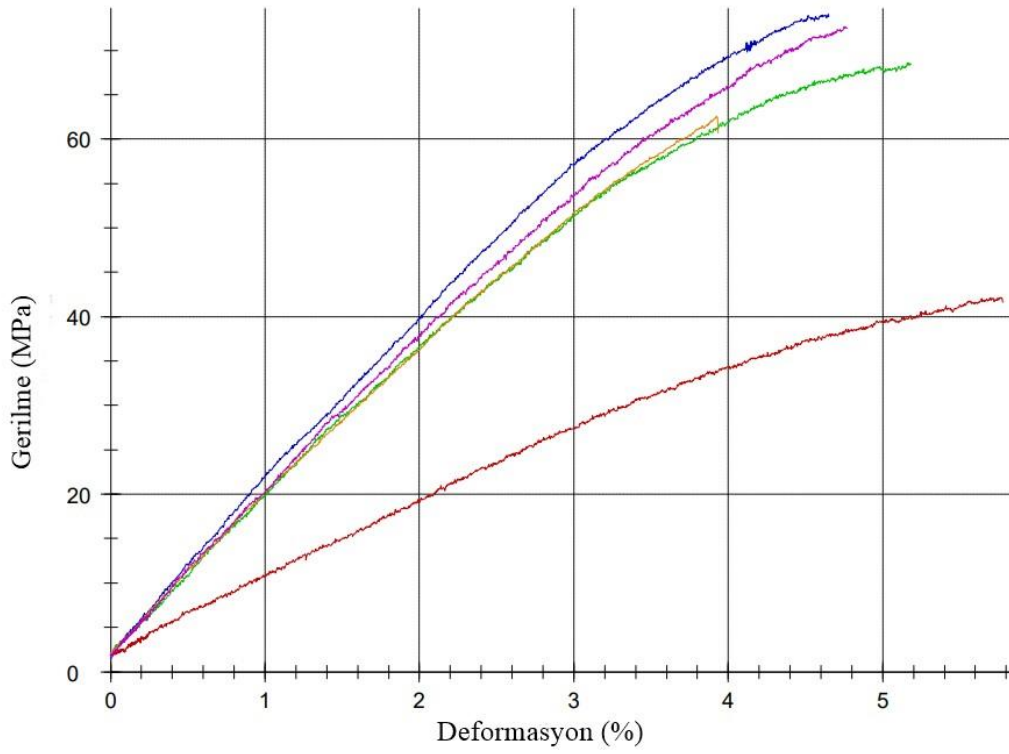
Şekil 4.21. %2 ZrO₂ katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği.

Tablo 4.13'te %2 KNT katkılı numune için üç nokta eğilme testi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.13. %2 KNT katkılı numune için üç nokta eğilme testi değerleri.

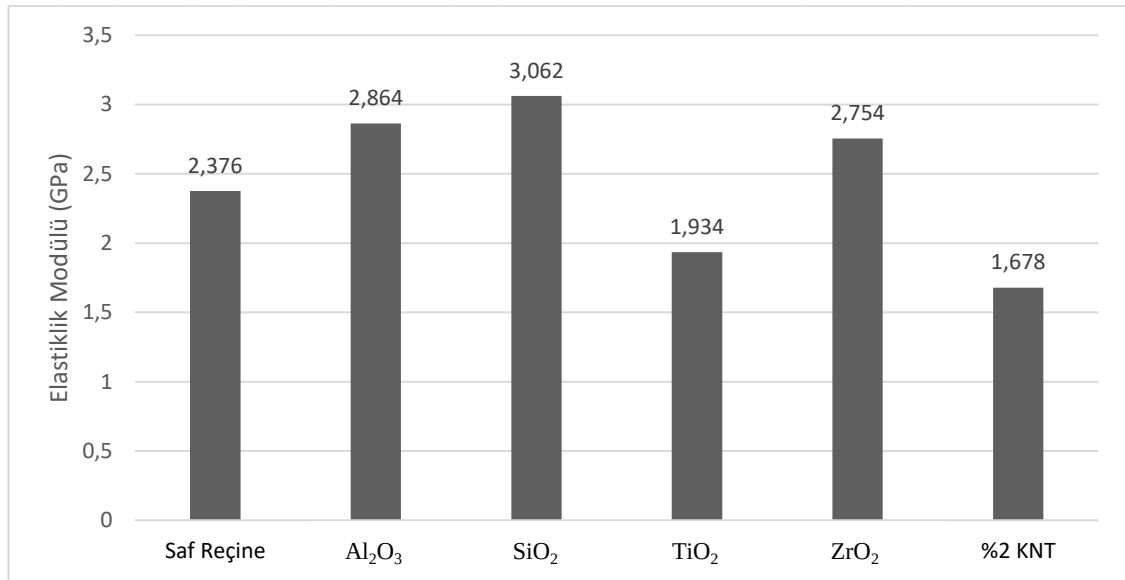
Numune	E_f [GPa]	σ_{fM} [MPa]	ε_M [%]
%2 KNT	1,678	64	4,86

Şekil 4.22'de %2 KNT katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



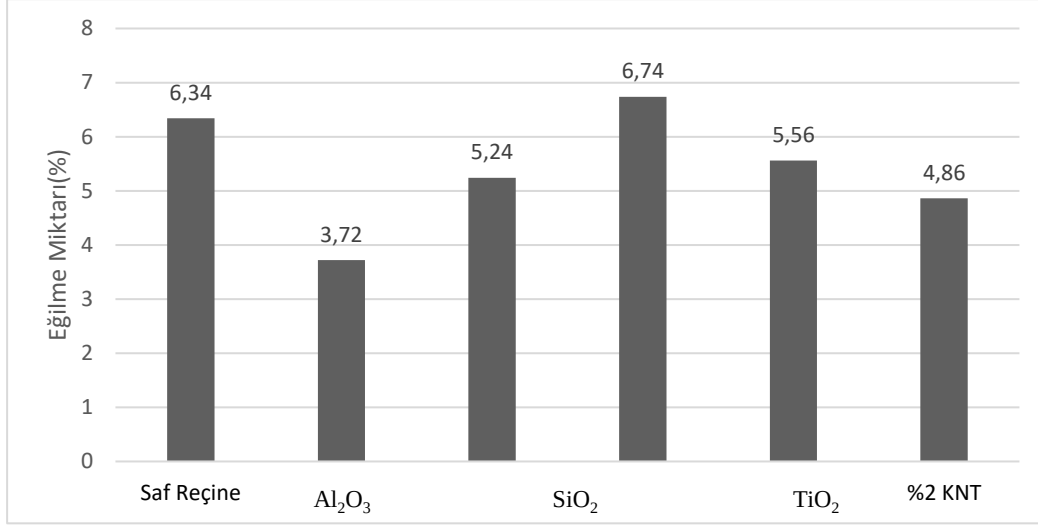
Şekil 4.22. %2 KNT katkılı numunenin gerilme-deformasyon grafiği.

Şekil 4.23'te numunelerin elastik modülü verilmiştir.



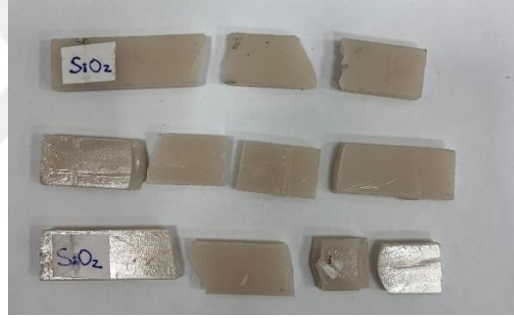
Şekil 4.23. Elastik Modül.

Şekil 4.24'te numunelerin yüzde eğilme miktarları verilmiştir.



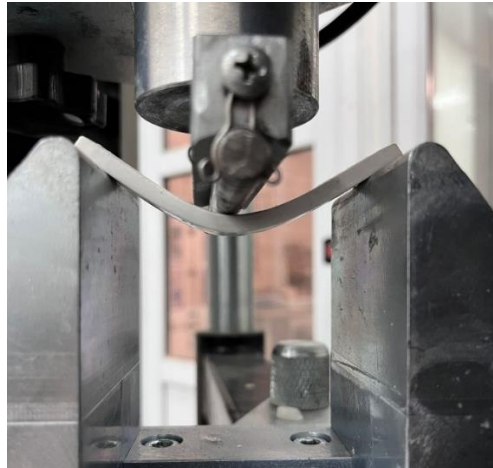
Şekil 4.24. Yüzdece eğilme miktarı.

