



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KOROZİF ORTAMIN, GRAFEN KATKILI
BAZALT-CAM HİBRİT/EPOKSİ
NANOKOMPOZİT KOLONLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Orhan ERCİYEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

ORHAN ERCİYES tarafından hazırlanan “Korozif Ortamın, Grafen Katkılı Bazalt-Cam Hibrit/Epoksi Nanokompozit Kolonların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 14/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Ömer Sinan Şahin

.....

Danışman

Doç. Dr. Gürol Önal

.....

Üye

Dr.Öğr. Üyesi M. Turan Demirci

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 191010030 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

ORHAN ERCİYEŞ

14/02/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOROZİF ORTAMIN, GRAFEN KATKILI BAZALT-CAM HİBRİT/EPOKSİ NANOKOMPOZİT KOLONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ORHAN ERCİYEŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.Gürol ÖNAL

2022, 81 Sayfa

Jüri
Doç.Dr.Gürol ÖNAL

Prof.Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Dr.Öğr. Üyesi M. Turan DEMİRCİ

Bu çalışmada bazalt fiber takfiyeli polimer (BFRP) ve cam fiber takfiyeli polimer (CFRP) hibrit kompozitlerde grafen katkısının ve farklı tabaka dizilimlerin mekanik özelliklerine ve burkulma davranışlarına etkileri incelenmiştir. Saf epoksi ve %0,3 grafen nanoplatelet (GNP) katkısı ile (C)15, (B)15, (CBC)15 ve (BCB)15 kombinasyonlarda yapılan kompozitler el yatırması yöntemiyle ve vakuum torbası kullanılarak üretilmiştir. Çekme ve burkulma testleri ASTM standartlarına uygun olarak oda sıcaklığında (25 ± 3 °C) yapılmıştır. Testler için Instron 3369 çekme –basma cihazı kullanılmış ve testler 2 mm/dak hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sonuçlarından çekme mukavemetleri ve elastisite modülleri hesaplanmıştır. Burkulma teslerin sonuçlarından gerilme ve birim şekil değiştirme grafikleri elde edilerek kritik burkulma gerilimleri hesaplanmıştır. Ağırlıkça %6NaCl derişimli tuzlu su içerisinde 15 günlük periyotlarda toplamda 60 gün bekletilerek su abrosyonları ölçülmüş korozyon etkisi değerlendirilmiştir. Çekmede ve burkulmada testlerine tabi tutulan kompozitlerin hasar mekanizmaları,

tuzlu suda yaşlandırılan kompozitlerde meydana gelen bozunma, tuzlu suyun matris ve fiberler üzerindeki tahrip edici etkileri, SEM görüntüleriyle değerlendirilmiştir.

GNP katkısı bazalt fiber takfiyeli polimer (BFRP) ve cam fiber takfiyeli polimer (CFRP) hibrit kompozitlerde fiber-matris arayüz etkileşimini güçlendirerek, çekme mukavemeti, birim şekil değiştirme ve elastisite modülü değerlerinde artışlar sağlamıştır. Lineer burkulma davranışlarına bakıldığında GNP katkısının kritik burkulma yükünü artırdığı görölmüştür. Farklı dizilimlerin yönünden bakıldığında ise (B)15 kombinasyonun en iyi mekanik değerlere sahip olduğu görölmüştür. Tuzlu suda yaşlandırma etkilerinde ise GNP katkısının bariyer etkisi ile GNP katkılı kompozitlerin daha az su emilimi yaptığı gözlemlenmiştir. Farklı dizilimler açısından baktığımızda ise (CBC)15 kombinasyonunun diğer kombinasyonuna göre daha az su emilimi yaptığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bazalt Elyafı, Hibrit kolonlar, Korozyon, Mekanik Özellik, Nanografen, Kompozit.