Şekil 4.25'te üç nokta eğilme testi sonrası kırılmış %2 SiO₂ katkılı numune fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.25. Üç nokta eğilme testi sonrası kırılmış %2 SiO₂ katkılı numune.

Şekil 4.26'da örnek olarak TiO₂ numunenin üç nokta eğilme testi esnasındaki fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.26. TiO₂ numunesi üç nokta eğilme testi.

Tabloya baktığımız zaman saf reçine numunenin elastik modülü 2.376 GPa, eğilme gerilmesi ise 96.34 MPa olarak verilmiştir.%2 TiO₂ katkılı numunemize baktığımızda elastik modülünün 1,934 GPa'a ,eğilme gerilmesinin ise 84,7 MPa'a indiğini görmekteyiz %2 TiO₂ katkısı, elastik modülünü %23,5 azaltırken, eğilme gerilimini %18,4 artırır.

Aydemir ve arkadaşlarının (2016) yaptığı çalışmada katkısız polipropilene %0,5 ,%1, %2 ve %4 nano TiO₂ katıldığında eğme dayanımı ve elastik modülü sırasıyla 49,7 MPa'dan 47,2 MPa, 49,4 MPa'dan 49,5 MPa'a, 1,3 GPa'dan 1,2 GPa'ya, 1,28 GPa'dan 1,29 GPa'ya düşmüştür. %4 nano TiO₂ katkısına baktığımız zaman ise eğme dayanımı 51,2 MPa'a elastik modülü ise 1,41 GPa'ya çıkmıştır. Belli bir orana kadar yeterli gevrekliği ve tokuğu sağlamayan nano TiO₂ oranı arttırıldığında malzemenin gevrekliğinin arttığı görülmüştür [100].

Tabloya baktığımız zaman saf reçine numunenin elastik modülü 2,37 GPa , eğilme gerilmesi ise 96,34 MPa olarak verilmiştir.%2 ZrO₂ katkılı numunemize baktığımız da elastik modülünün 2,75 GPa'a, eğilme gerilmesinin ise 115 MPa'a çıktığını görmekteyiz. %2 Nano ZrO₂ katkısı, elastik modülünü %17,7 artırır ve eğilme gerilimini %29,7 artırır. Bu sonuçlara bakarak ZrO₂'nin matrisin sertliğini ve tokluğunu artıran bir sertleştirici etkisine sahip olduğu söylenebilir.

Mizobuchi ve arkadaşlarının (2023) yaptığı çalışmada eğilme testine baktığımızda katkısız kompozitin eğilme dayanımı 128,1 MPa, elastik modülü ise 2,67 GPa, nano ZrO₂ katkılı kompozitin eğilme dayanımı 59,4 MPa elastik modülü ise 1,03 GPa çıkmıştır. Katkı maddesi eğilme dayanımını ve elastik modülünü düşürmüştür [97].

Tabloya baktığımız zaman saf reçine numunenin elastik modülü 2,37 GPa , eğilme gerilmesi ise 96,34 MPa olarak verilmiştir. Nano SiO₂ katkılı reçinemizde elastik modülü 3,06 GPa'ya eğilme gerilmesi ise 122,6 MPa'a çıkmıştır. %2 nano SiO₂ katkısı, elastik modülünü %25,1 artırır ve eğilme gerilimini %27,2 artırır.

Song ve arkadaşlarının (2021) uygulamış olduğu deneyde nano SiO₂ katkısı ile belirli bir noktaya kadar eğme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Elastik modülünün de belirli bir noktaya kadar arttığı görülmüştür [99] .

Ahmadi'nin (2020) yaptığı çalışmada doymamış polyester reçineye %2 oranında nano SiO₂ katkı malzemesi eklendiği zaman elastik modülünün arttığı gözlenmiştir [101].

Tabloya bakıldığında saf reçine numunenin elastik modülü 2,37 GPa , eğilme gerilmesi ise 96,34 MPa olarak verilmiştir. Karbon nanotüp katkılı numunede elastik modülü 1,67 GPa'ya, eğilme gerilmesi ise 64 MPa'a düşmüştür %2 KNT katkısı, elastik modülünü %33,4 azaltırken, eğilme gerilimini %37,2 azaltır. Bu, KNT'nin matrisin sertliğini ve tokluğunu azaltan bir yumuşatıcı etkisine sahip olduğu anlamına gelir.

Abdul-Hussein ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışmada karbon fiber takviyeli doymamış polyester reçineli kompozite %0,5 Karbon nanotüp karıştırıldığı zaman eğme dayanımının arttığı görülmüştür [102].

Tabloya baktığımız zaman saf reçine numunenin elastik modülü 2,37 GPa , eğilme gerilmesi ise 96,34 MPa olarak verilmiştir. Karbon nanotüp katkılı numunede elastik modülü 2,86 GPa'ya eğilme gerilmesi ise 91,3 MPa'a düşmüştür %2 Al₂O₃ katkısı, elastik modülünü %20,8 artırır ve eğilme gerilimini %15,2 artırır.

Vojdani ve arkadaşlarının (2012) yaptığı çalışmada akrilik reçineye %0,5 %1 %2,5 oranında nano Al₂O₃ katkısı katıldığında minimum eğme dayanımı yükselmektedir. %5 oranında katkılıda ise eğilme dayanımı düşmektedir. Bunun sebebi ise nano malzemenin oranı arttıkça topaklanma olasılığı da artar. Bu sebeple eğme dayanımında düşüş yaşanabilir [103].

Saf reçineye göre en yüksek artışlar %2 SiO₂ ve %2 ZrO₂ kompozitlerinde görülmektedir. %2 SiO₂ kompozitinde eğilme modülünde %27,8, eğilme mukavemetinde %27,0 ve eğilme esnekliğinde %106,9 artış meydana gelmiştir. %2 ZrO₂ kompozitinde ise eğilme modülünde %17,5, eğilme mukavemetinde %29,6 ve eğilme esnekliğinde %20,2 artış meydana gelmiştir.

Bu artışlar, %2 SiO₂ ve %2 ZrO₂ partiküllerinin saf reçineye mukavemet ve sertlik kazandırmasından kaynaklanmaktadır.

%2 TiO₂, %2 KNT ve %2 Al₂O₃ katkılı nano kompozitlerde ise artışlar daha düşüktür.

4.4. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Çember Çekme Dayanım Testi

Şekil 4.27’de çember çekme dayanım testi gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Karbon nanotüp katkılı boru çember çekme dayanım testi.

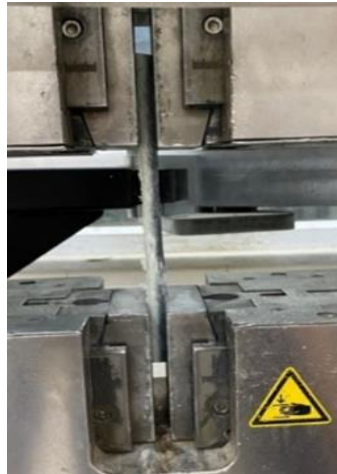
Tablo 4.14’te karbon nano tüp katkılı numune boru için çember çekme dayanım testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.14. Karbon nano tüp katkılı numune boru için çember çekme dayanım testi sonuçları.

Numune	Genişlik (mm)	Maksimum Yük (kN)	Süre (sn)	Test Sonuçları (N/mm)
KNT katkılı boru	10,48	26,42	85,2	2523,1

4.5. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Eksenel Çekme Dayanım Testi

Şekil 4.28’de karbon nano tüp boru için eksenel çekme dayanım testi verilmiştir.



Şekil 4.28. Karbon nanotüp katkılı boru eksenel çekme dayanım testi.

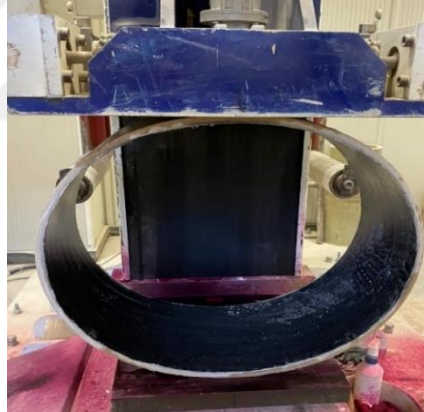
Tablo 4.15’te karbon nano tüp katkılı borunun eksenel çekme testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.15. Karbon nanotüp katkılı boru eksenel çekme test sonuçları.

Numune	Pikteki Yük (kN)	Maks. Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maksimum Yer değiştirme (%)
Karbon nanotüp boru	9,1	308,57	34,18	8,86	29,14	600	8,02	5,4

4.6. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Rijitlik Testi

Şekil 4.29’da karbon nanotüp katkılı boruya uygulanan rijitlik testi gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Karbon nanotüp katkılı boru rijitlik testi

Tablo 4.16’da rijitlik testi yapılan numunenin özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.16. Rijitlik testi numune özellikleri

Kalınlık (mm)	İç çap (mm)	Uzunluk (mm)	Ağırlık (kg)	Numune Sayısı
12,5	598,8	298	10,2	1

Tablo 4.17’de rijitlik test sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.17. Karbon nanotüp katkılı boru rijitlik test sonuçları.

Sıkıştırma Açıları	1 (0°)	2(60°)	3(120°)
Uygulanan kuvvet (N)	3609	3637	3605
Sehim (mm)	18,34	18,34	18,34
Rijitlik (N/m ²)	12788	12878	12764
Ortalama Rijitlik	12807		

4.7. Karbon Nanotüp Katkılı Boru Barcol Sertlik Ölçümü

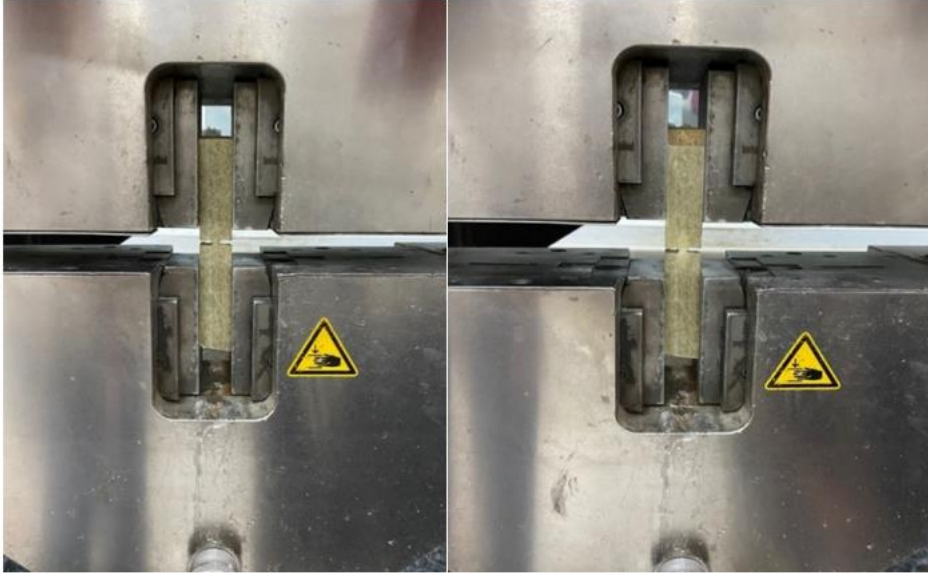
Tablo 4.18’de karbon nano tüp katkılı numune borunun sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.18. Karbon nanotüp katkılı numune boru sertlik ölçüm sonuçları.

Numune	Barcol Sertlik Değeri (HBa)
Standart Boru	58
%0,5 KNT katkılı Boru	55

4.8. Nano SiO₂ Katkılı Boru Çember Çekme Dayanım Testi Sonuçları

Şekil 4.30'da çember çekme dayanım testi sırasında çekilmiş bir fotoğraf gösterilmektedir.



Şekil 4.30. Nano SiO₂ katkılı boru çember çekme dayanım testi.

Tablo 4.19'da nano SiO₂ katkılı borunun çember çekme dayanım testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.19. Nano SiO₂ katkılı borunun çember çekme dayanım testi sonuçları.

Numune	Genişlik (mm)	Maksimum Yük (kN)	Süre (sn)	Test Sonuçları (N/mm)
KNT katkılı boru	10,48	23,2	77,2	2213,0

4.9. Nano SiO₂ Katkılı Boru Eksenel Çekme Dayanım Testi Sonuçları

Tablo 4.20'de nano SiO₂ katkılı borunun eksenel çekme dayanım testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.20. Nano SiO₂ katkılı borunun eksenel çekme dayanım testi sonuçları.

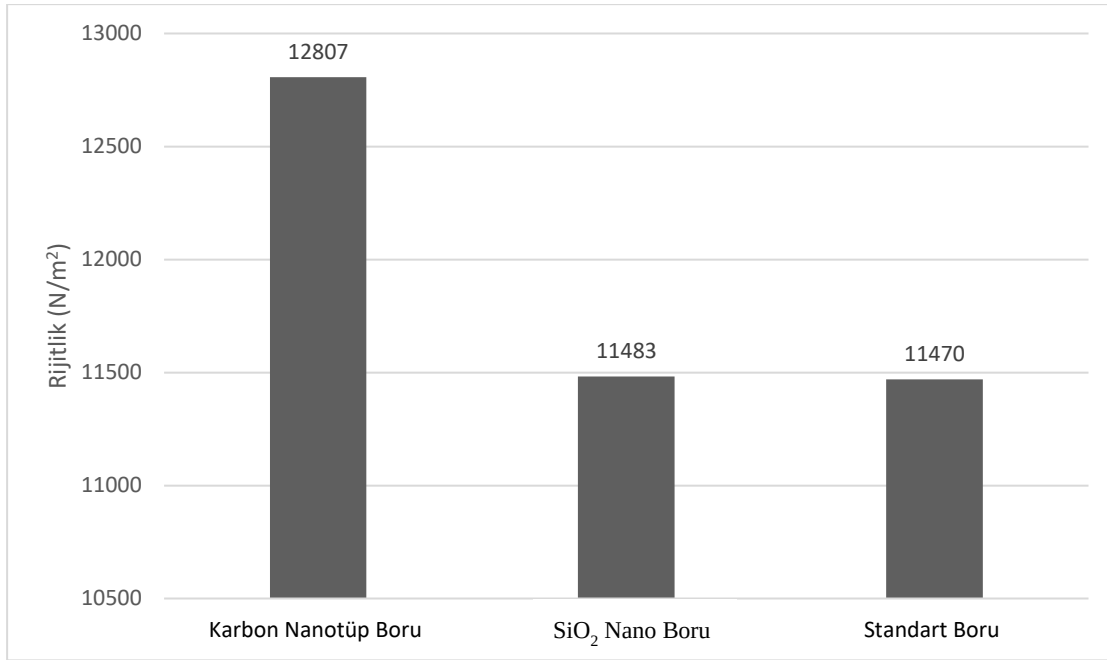
Numune	Pikteki Yük (kN)	Maks. Yük/Genişlik (N/mm)	Pikteki Gerilme (MPa)	Kırılmadaki Yük (kN)	Kırılmadaki Gerilme (MPa)	Young Modülü (MPa)	0.2 Yield (kN)	Maks. Yer değiştirme (%)
SiO ₂ katkılı boru	8,79	316,81	27,9	8,79	27,96	572	7,19	5,3

Şekil 4.31’de nano SiO₂ katkılı numunenin eksenel çekme testi sırasındaki bir fotoğrafı gösterilmektedir.



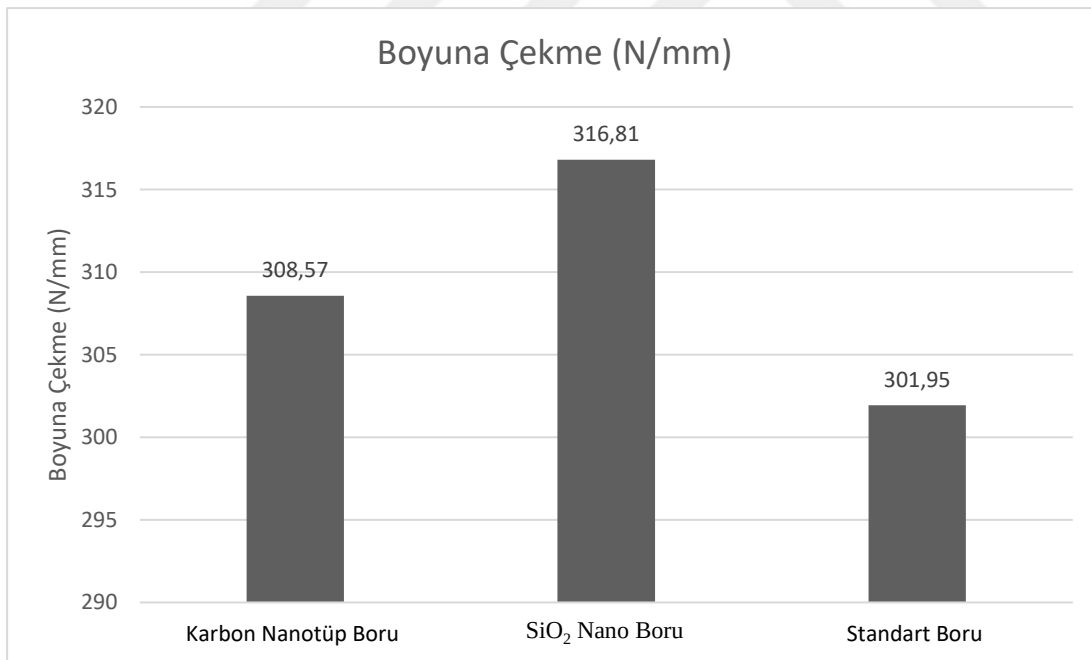
Şekil 4.31. Nano SiO₂ katkılı boru eksenel çekme dayanım testi.