ABSTRACT

MASRTER THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CORROSIVE ENVIRONMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GRAPHEN DOUPTED BASALT- GLASS HYBRID/EPOXY NANOCOMPOSITE COLUMNS

ORHAN ERCİYEŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Gürol ÖNAL

2022, 81 pages

Assoc. Prof. Dr. Gürol ÖNAL

Prof.Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Assist. Prof. Dr. M. Turan DEMİRCİ

In this study, the effects of nano graphene doping and different layer arrays on the mechanical properties and buckling behavior of basalt fiber reinforced polymer (BFRP) and glass fiber reinforced polymer (CFRP) hybrid composites were investigated. Composites made in combinations of (C)15, (B)15, (CBC)15 and (BCB)15 with pure epoxy and 0.3% graphene nanoplatelet (GNP) additive were produced by hand lay-up method and using vacuum bag. Tensile and buckling tests were performed at room temperature (25 ± 3 °C) in accordance with ASTM standards. Instron 3369 tension-compression device was used for the tests and the tests were carried out at a speed of 2 mm/min. Tensile strengths and modulus of elasticity were calculated from the results of tensile tests. Critical buckling stresses were calculated by obtaining stress and strain graphs from the results of the Buckling tests. Water absorption were measured and the corrosion effect was evaluated by keeping them in saltwater with 6 wt% NaCl concentration for 60 days in 15-day periods. Damage mechanisms of composites subjected to tensile and buckling tests, degradation of composites aged in salt water, destructive effects of saltwater on matrix and fibers were evaluated with SEM images.

GNP additive increased the tensile strength, strain and modulus of elasticity values by strengthening the fiber-matrix interface interaction in basalt fiber reinforced polymer (BFRP) and glass fiber reinforced polymer (CFRP) hybrid composites. Considering the buckling behavior, it was observed that the GNP contribution increased the critical buckling load. When looking from the direction of the different sequences, it was seen that the (B)15 combination had the best mechanical values. On the other hand, in the aging effects in saltwater, it was observed that the barrier effect of the GNP additive and the GNP added composites absorb less water.

Keywords: Basalt Fibers Composite, Corrosion, Hybrid Columns, Mechanical Properties, Nano-Composite, Nanographene.



ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarıyla yanımda olan değerli hocam Doç. Dr. Gürol ÖNAL' a teşekkürlerimi sunarım. Tezime maddi anlamda destek sağlayan, projemizi destekleyen KTÜN BAP Koordinatörlüğüne , kompozit üretim ve test aşamalarında bana desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Okan Demir'e, görüş ve önerileriyle her zaman çalışmalarına katkıda bulunan Dr.Egemen Karabulut'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her zaman her konuda büyük desteklerini gördüğüm aileme ve yanımda olan bütün arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Orhan ERCİYEŞ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Bazalt Fiber Takviyeli Kompozitler	4
1.1.1. Bazalt Fiber Üretimi	4
1.1.2. Bazalt ve Bazalt Fiberlerin Kullanım Alanları	6
1.2. Nano Parçacık Katkılı Kompozitler	8
1.2.1. Grafen	9
1.2.2. Bariyer Plastikleri Ve GNP’lerin Bariyer Etkisi	10
1.2.3. GNP bazlı polimer nanokompozitler	10
1.3. Burkulma	11
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	13
2.1. Bazalt Elyafarla Yapılan Çalışmalar	13
2.2. Bazalt Kompozitlere Korozyon Ortamlarında Yapılan Çalışmalar	15
2.3. Nanopartikül Katılarak Oluşturulan Kompozitlerle Yapılan Çalışmalar	17
2.4. Tez Çalışmasının Literatürdeki Yeri	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri	21
3.1.1. Epoksi	21
3.1.2. Bazalt ve E-Cam Fiberler	21
3.1.3. Grafen	22
3.2. Kompozit Plaka Üretimi	22
3.3. Tuzlu su ortamında yaşlandırma	26
3.4. Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	26
3.4.1. Çekme Testi	27
3.4.2. Burkulma Testi	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	31
4.1. Tuzlu Su Şartlarında Yaşlandırma	31
4.2. Kompozitlerin Çekme Davranışları	32
4.2.1. Şartlandırılmamış Ortamda Kompozitlerin Çekme Davranışları	32
4.2.2. Yaşlandırılmış Epoksi/CF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CF Nanokompozitlerin Çekme Testleri	35