Şekil 4.32’de boru standartlarına göre nano katkılı boruların rijitlik karşılaştırma grafiği verilmiştir.



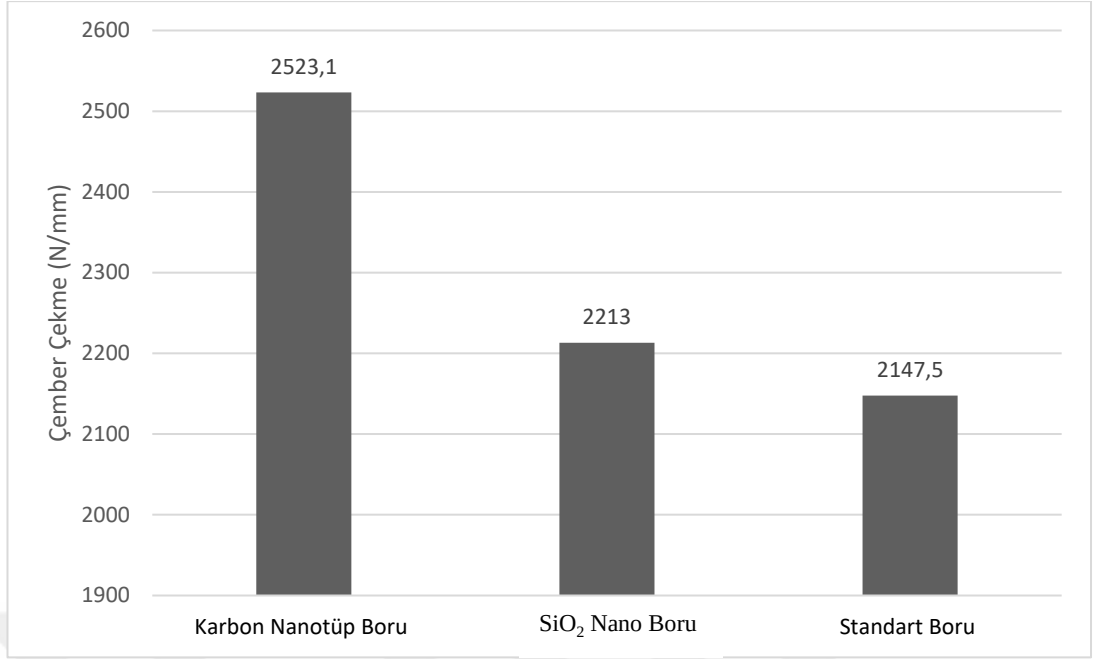
Şekil 4.32. Standartlara göre nano katkılı boruların rijitlik karşılaştırması.

Şekil 4.33'te standartlar ve nano katkılı boruların boyuna çekme dayanımı karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 4.33. Standartlara göre nano katkılı boruların boyuna çekme dayanımının karşılaştırması.

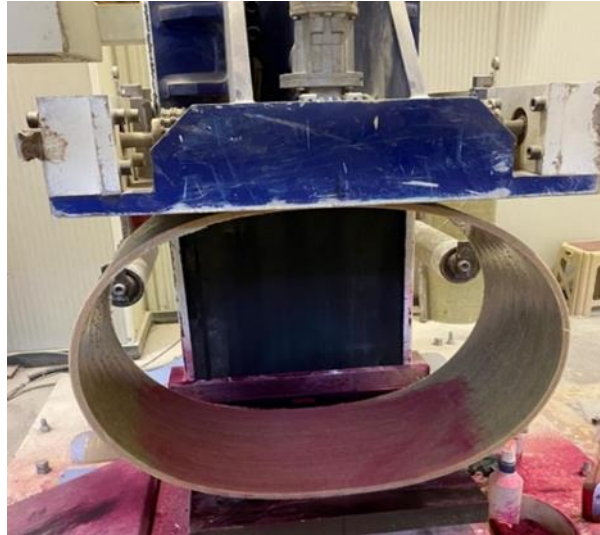
Şekil 4.34'te standartlar ve nano katkılı boruların çember çekme dayanımının karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 4.34. Standartlara göre nano katkılı boruların çember çekme dayanımının karşılaştırması.

4.10. Nano SiO₂ Katkılı Boru Rijitlik Testi Sonuçları

Bu testin amacı, CTP borularda TS EN 1228 metot A [86] ve ISO 7685 metot A [87] test metotlarına uygun olarak numune almak ve borunun başlangıç spesifik çember rijitliğini bulmaktır. Testler YLE marka CK4400 cihazı ile yapılmıştır. Şekil 4.35'te nano SiO₂ katkılı boruya uygulanan rijitlik testinin fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 4.35. Nano SiO₂ katkılı boru rijitlik testi.

Tablo 4.21'de nano SiO₂ katkılı rijitlik testi yapılan numunenin özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.21. Rijitlik testi numune özellikleri.

Kalınlık (mm)	İç Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Ağırlık (kg)	Numune sayısı
12,4	598,8	300	14.2	1

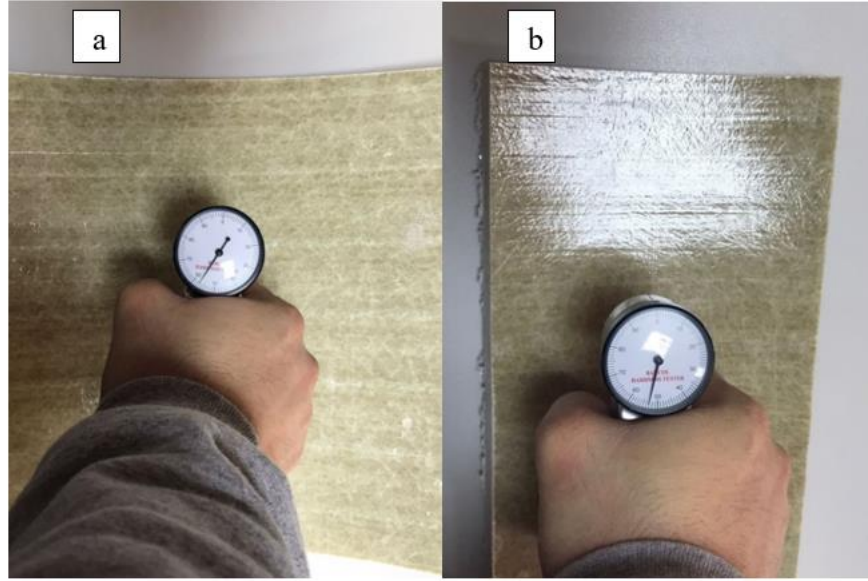
Tablo 4.22’de nano SiO₂ katkılı borunun rijitlik test sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.22. Nano SiO₂ katkılı boru rijitlik testi sonuçları.

Sıkıştırma Açıları	1(0°)	2(60°)	3(120°)
Uygulanan Kuvvet (N)	3258	3214	3313
Sehim (%)	3	3	3
Sehim (mm)	18,26	18,26	18,26
Rijitlik Katsayısı	0,01935	0,01935	0,01935
Rijitlik (N/m ²)	11505	11353	11703
Ortalama Rijitlik	11521		

4.11. Nano SiO₂ Katkılı Boru Sertlik Ölçümü Sonuçları

Barcol sertlik testinde, örnek malzemeye, bir yay yüküyle keskin bir çelik noktanın penetrasyonunu ölçülür. Örnek, cihazının girintisinin altına yerleştirilir ve kadradaki gösterge maksimuma ulaşınca kadar düzgün bir basınç uygulanır. Barcol sertlik test yöntemi hem takviyeli hem de takviyesiz sert plastiklerin sertliğini belirlemek ve reçinelerin ve plastiğin kurlenme derecesini belirlemek için kullanılır. Şekil 4.36’da standart borunun ve nano SiO₂ katkılı borunun sertlik ölçümü sırasında çekilen fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 4.36. a. SiO₂ katkılı boru sertlik ölçümü **b.** Standart boru sertlik ölçümü.

Tablo 4.23'te Nano SiO₂ katkılı boru ve standartlar borunun sertlik karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 4.23. Nano SiO₂ katkılı boru ve standart boru sertlik karşılaştırması.

Numune	Barcol Sertlik Değeri (HBa)
Standart boru	58
%2 Nano SiO ₂ katkılı boru	55

4.12. Borular Arasında Karşılaştırma

Tablo 4.24'te borular arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu sonuçlara göre rijitlik testinde en yüksek sonuç karbon nano tüp katkılı boruda alınmıştır. Buradan yola çıkarak karbon nano tüpün borunun rijitliğini artırdığı söylenebilir. Eksenel çekme dayanımında en yüksek sonuç SiO₂ katkılı boruda alınmıştır. SiO₂ borunun eksenel çekme dayanımını artırmıştır. Çember çekme dayanımında ise en yüksek sonuç karbon nano tüp katkılı boruda alınmıştır. Bu değerlerden yola çıkarak nano katkıların boruların mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir.

Tablo 4.24. Standart boru- nano borular mekanik özellik karşılaştırma tablosu.

	RİJİTLİK (N/m²)	EKSENEL ÇEKME (N/mm)	ÇEMBER ÇEKME (N/mm)
Karbon Nanotüp Boru	12807	308,57	2523,1
SiO ₂ Nano Boru	11483	316,81	2213,0
Standart Boru	11470	301,95	2147,5

Test sonuçlarına göre karbon nanotüp katkısının borunun yapısına daha homojen dağılarak daha güçlü bağlar ortaya koyduğunu görmekteyiz.

Rijitlik, boyuna çekme ve çember çekme testlerinde numunelerin elyaf sarım yönleri test cihazının çekme yönüne paraleldir. Teste göre rijitlik ve çember çekme numunelerinde önemli olan sarmal elyafların yönüdür. Rijitlik testinin baskı plakası bobin elyaflara paralel olarak baskı yaptığı için bobin elyaflara en çok bağlanan karbon nanotüp en yüksek değeri vermiştir. Boyuna çekme testinde ise kırpık elyafların daha çok etki ettiğini görüyoruz. SiO₂ nano boruda nano SiO₂'ler kırpık elyaflara daha fazla etki ederek dayanımı arttırmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında iki konu üzerine çalışılmıştır. Birincisi polyester reçine matrisli kompozitlere nano malzeme ilave edilmesinin mekanik özellikleri katkısının araştırılmasıdır. İkincisi cam elyaf takviyeli polyester boruda kullanılan reçinenin içerisine nano malzeme ilave edilmesinin mekanik özelliklere katkısının araştırılmasıdır.

Polimer matrisli kompozit malzemeler, hafiflik, yüksek mukavemet ve tokluk gibi özellikleriyle birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır. Bu malzemelerin özelliklerini geliştirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri, matris malzemesine nano katkıları eklemektir.

Bu çalışmada, polyester matrisli kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi için nano boyutlu ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 ve karbon nano tüp katkıları kullanılmıştır. %2 oranda nano malzeme eklenerek çıkan sonuçlar birbiri içerisinde karşılaştırılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelenerek bulunan sonuçların geçerliliği araştırılmıştır.

5.1. Sonuçlar

- Deney sonuçlarına bakıldığında nano katkıların polimer matrisli kompozitlerde mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmektedir.
- Deney sonuçlarına göre en fazla sertlik değeri Al_2O_3 olduğu görülmüştür.
- Deney sonuçlarına göre en fazla çekme dayanımını ZrO_2 olduğu görülmüştür.
- Deney sonuçlarına göre en fazla eğilme dayanımı SiO_2 ve ZrO_2 olduğu görülmüştür.
- Deney sonuçlarına göre karbon nanotüp en düşük eğilme ve çekme dayanımı göstermiştir.
- Üretilen boru sonuçlarına baktığımızda ise karbon nanotüpün en yüksek rijitlik ve çember çekme dayanımına sahip olduğunu görülmektedir. Eksenel çekme testinde ise SiO_2 katkılı boru en yüksek sonucu vermiştir.

- Nano katkıların boru üretiminde rijitlik ve çekme mukavemetini arttırdığı görülmüştür.
- Eğilme mukavemetinde bazı nano katkıların polyester matris içinde daha güçlü bağlar oluşturduğu görülmüştür.

5.2. Öneriler

- Nano katkıların polyester matrisin içinde daha homojen dağılması sağlanabilir.
- Nano boyutları ve oranlarının mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- Hibrit nano karışımly polyester matrisler araştırılabilir.
- Nano katkının farklı oranlarda katıldığında kompozit malzemenin davranışı incelenebilir.
- Nano katkıların kimyasal dirence yönelik davranışı kontrol edilebilir.
- Nano katkıların ısı iletim katsayısına etkisi araştırılabilir.
- Reçinenin nano katkıları ıslatma süresi tespit edilerek yeni üretim yöntemleri geliştirilerek daha yüksek oranlarda nano katkıları kullanılabilir.
- Nano katkıların reçinedeki kürleşme süresini iyileştirme konusunda araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] William D. Callister, D. G. R. (2009). *Materials Science and Engineering An Int.*
- [2] F. C. Campbell. (2010). *Structural Composite Materials.*
- [3] Kulkarni, M. V., & Boppana, S. B. (2023). Composites Overview (pp. 3–21). https://doi.org/10.1007/978-981-99-5982-2_1
- [4] Faris, M. (2021). Introduction to Composite Materials: A Review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9(5), 2157–2161. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.34810>
- [5] Girimurugan, R., Arunraja, K. M., Shanmugam, A., Saranya, S., & Vigneshwaran, M. (2023). The effects of nano-alumina particles on the enrichment of tensile, flexural and impact properties of carbon fiber-reinforced epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2023.04.053>
- [6] Nagaral, M., Nayak, P., Srinivas, H. K., & Auradi, V. (2019). Characterization and Tensile Fractography of Nano ZrO₂ Reinforced Copper-Zinc Alloy Composites. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 13(48), 370–376. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.48.35>
- [7] Hassan, S. F., & Gupta, M. (2004). Development of high performance magnesium nanocomposites using solidification processing route. *Materials Science and Technology*, 20(11), 1383–1388. <https://doi.org/10.1179/026708304X3980>
- [8] Kumaraswam, J., Kumar, V., Purushotham, G. G., & Suresh, R. (2021). Thermal Analysis Of Nickel Alloy/Al₂O₃/TiO₂ Hybrid Metal Matrix Composite In Automotive Engine Exhaust Valve Using Fea Method. *Journal of Thermal Engineering*, 7(3), 415–428. <https://doi.org/10.18186/thermal.882965>
- [9] Shekh, M. I., Patel, D. M., Patel, N. N., Patel, U. S., Patel, K. P., & Patel, R. M. (2018). Methacrylate copolymers and their composites with nano-CdS: synthesis, characterization, thermal behavior, and antimicrobial properties. *International Journal of Industrial Chemistry*, 9(2), 153–166. <https://doi.org/10.1007/s40090-018-0146-3>
- [10] Xiong, M., Gu, G., You, B., & Wu, L. (2003). Preparation and characterization of poly(styrene butylacrylate) latex/nano-ZnO nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(7), 1923–1931. <https://doi.org/10.1002/app.12869>
- [11] Kumar, P., & Mergheim, J. (2021). Size Effects in Computational Homogenization of Polymer Nano-Composites. *PAMM*, 20(1). <https://doi.org/10.1002/pamm.202000047>