4.2.3. Yaşlandırılmış Epoksi/BF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BF Nanokompozitlerin Çekme Testleri.....	36
4.2.4. Yaşlandırılmış Epoksi/BCBF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BCBF Nanokompozitlerin Çekme Testleri.....	38
4.2.5. Yaşlandırılmış Epoksi/CBCF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/ CBCF Nanokompozitlerin Çekme Testleri.....	40
4.2.6. Çekme Testi Sonrası Hasar Analizleri.....	42
4.3. Kompozitlerin Burkulma Davranışları	46
4.3.1 Şartlandırılmamış Ortamda Kompozitlerin Burkulma Davranışları.....	46
4.3.2. Yaşlandırılmış Epoksi/CF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CF Nanokompozitlerin Burkulma Testleri	47
4.3.3. Yaşlandırılmış Epoksi/BCBF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BCBF Nanokompozitlerin Burkulma Testleri	51
4.3.4. Yaşlandırılmış Epoksi/CBCF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CBCF Nanokompozitlerin Burkulma Testleri	53
4.3.5. Burkulma Testi Sonrası Hasar Analizleri	56
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Ortalama Kesit Alanı (mm^2)
E	: Elastiklik modülü (N/mm^2)
E_f	: Çekme Elastisite Modülü (MPa)
F_{bk}	:Burkulma Kuvveti (N)
I	:Atalet momenti (mm^4)
L_g	: Kayma mesafesi (m)
m_i	: Numunenin Yaşlandırma Öncesinde Başlangıçtaki Kütlesi (g)
m_t	: Yaşlandırma Zamanındaki Kütlesi (g)
P	: Uygulanan Yük (N)
P_i	: Numunede İ'inci Kuvvet Anında Uygulanan Yük (N)
P_{max}	: Numunenin Taşıyabildiği Maksimum Yük (N)
σ_{bk}	:Burkulma Gerilmesi (N/mm^2)
σ_i	: Numunede İ'inci Kuvvet Anında Oluşan Gerilme (MPa)
σ_{max}	: Numunede Oluşan Maksimum Gerilmeyi (Mpa)
ε_i	: Numunede İ'inci Yer Değiştirme Noktasındaki Şekil Değiştirmemiktarı
δ_i	: Yer Değiştirme (mm)
Δ_m	: Ağırlık Artış Yüzdesi
Δ_s	: Seçilmiş İki Şekil Değiştirme Miktarı Arasındaki Fark
Δ_σ	: Seçilmiş İki Gerilme Noktası Arasındaki Fark (MPa)

Kısaltmalar

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BCBFRP	: Bazalt Cam Bazalt dizilimli fiber takviyeli polimer
BF	: Bazalt Fiber
BFRP	: Bazalt fiber takviyeli polimer
CBCFRP	: Cam Bazalt Cam dizilimli fiber takviyeli polimer
CF	: Cam Fiber
CFRP	: Cam fiber takviyeli polimer
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
EP	: Epoksi matris
FRP	: Fiber takviyeli polimer
GNP	: Grafen nanoplatelet parçacıklar
GR-EP	: Grafen katkılı epoksi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

Doğadaki tüm malzemeler en az bir yönü ile diğer malzemelerden üstün olduğu gibi diğer özellikler bakımından da eksiktir. Birden fazla malzemenin istenilen özelliklerin (mekanik, termal ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci, radyasyon emilimi, ışık geçirgenliği gibi) uyum içinde bir araya gelmesi, istenmeyen özelliklerinde berteraf etmek amacıyla makro seviyede birleşmesiyle oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler denir.

İnsan, tarih içerisinde bilgi birikimini artırdıkça kullandığı malzemedeki bununla orantılı olarak değişmiş ve gelişmiştir. İnsanoğlu her çağda kompozit yapmış bilgi birikimini kompozit malzeme yapımında da kullanmıştır. Örneğin, ilk zamanlar barınma ihtiyacını karşılamak için, toprak ve samanı karıştırarak yaptıkları çamurdan barınaklarını inşa ederken günümüzde algegra, çimento ve demir malzemeleriyle oluşturulan kompozit malzemeyi kullanmıştır. Bu sayede daha sağlam yüksek ve daha uzun ömürlü yapılar inşa eden insanoğlu ev yapımında olduğu gibi diğer alanlarda da kompozit malzeme teknolojilerini geliştirmiş ve bu gelişim süreci hala devam etmektedir.