- [12] Dashtizadeh, A., Abdouss, M., Tabarzadi, M., & Rahimi, A. (2009). Preparation of a silica nano-composite emulsion resin and study of properties and behaviors. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 40(9), 684–689. <https://doi.org/10.1002/mawe.200900506>
- [13] Wang, W. Y., Wang, G. Q., Zeng, X. F., Song, J. R., & Chen, J. F. (2007). Study on the Micro Structure and Mechanical Properties of Nano-CaCO₃/ABS Composites. *Solid State Phenomena*, 121–123, 1459–1462. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.121-123.1459>
- [14] PD, P. (2013). How Nanotechnology can Really Improve the Future of Orthopedic Implants and Scaffolds for Bone and Cartilage Defects. *Journal of Nanomedicine & Biotherapeutic Discovery*, 03(02). <https://doi.org/10.4172/2155-983X.1000114>
- [15] Solodov, A. N., Balkaev, D. A., Shayimova, J. R., Vakhitov, I. R., Gataullina, R. M., Sukhov, A. V., ... Amirov, R. R. (2023). Tribological properties of an epoxy polymer containing a magnetically oriented graphene oxide/iron oxide nanoparticle composite. *Diamond and Related Materials*, 138, 110211. <https://doi.org/10.1016/J.DIAMOND.2023.110211>
- [16] Mandal, S., Sethi, S., & Biswas, K. (2023). Flexural behavior of pMWCNTs filled glass fiber/epoxy nanocomposites: Synthesis and interfacial failure. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(6), e53438. <https://doi.org/10.1002/APP.53438>
- [17] Kamal K. Kar. (2017). *Composite Materials*. (Kar, K. K., Ed.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49514-8>
- [18] Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262, 113640. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.113640>
- [19] ExcelPipes (2023, 28 Aralık) <https://excelpipes.com/technology/>. (2023). Retrieved December 28, 2023, from <https://excelpipes.com/technology/>
- [20] SUBOR BORU SAN VE TİC AŞ. (2023). Subor (2023, 28 Aralık) Boru Tanıtım Kataloğu <https://www.subor.com.tr/tr>. Sakarya: Subor Boru San Ve Tic. A.Ş.
- [21] Holmes, C., & Dulieu-Barton, J. (2023). Flexible photonics in carbon and glass fiber reinforced polymers for new multifunctionality: Exploring the advances, challenges, and opportunities. *Optical Materials: X*, 20, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.omx.2023.100277>
- [22] Grum, J. (2007). Book Review: Fundamentals of Composites Manufacturing, Materials, Methods and Applications. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 2(2), 251. <https://doi.org/10.1504/IJMMP.2007.014308>

- [23] Sunum(2023, 28 Aralık) <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/kompozitmalzemellersunu4polimermatrislikompozitler.pdf>. (2023).
- [24] Biçen, A., & Güvenç, N. (2021). The Identification and Characterization of Unsaturated Polyester Resins Used in the Coating Industry/ Boya Endüstrisinde Kullanılan Doymamış Polyester Reçinelerin Belirlenmesi ve Karakterizasyonu. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 1077–1086. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.948029>
- [25] Turkopp, R. C., Sharff, Phillip., & American Water Works Association. (2014). *M45 - Fiberglass Pipe Design 2014 AWWA*.
- [26] İpek. S. (2023) *Poss Modifiye Alev Geciktirici Doymamış Polyester Reçine Sentezi Ve Karakterizasyonu [Yüksek Lisans Tezi] Marmara Üniversitesi*. (n.d.).
- [27] Jiang, C., Jin, C., Wei, M., Yan, S., & Chen, D. (2018). Mechanical and thermal properties improvement of unsaturated polyester resin by incorporation of TiO₂ nanoparticle surface modified with titanate. *Materials Research Express*, 5(11). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadc42>
- [28] Kumar, M., & Ravikiran, R. (2018). *Development of E-Glass Woven Fabric / Polyester Resin Polymer Matrix Composite and Study of Mechanical Properties. Materials Today: Proceedings* (Vol. 5). Retrieved from www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings2214-7853
- [29] Prabhuram, T., Prathap Singh, S., Elil Raja, D., Immanuel Durairaj, J., Chrispin Das, M., & Ravichandran, P. (2023). Development and mechanical characterization of jute fibre and multi-walled carbon nanotube-reinforced unsaturated polyester resin composite. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.302>
- [30] İlhan, R., & Feyzullahoğlu, E. (2019). Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaf ve Dolgu Maddeleri. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*. <https://doi.org/10.31202/ecjse.519072>
- [31] Ghahremani, L., Shirkavand, S., Akbari, F., & Sabzikari, N. (2017). Tensile strength and impact strength of color modified acrylic resin reinforced with titanium dioxide nanoparticles. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 0–0. <https://doi.org/10.4317/jced.53620>
- [32] Bilici. İ. (2012) *Atık Plastiklerden Kompozit Malzeme Üretimi Ve Karakterizasyonu [Doktora Tezi] Ankara Üniversitesi*. (2012).
- [33] Irshad, M. A., Nawaz, R., Rehman, M. Z. ur, Adrees, M., Rizwan, M., Ali, S., ... Tasleem, S. (2021). Synthesis, characterization and advanced sustainable applications of titanium dioxide nanoparticles: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, 111978. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111978>
- [34] Sallal, H. A., Abdul-Hamead, A. A., & Othman, F. M. (2020). Effect of nano powder (Al₂O₃-CaO) addition on the mechanical properties of the polymer blend matrix composite. *Defence Technology*, 16(2), 425–431. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.07.013>

- [35] Abbud, L. H., Al-Masoudy, M. M. M., Hussien Omran, S., & Abed, A. M. (2023). Experimental study the mechanical properties of nano composite materials by using multi-metallic nano powder/epoxy. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2495–2500. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.06.395>
- [36] Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*. BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>
- [37] Jagadeesan, A. K., Thangavelu, K., Dhananjeyan, V., Jagadeesan, A. K., Thangavelu, K., & Dhananjeyan, V. (2020). Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties and Applications. *21st Century Surface Science - a Handbook*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.92995>
- [38] Nam, N. H., & Luong, N. H. (2019). Nanoparticles: synthesis and applications. *Materials for Biomedical Engineering*, 211. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102814-8.00008-1>
- [39] Serrano, E., Rus, G., & García-Martínez, J. (2009). Nanotechnology for sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2373–2384. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.003>
- [40] Hussein, A. K. (2015). Applications of nanotechnology in renewable energies—A comprehensive overview and understanding. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 460–476. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.10.027>
- [41] Marchesan, S., & Prato, M. (2013). Nanomaterials for (Nano)medicine. *ACS Medicinal Chemistry Letters*, 4(2), 147–149. https://doi.org/10.1021/ML3003742/ASSET/IMAGES/LARGE/ML-2012-003742_0001.JPEG
- [42] Sabu Thomas, Yves Grohens, & Yasir Beeran Pottathara. (2019). *Industrial Applications of Nanomaterials*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03283-4>
- [43] Shi, H., Magaye, R., Castranova, V., & Zhao, J. (2013). Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. *Particle and Fibre Toxicology* 2013 10:1, 10(1), 1–33. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-10-15>
- [44] A. Jawad, A., M. Lua'i, R., M. Lua'i, R., H. Safir, N., Jawad, S., & K. Abbas, A. (2022). Synthesis Methods and Applications of TiO₂ based Nanomaterials. *Al-Nahrain Journal of Science*, 25(4), 1–10. <https://doi.org/10.22401/ANJS.25.4.01>
- [45] Musial, J., Krakowiak, R., Mlynarczyk, D. T., Goslinski, T., & Stanis, B. J. (2020). Titanium Dioxide Nanoparticles in Food and Personal Care Products—What Do We Know about Their Safety? *Nanomaterials*, 10(6), 1110. <https://doi.org/10.3390/nano10061110>
- [46] Ghaly, M. Y., Jamil, T. S., El-Seesy, I. E., Souaya, E. R., & Nasr, R. A. (2011). Treatment of highly polluted paper mill wastewater by solar photocatalytic oxidation with synthesized nano TiO₂. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.028>

- [47] Zhang, P., Zhang, H., Cui, G., Yue, X., Guo, J., & Hui, D. (2021). Effect of steel fiber on impact resistance and durability of concrete containing nano-SiO₂. *Nanotechnology Reviews*, 10(1), 504–517. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2021-0040>
- [48] Anlli Teekarama. (2022). Nano Materials in New Building Materials. *International Journal of Engineering Technology and Construction*, 3(4). <https://doi.org/10.38007/IJETC.2022.030402>
- [49] Elkholy, G. A. L. (2017). Treatment of nylon garment to improve its properties. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(3), 36. <https://doi.org/10.14419/ijbas.v6i3.7627>
- [50] Nguyen Thi, M. H., & That, P. T. (2021). Decreasing CCT deviation of white light emitting diodes by employing SiO₂ nanoparticles. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(3), 1316–1324. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i3.3041>
- [51] Kok, M. (2005). Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle-reinforced 2024 aluminium alloy composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 161(3), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.07.068>
- [52] WANG, T., WANG, Q., CUI, S., YI, H., SU, T., & TAN, Z. (2023). Effects of Nanomaterials Reinforced Aggregate on Mechanical Properties and Microstructure of Recycled Brick Aggregate Concrete. *Materials Science*, 29(3), 347–355. <https://doi.org/10.5755/j02.ms.32715>
- [53] Alalkawi, H. J. M., Hamdany, A. A., & Alasadi, A. A. (2017). Influence of Nanoreinforced Particles (Al₂O₃) on Fatigue Life and Strength of Aluminium Based Metal Matrix Composite. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 13(3), 91–99. <https://doi.org/10.22153/kej.2017.03.005>
- [54] Zhou, X., Zhang, Y., Jiao, X., & Zhang, Y. (2023). Effect of Nano-Al₂O₃ on Properties of Alkali Activated GBFS Cementitious Materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 2519(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2519/1/012044>
- [55] Alnahhal, W., Taha, R., Al-Nasseri, H., & Nishad, S. (2018). Effect of Using Cement Kiln Dust as a Nano-Material on the Strength of Cement Mortars. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(4), 1361–1368. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0010-6>
- [56] Bi, S., Guo, K., Liu, Z., & Wu, J. (2011). Performance of a domestic refrigerator using TiO₂-R600a nano-refrigerant as working fluid. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 733–737. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.07.052>
- [57] Jilte, R., Afzal, A., & Panchal, S. (2021). A novel battery thermal management system using nano-enhanced phase change materials. *Energy*, 219, 119564. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119564>
- [58] Madderla Sandhya, D. Ramasamy, K. Sudhakar, K. Kadirgama, & W.S.W. Harun. (2021). Hybrid nano-coolants in automotive heat transfer – an updated report. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 2(3), 43–57. <https://doi.org/10.54279/mijeec.v2i3.245040>

- [59] Donkov, N., Zykova, A., Safonov, V., Dudin, S., Yakovin, S., & Dimov, D. (2023). Structural and mechanical properties of magnetron-sputtering-deposited Ta- and Al- based coatings – a comparative analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2487(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2487/1/012039>
- [60] Bu, A., Zhang, Y., Xiang, Y., Yang, Y., Chen, W., Cheng, H., & Wang, L. (2019). Plasma Electrolysis Spraying Al₂O₃ Nano-coating onto Quartz Fiber for Enhanced Thermal Conductivity and Stability. <https://doi.org/10.20944/PREPRINTS201912.0309.V1>
- [61] Hu, C., Sun, J., Long, C., Wu, L., Zhou, C., & Zhang, X. (2019). Synthesis of nano zirconium oxide and its application in dentistry. *Nanotechnology Reviews*, 8(1), 396–404. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2019-0035>
- [62] Cheema, T. A., & Garnweitner, G. (2014). Phase-controlled synthesis of ZrO₂ nanoparticles for highly transparent dielectric thin films. *CrystEngComm*, 16(16), 3366–3375. <https://doi.org/10.1039/C3CE42392A>
- [63] Doskocz, N., Affek, K., & Załęska-Radziwiłł, M. (2018). The effect of zirconium oxide nanoparticles on dehydrogenase and hydrolytic activity of activated sludge microorganisms. *E3S Web of Conferences*, 44, 00034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400034>
- [64] Al-Hossainy, A. F., Sh Zoromba, M., & -F Al Ahmed, H. (2021). Novel synthesis, characterization and TDD-DFT computations for ZrO₂-bromothymol blue nanocomposite thin film [ZrO₂+BTB]C and its application. <https://doi.org/10.21203/RS.3.RS-321215/V1>
- [65] LI, Q., & Coleman, N. J. (2014). Hydration kinetics, ion-release and antimicrobial properties of white Portland cement blended with zirconium oxide nanoparticles. *Dental Materials Journal*, 33(6), 805–810. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-174>
- [66] Abdul-Hamead, A., Othman, F., & Mohammed, R. (2018). Investigation the Effect of Nano-Particles and Recycling Mortar Additives on Physical and Mechanical Properties of Concrete. *Engineering and Technology Journal*, 36(3A), 295–303. <https://doi.org/10.30684/etj.36.3A.8>
- [67] Husein, M. M., & Hussein, S. I. (2021). Effect of Incorporating ZrO₂ Nanoparticles on Mechanical and Thermal Stability of Polymer Blends. *NeuroQuantology*, 19(5), 104–113. <https://doi.org/10.14704/nq.2021.19.5.NQ21054>
- [68] Ahmed, M. A., & Ebrahim, M. I. (2014). Effect of Zirconium Oxide Nano-Fillers Addition on the Flexural Strength, Fracture Toughness, and Hardness of Heat-Polymerized Acrylic Resin. *World Journal of Nano Science and Engineering*, 04(02), 50–57. <https://doi.org/10.4236/wjnse.2014.42008>
- [69] Imanova, G., Asgerov, E., Jabarov, S., Mansimov, Z., Kaya, M., & Doroshkevich, A. (2023). Hydrogen Generation During Thermal Processes of Water Decomposition on the Surface of Nano-ZrO₂+3mol.%Y₂O₃. *Trends in Sciences*, 20(4), 4684. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.4684>

- [70] Si, Y., & Guo, Z. (2015). Superhydrophobic nanocoatings: from materials to fabrications and to applications. *Nanoscale*, 7(14), 5922–5946. <https://doi.org/10.1039/C4NR07554D>
- [71] Cao, W., Lin, L., Qi, H., He, Q., Wu, Z., Wang, A., ... Zhang, T. (2019). In-situ synthesis of single-atom Ir by utilizing metal-organic frameworks: An acid-resistant catalyst for hydrogenation of levulinic acid to γ -valerolactone. *Journal of Catalysis*, 373, 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2019.03.035>
- [72] Rao, T. N., AlOmar, S. Y., Ahmed, F., Albalawi, F., Ahmad, N., Rao, N. K., ... Naidu, T. M. (2021). Reusable Nano-Zirconia-Catalyzed Synthesis of Benzimidazoles and Their Antibacterial and Antifungal Activities. *Molecules*, 26(14), 4219. <https://doi.org/10.3390/molecules26144219>
- [73] Küçükyıldırım, B. O., & Eker, A. A. (2012). *Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri Ve Kullanım Alanları*.
- [74] Esen, İ., Koç, M. A., & Eroğlu, M. (2023). Effect of Functionally Graded Carbon Nanotube Reinforcement on the Dynamic Response of Composite Beams Subjected to a Moving Charge. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s42417-023-01192-0>
- [75] Kumdere, M. (2020) *Tabakalı Prepreg Kompozitlerde Karbon Nanotüp Takviyesi İle Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu [Yüksek Lisans Tezi] Necmettin Erbakan Üniversitesi*. (n.d.).
- [76] Byron, D., Pacheli Heitman, A., Neves, J., de Souza, P. P., & de Oliveira Patricio, P. S. (2021). Evaluation of properties of polymer concrete based on epoxy resin and functionalized carbon nanotubes. *Construction and Building Materials*, 309, 125155. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125155>
- [77] Tripathi, N., Sharma, P., Pavelyev, V., Rymzhina, A., & Mishra, P. (2022). A Detailed Study on Carbon Nanotubes: Properties, Synthesis, and Characterization. *Chemically Modified Carbon Nanotubes for Commercial Applications*, 3–49. <https://doi.org/10.1002/9783527838790.CH1>
- [78] Rathinavel, S., Priyadharshini, K., & Panda, D. (2021). A review on carbon nanotube: An overview of synthesis, properties, functionalization, characterization, and the application. *Materials Science and Engineering: B*, 268, 115095. <https://doi.org/10.1016/J.MSEB.2021.115095>
- [79] Gümüş F. (2013) *Farklı Destek Ve Katalizör Malzemeleri İle Tek Duvarlı Karbon Nanotüp Sentezi [Yüksek Lisans Tezi] İstanbul Teknik Üniversitesi*. (2013).
- [80] Iijima, S., & Ichihashi, T. (1993). Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. *Nature*, 363(6430), 603–605. <https://doi.org/10.1038/363603a0>
- [81] An American National Standard. (2013). *ASTM-D2583-95-Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor - 2013*.
- [82] ISO. (2016). *ISO 8513 - Plastics piping systems-Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes-Test methods for the determination of the initial longitudinal tensile strength 2016*. Retrieved from www.iso.org
- [83] Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI. (2011). *ÇEKME DENEY FÖYÜ*.