Tabiata bakıldığında kompozitler sadece insan eliyle yapılmadığını doğadaki canlıların birçok organ ve uzuvlarının da kompozit şeklinde olduğunu söylemek mümkündür. Kemik Kalsiyum fosfor ve kolajen den oluşmuş, tahtanın selüloz ve ligninden oluşmuş doğal kompozitler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şükür, 2019).

Kompozitin geçmişine bakıldığında ilk takviyeli polimerik kompozit olan ziftin (bitüm) M.Ö. 4000-2000 arasında Babilde kullanıldığı bilinmektedir. M.Ö. dönemlerde Mısır ve Mezopotamya’da kullanılan kayıklarının papürs kamışlarının zift matrisi ile birleştirildiği ve aynı dönemde okçuların kullandığı okların da kompozit olduğuna dair kalıntılar mevcuttur. Günümüzde de kompozit yapında kullanılan bir yöntem olan filament sarma prosesi, M.Ö. Mısır’da karşımıza çıkmış, mumyalama yapmak için doğal kauçuk ile keten şeritler bu prosesle sarıldığı anlaşılmıştır.

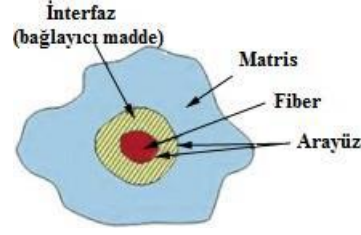
Yakın tarih içinde ise kompozit malzemeleri geliştirmeye yönelik çalışmalar 1940’lı yıllarda üç önemli sebeple ivme kazanmıştır. İlk olarak hava araçları,roketler gibi askeri araçlarda yüksek kuvvette ve hafif malzeme gereksinimi ;ikincisi polimer endüstrisinin gelişmesi ve hafif ve yüksek mekanik özelliklerde malzeme ihtiyacı ve son olarak cam fiber gibi yüksek kuvvette malzemelerin keşfedilmesi olmuştur (Beşergil,2021).

19. Yüzyıllarda endüstrideki gelişmeler malzemelerden istenen özellikleri de değiştirmiş daha üstün nitelikte olması istemiştir. İşte bu dönemde havacılık ve uzay, otomotiv, gemi, denizaltı gibi birçok sektörde metalin yerini kompozitler almaya başlamıştır. 1942’de elektrik malzemelerinde kullanılmaya başlanılan fiber takviyeli kompozitler; 1970’lerde de havacılık, otomotiv, biyomedikal gibi sektörlerde kendini gösterirken aynı zamanda ayakkabı, yüzme paletleri, kar kayakları, golf sopası gibi bazı spor aletleri de Fiber takviyeli kompozitden üretilmiştir (Daniel ve İshai, 1994).



Şekil 1.1. Karbon fiberler kullanılarak üretilen spor malzemeleri; Uçak, Grafit tenis raketleri ve golf sopaları.

Kompozit malzemeler şekil1.2. de gösterildiği gibi takviye elemanı, matris malzemesi ve ara yüz fazından oluşmaktadır. Takviye elemanı kompozitte yükü taşıyan, yapıya mukavemet sağlayan ana elemandır. Matris malzemesi ise yapının bir arada tutulmasını, yükün takviye elemanları arasında dağılmasını, plastik deformasyon sırasında oluşabilecek çatlakların ilerlemesinin önlenmesini, kopmanın gecikmesini, takviye elemanlarının kimyasal etkilerden ve ortam şartlarından korunmasını sağlar. Ara yüz fazı ise takviye ve matris malzemesi arasındaki yapışmayı belirler (Muzoğlu, 2018).



Şekil 1.2. Kompozit malzeme yapısının şematik gösterimi (Mitchell, 2004).