- [84] TSE. (2019). *TS EN ISO 178-Plastics - Determination of Flexural Properties - 2019 TSE*.
- [85] Cilt ; Başar, G., Kahraman, F., & Kuş, H. (2018). *Optimization of Transverse Rupture Strength Using the Taguchi Method for Fly Ash Reinforced Bronze-Based Composite Friction Materials*. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering* (Vol. 5). Retrieved from www.dergipark.gov.tr
- [86] TSE. (1997). *TS EN 1228-Plastik Boru Sistemleri-Cam Elyaf Takviyeli Termoset Plastik (GRP) Borular-Başlangıç Spesifik Çember Rijitliğinin Tayini 1997*.
- [87] ISO. (2019). *Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes-Determination of initial ring stiffness ISO 7685*. Retrieved from www.iso.org
- [88] Paladery Industries. (2014). Ring Stiffness.
- [89] IEC, & ISO. (2018). *TS EN ISO/IEC 17025 - Deney ve kalibrasyon laboratuvarlarının yetkinliği için genel gereklilikler-2017*. Retrieved from www.tse.org.tr
- [90] TSE. (1999). *TS EN 1394-Plastik Boru Sistemleri-Cam Elyaf Takviyeli Termoset Plastik (GRP) Borular-Başlangıç Görünür Çember Çekme Mukavemetinin Tayini 1999*.
- [91] ISO. (2020). *ISO 8521:2020-Glass-reinforced thermosetting plastic (GRP) pipes — Test methods for the determination of the initial circumferential tensile wall strength*.
- [92] UZAY, Ç., & KAMER, M. S. (2022). Effect of Silane-Coated SiO₂ Nanoparticles on the Hardness Values of Glass FRP Composites. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 751–758. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1076888>
- [93] Hameed, H. K., & Rahman, H. A. (2015). The Effect of Addition Nano Particle ZrO₂ on Some Properties of Autoclave Processed Heat Cure Acrylic Denture Base Material. *Journal of Baghdad College of Dentistry*. <https://doi.org/10.12816/0015262>
- [94] Parumandla, N., & Adepu, K. (2018). Effect of Al₂O₃ and SiC Nano Reinforcements on Microstructure, Mechanical and Wear Properties of Surface Nanocomposites Fabricated by Friction Stir Processing. *Materials Science*, 24(3). <https://doi.org/10.5755/j01.ms.24.3.18220>
- [95] Batista, L. A., Felisberto, M. D. V., Silva, L. S., da Cunha, T. H. R., & Mazzer, E. M. (2019). Influence of multi-walled carbon nanotubes reinforcements on hardness and abrasion behaviour of porous Al-matrix composite processed by cold pressing and sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 791, 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.265>
- [96] El-Kemary, B. M., El-Borady, O. M., Abdel Gaber, S. A., & Beltagy, T. M. (2021). Role of <sc>nano-zirconia</sc> in the mechanical properties improvement of resin cement used for tooth fragment reattachment. *Polymer Composites*, 42(7), 3307–3319. <https://doi.org/10.1002/pc.26060>

- [97] Mizobuchi, S., Kato, T., Yamada, B., Kan, K., Ohtani, M., & Kobiro, K. (2023). Influence of the nanostructural characteristics of inorganic fillers on the physical properties of resin cements. *Dental Materials Journal*, 42(2), 291–299. <https://doi.org/10.4012/dmj.2022-164>
- [98] Younis, S., Oleiwi, J., & Mohammed, R. (2018). Some Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites Reinforced by Nano Silica Particles and Glass Fibers. *Engineering and Technology Journal*, 36(12A), 1283–1289. <https://doi.org/10.30684/etj.36.12A.10>
- [99] Song, X., Fang, C., Li, Y., Wang, P., Zhang, Y., & Xu, Y. (2022). Characterization of mechanical properties of jute/PLA composites containing nano SiO₂ modified by coupling agents. *Cellulose*, 29(2), 835–848. <https://doi.org/10.1007/S10570-021-04300-Z/FIGURES/11>
- [100] Aydemir, D., Uzun, G., Gümüş, H., Yıldız, S., Gümüş, S., Bardak, T., & Gündüz, G. (2016). Nanocomposites of Polypropylene/Nano Titanium Dioxide: Effect of Loading Rates of Nano Titanium Dioxide. *Materials Science*, 22(3). <https://doi.org/10.5755/j01.ms.22.3.8217>
- [101] Ahmadi Shahram. (2020). Thermo Mechanical behaviour of Phenol Novolac Resin and Unsaturated Polyester Toughened Epoxy using nano Bentonite and Silica Nanoparticles. <https://doi.org/10.47277/AANBT>
- [102] Abdul-Hussein, A., AL-Hassani, E., & Atallah, M. (2018). Effect of Nano Carbon Tube on the Mechanical and Physical Properties of Composites Based on Resin Route. *Engineering and Technology Journal*, 36(4A), 410–416. <https://doi.org/10.30684/etj.36.4A.7>
- [103] Vojdani, M., Bagheri, R., & Khaledi, A. A. R. (2012). Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. *Journal of Dental Sciences*, 7(3), 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2012.05.008>
- [104] TSE. (1997). *TS EN 1393-Plastik Boru Sistemleri-Cam Elyaf Takviyeli Termoset Plastik (GRP) Borular-Başlangıç Boyca Çekme Özelliklerinin Tayini 1997*.



EKLER

EK A: İzin Belgesi



28.02.2024

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Sakarya Üniversitesi ile SUBOR BORU SAN. VE TİC. A.Ş. arasında, ortak Ar-Ge projesi geliştirme amacıyla, üniversite-sanayi iş birliği anlaşması çerçevesinde 2021-2022 yılları arasında çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmaların bir kısmından firmamızda tasarım mühendisi olarak çalışan Şevval YILMAZ, Enstitünüz Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Prof. Dr. Akın AKINCI danışmanlığında “Nano Malzeme Katkılı Polimer Matrisli Kompozit Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi” isimli tez çalışması yapmıştır.

Firmamız ve üniversite ile birlikte yürütülen çalışmalarda yer alan verilerin Şevval YILMAZ tarafından yapılan tez çalışmasında, ulusal ve uluslararası bildiri ve yayınlarda firmamızın adı geçmesi kaydıyla kullanılmasında herhangi bir sakınca yoktur.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Seyfettin KILINÇ

Genel Müdür Yardımcısı

SUBOR BORU SAN. VE TİC. A.Ş.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Şevval YILMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2024, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılından beri Subor Boru San. Tic. A.Ş.'de Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

1. Kuyumcu N., Yilmaz S., Ozsoy N., Ozsoy M., Akinci A., (2022). Investigation of Mechanical Behavior of Carbon Nanotube Reinforced GFRP Pipes. 9th International Conference on Computational and Experimental Science And Engineering-ICCESEN. Turkey.
2. Yilmaz S., Kuyumcu N., Ozsoy N., Ozsoy M., Akinci A. (2022) Improvement of Mechanical Properties with Nano SiO₂ Addition to GFRP Pipes. 9th International Conference on Computational and Experimental Science And Engineering-ICCESEN. Turkey.

DİĞER ESERLER:

1. Unal H., Arda C., Yilmaz S., Findik F. (2023). Comparison of Mechanical Performance of Hoop Glass Fibre and Hoop Bazalt Fibre Reinforced Thermoset Polyester Composites. 9th International New York Conference On Evolving Trends In Interdisciplinary Research & Practices.

2. Unal H., Findik F., Yilmaz S., Selmanoglu M. (2023). The Effect of Glass Powder Filler on The Flexural and Hardness Properties of Unsaturated Polyester Based Composites”, Ankara International Congress on Scientific Research-VIII.
3. Unal H., Findik F., Arda C., Yilmaz Ş. (2023). Determination of Mechanical Properties of Glass Fibre Reinforced and Glass Powder Filled Unsaturated Polyester Thermoset Composites. 2nd International Paris Congress on Applied Sciences.
4. Arda C., Yilmaz S., Unal H., Findik F. (2023). The Effect of Aerosil Thickener on the Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Thermoset Resin. Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-V.
5. Yilmaz S., Arda C., Ozsoy N., Ozsoy M., Akinci A. (2022). Electrical Properties of Carbon Nanotube Reinforced GFRP Pipes. 9th International Conference on Computational and Experimental Science And Engineering-ICCESEN. Turkey.
6. Arda C., Yılmaz Ş., Dirikolu M.H. (2023). Silis Kumu Katmanlı Kompozit Basınçlı Su Borularının Kataner Direği Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*. Volume 7, pp. 353-359, 10.