Kompozitlerde cam elyaflar işlevliği ve maliyetinin düşük olması nedeniyle yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Karbon elyaflar ise daha maliyetli olduğundan çok daha iyi mekanik özellikler ve hafiflik istenilen yerlerde tercih edilmektedir. Kendir gibi doğal elyaflar nemli ortamda matris ile arayüz oluşturmamadıklarından, kırılma mekanizmaları dezavantajlı olduğundan kompozit üretiminde uygulanması çok kısıtlı olmuştur. Karbon elyafların yüksek maliyetleri ve doğal elyafların belirtilen bu olumsuz özelliklerinden dolayı araştırmacılar 1995’li yıllarda doğal taştan üretilen bazalt elyafların üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Bazalt dünyada kayaç formunda hemen hemen dünyanın her yerinde bol miktarda bulunmaktadır. Bu kayaçlar 1350°C-1700°C sıcaklıkları arasında eritildiğinde 9-13µm çap aralığında elyaf formuna getirebilmek mümkündür. Bazalt elyaflar, özellikle E-Cam elyaflardan daha iyi mekanik ve termal özellikler ve nem ve kimyasallara karşı korozyon direnci göstermektedir. Tüm bu özelliklerden ve mekanik performans/ağırlık maliyetlerinin E-Cam elyaflardan düşük olmasından dolayı E-Cam elyaflara ve kullanım sahalarına göre de diğer elyaflara alternatif olmaktadır (Demirci, 2015).

Polimer matrisli kompozit malzemelerde, matris olarak kullanılan reçine miktarının azlığı veya çokluğu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ciddi ölçüde etkilemektedir. Polimerik matris malzemeleri, moleküller arası bağ kuvvetine ve nihai yapı durumuna göre genel olarak termoset ve termoplastik malzemeler olarak iki temel grupta sınıflandırılır. Epoksiler, polyesterler, vinylesterler, fenolikler, silikonlar, poliüretanlar ve akrilikler en çok bilinen ve kullanılan termoset matris malzemeleridir. Polyester reçine yüksek mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan matris malzemesidir. Epoksinin çekme, basma, aşınma, kimyasal ve darbe dayanımları oldukça yüksektir. Mekanik özelliklerini iyi olmasının yanı sıra en önemli özelliği , hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun, herhangi bir yüzeyi yapıştırma becerisidir (Yılmaz, 2012).

1.1. Bazalt Fiber Takviyeli Kompozitler

Yer kabuğunun üçte birini oluşturan volkanik kayalar içinde bulunan bazalt ilk olarak 1923 te Amerikalı bilim adamları tarafından keşfedilmiş, ikinci dünya savaşı sırasında ABD ve Sovyetler birliği yoğun olarak savunma ve havacılık projelerinde kullanmıştır. Yer kabuğundan çatlaklar, yarıklar, volkan bacaları vasıtasıyla yeryüzüne çıkan magmatik kayaç olan bazaltın rengi gri-siyah olup, ince taneli ve serttir. Kimyasal olarak bazalt magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silisyum ve demir oksitleri ile birlikte alüminyum bakımından zengindir.

1.1.1. Bazalt Fiber Üretimi

Bazalt fiberin ilk ortaya çıkışı Sovyetler birliği döneminde 1953 yılında Moskova Cam ve Plastik Araştırma Enstitüsü 'de olmuştur. Yüksek teknoloji ürünü olan bazalt fiberi endüstriyel çapta kullanmak için Ukrayna'da, 1985 'de bazalt fiber üretim fırını geliştirilmiştir (Fiore ve ark., 2015).

Bazalt fiber fırınlarını Geliştiren Sovyetler Birliği 1980'lerin sonunda Sudogda, Ukrayna ve Gürcistan'da ilk bazalt fiber üretim tesislerini kurmuştur. Bazalt fiber üretimi ile ilgili ilk patent tescili 1991 yılında gerçekleşmiştir. Günümüzde bazalt fiber yapan ve tedarik eden ülkeler Rusya, Ukrayna ve Çin dir (Parnas ve ark., 2006).

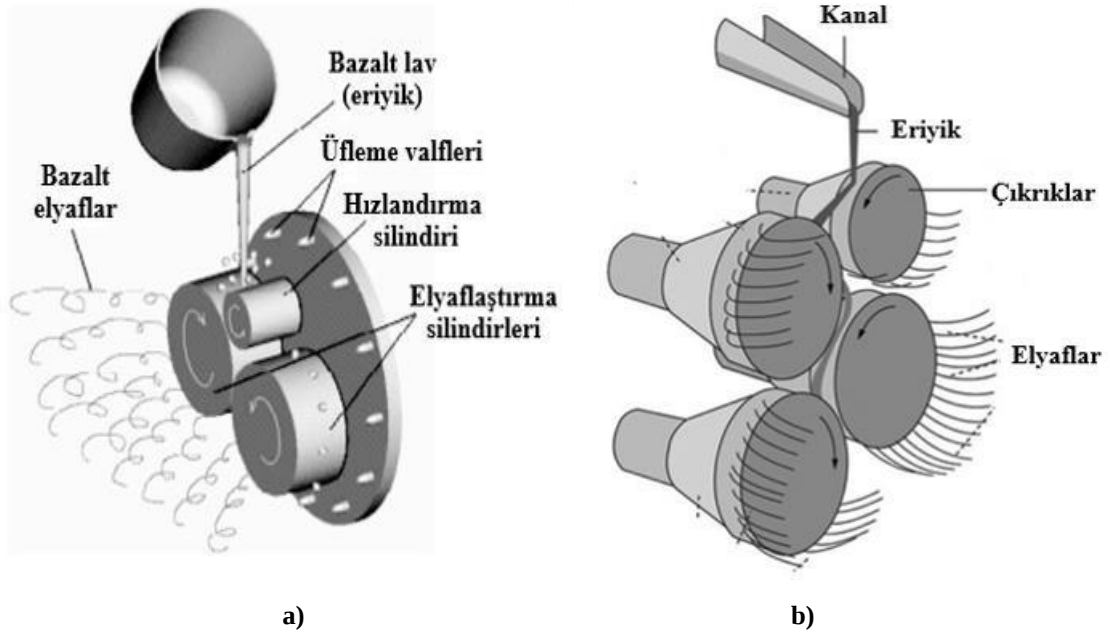
Bazalt dünyada çok fazla olmasına rağmen bölgelere göre bileşikler değişmektedir. Hammaddenin kalitesinde ve türündeki bu farklılıklar üretilen bazalt fiberlerin üretim sürecini ve son ürünün kalitesini ve elbette maliyetini de etkilemektedir.

Farklı bazalt kayalardan alınan hammaddeden üretilen bazalt fiberlerin değişen kimyasal bileşenleri, çekme sıcaklığı ve çekme kuvveti gibi işleme koşulları nedeniyle termal ve kimyasal kararlılıkları; mekanik ve fiziksel özellikleri de farklılıklar göstermektedir. Bazalt fiber üretim prosesinde, çekme sıcaklığı 1200~ 1375 °C arasında yapılmakta, artan çekme sıcaklığı ile çekme mukavemeti de 1.5 ile 2.9 GPa arasında artma eğilimi göstermektedir. Bu mukavemet artışının nedeni de bazalt fiberlerin SEM görüntülerin incelenmesi sonucunda, sıcaklık artıka bazalt kristal çekirdeklerinin oranlarının azalmasına bağlanmıştır (Parnas ve ark., 2006).

Bazalt fiberlerin üretim süreci genel olarak cam fiberlerin üretim sürecine benzemektedir. Ancak cam fiber üretiminde, cam fiberlerin kullanılacağı alanlara göre özelliklerini iyileştirmek için ilave katkı maddeleri (borik asit gibi) ihtiyacı varken bazalt fiber üretiminde herhangi bir harmanlama işlemi yapmadan hammadde olarak

sadece ufalanmış bazalt kayaları kullanılmaktadır. Bu da bazalt fiberin hammadde bakımından değerlendirildiğinde cam ve karbon fiberlerden daha ucuz olmasını sağlamaktadır.

Bazalt fiberler de cam fiberler gibi kırılmış ve sürekli formda üretilmektedirler. Kırılmış yani kısa bazalt fiberleri basit bir teknoloji ile öğütülmüş bazalt kayalarından düşük maliyetle üretmek mümkündür. Kısa fiber üretmekte iki teknoloji kullanılmaktadır. Birincisi santrifüj üfleme teknolojisi ki bu junkers methodu olarak da bilinir, gazla ısıtılan bir fırında bazalt 1450 °C de eritilir ve eriyik biri hızlandırıcı ikinci fiberleştirici olan silindirlere dökülür. Eriyik silindirlerden geçerken hava jetlerinden üflenerek hava ile katılarak camsı ve şekilsiz bir yapı haline gelir. (Şekil 1.3). Bu yöntemle 60-100 mm uzunluğunda, 6-10 µm çapında fiberlerin üretilmesi mümkündür. İkinci yöntem olan Santrifüj çoklu rulo sistemi ise fırından gelen bazalt taş eriyiği, ilk tekerleğin yüzeyine dikey olarak aşağı doğru dökülür, ardından yanındaki tekerleğin hareketiyle yana doğru iletilir. Hesaplanarak yerleştirilmiş diğer tekerleklerden geçen eriyik, yaklaşık 10 mikronluk çapa sahip fiberlere dönüşür (Jamshaid ve Mishra, 2016).

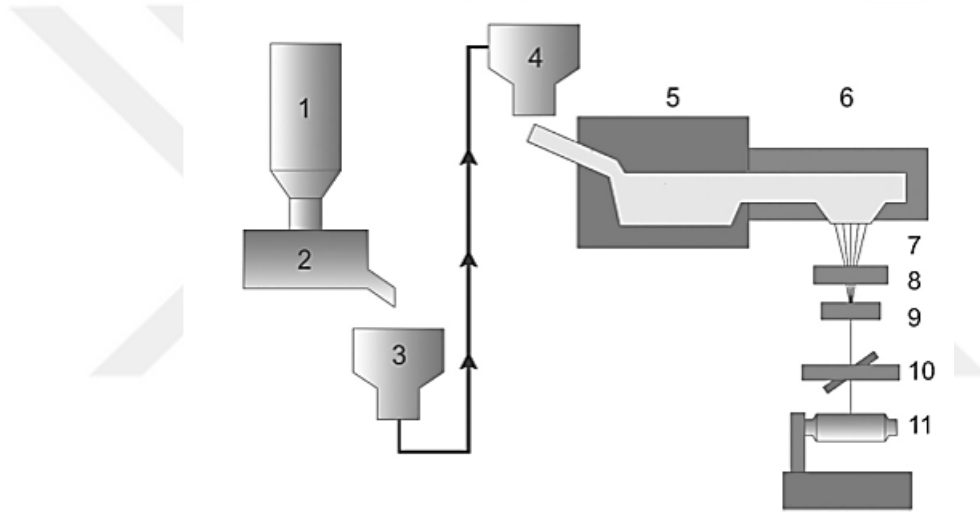


Şekil 1.3. Bazalt fiber üretimi a) Junkers metodu, b) Santrifüj çoklu rulo sistemi(Jamshaid ve Mishra, 2016)

Sürekli formda bazalt fiberler üretmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin ısıtma, soğutma ve sarım mekanizmalarında farklılıklar oldukları halde üretim prensipleri aynıdır. Prensip olarak, üretim prosesleri; hammadde hazırlığı, bazalt

taşların eritilmesi, eriyik homojenizasyonu ve burçlara iletimi, burç ünitelerinden fiberlerin çekilmesi, çekilen fiberlere bağlayıcı uygulanması ve fiberlerin bobinlere sarılması olarak sayılabilir (Şekil 1.4).

Katkısız bazalt yaklaşık 1450 °C'de (2650°F) ısıtılarak eritilir. Fiber üretiminde eriyiğin düzgün ve stabil bir akışta olması gerekmektedir. Akışı kontrol etmek için sıcaklık kontrolü hassas bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Bunun için eriyik sıcaklığın kontrol edildiği ikincil ısıbölgesinden geçirilir ve filament yapan burçlara iletilir. Burçlar genellikle platinden yapılmış çok ince deliklere sahiptir. Eriyik bu deliklerden geçerek ince filamentler halinde çıkar ve gerdilerek bobinlere sarılır (Saravanan, 2006).



Şekil 1.4. Bazalt fiberleştirme işlem hattının basitleştirilmiş şeması: 1) kırma taş silosu (hammadde temini); 2) yükleme istasyonu (tartım, dozajlama ve karıştırma); 3) taşıma sistemi; 4) toplu şarj istasyonu; 5) ilk erime bölgesi; 6) hassas sıcaklık kontrollü ikincil ısı bölgesi; 7) filament oluşturucu burçlar; 8) boyutlandırma aplikatörü; 9) iplikçik oluşturma istasyonu; 10) fiber gerdirme istasyonu; 11) otomatik sarma istasyonu (Fiore ve ark., 2015).

1.1.2. Bazalt ve Bazalt Fiberlerin Kullanım Alanları

Bazalt fiberler yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemet, kimyasallara karşı direnç ve kolay şekillendirilebilme gibi özelliklerinin yanında toksik olmamaları, çevreye zarar vermemesi ve ucuz olmaları nedeniyle özellikle hibrit nanokompozit malzemelerde takviye elemanı olarak çoğunlukla kullanılmaktadır (Dhand ve ark., 2015).

Endüstride çeşitli yüksek sıcaklık uygulamalarında örneğin; Sıcak gaz/partikül ayırma işlemlerinde kullanılan filtrelerde bazalt fiberlerin kullanıldığı görülmektedir. Filtrelerde oluşabilecek aşırı sıcaklıkta meydana gelen sızıntılar büyük tehlikelere sebep

vermektedir. Kazaları önlemek için, bu filtrelerin sızdırmaz olması hayati önem taşımaktadır. Filtre torbalarında bazalt fiber dikiş ipliklerin kullanılması başarılı şekilde yüksek sıcaklıkta sızıntıyı engellemiştir (Militky ve ark., 2002).

Termal reçinelerin keşfiyle bazalt, inşaattan uzay sanayisine kadar birçok sektörde başarıyla kullanılmıştır. Yine yüksek sıcaklık dayanımı ve aşınma direncinin yüksek olması sebebiyle otomotiv sektöründe, bazalt fiberler otomobil frenlerinin imalatında kullanılmaktadır. Bazalt Doğal bir jeo-mineraldir, bunun için geri dönüşümü kolay ve çevre için zararlı değildir. Bilinen toksisitesi yoktur. Organik bağlayıcıların tıp alanında ortaya çıkmasıyla bazalt fiberler, biyolojik numunelerin taşınması, saklanması gibi işlerde kullanılmak için yapılan saklama kaplarında kullanılmıştır (Novitskii ve V. Sudakov, 2004).

Bazalt fiberlerin akustik özellikleri incelenmiş ve 1800 Hz frekansta yayılan seslerin % 80-95'ini sönümlediği bilimsel araştırmalarla kanıtlanmıştır. Bazalt fiberlerin ses bariyeri olarak da kullanmanın iyi bir fikir olduğu söylenebilir (Lopresto ve ark., 2011).

Bazalt fiberler, radyasyon absorbe özelliği ise canlılar için ve çevre için oldukça önem arz etmektedir. Enerji üretimi, tıpa görüntüleme gibi birçok önemli konularda kullanılan nükleer maddelerin aktarılması, saklanması, nükleer atıkların imhası gibi uygulamalarda bazalt katkılı jeo kompozitler sıkça kullanılmaktadır (Baştürk ve ark., 2014).

Yüksek termal sürdürülebilirlik ve kafes yapısı olarak metaller gibi olan bazalt daha hafif olmasından dolayı asfalt yapımında takviye olarak cam ve metallerin yerine kullanılmaktadır (Subramanian ve Austin, 1980).

Bazalt fiberlerin bir diğer kullanım alanı endüstriyel borular olmuştur. Sertlikleri ile bilinen (8-9 Mohs) bazalt astarlı boruların kullanımı 1980'li ve 1990'lı yıllarda yoğun kullanılmıştır. Bu borular genellikle yüksek darbe dayanımı ve aşınmaya karşı direnç gerektiren sistem üniteleri yapımında kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2009). Bazalt fiber takviyeli polimer esaslı olarak üretilen boru formları çelik borulara göre 1000 atm'ye kadar daha yüksek basınçlara dayanıklı oldukları görülmüş ve yüksek basınçlı sistemlerde çelik borular yerine tercih edilmiştir. Ayrıca bazalt astarlı borular kömür çamuru gibi aşındırıcı malzemelere karşı dayanıklı olduklarından uzun yıllar bakım gerektirmeden kullanılmaktadır (Daood ve ark., 2014).

1.2.Nano Parçacık Katkılı Kompozitler

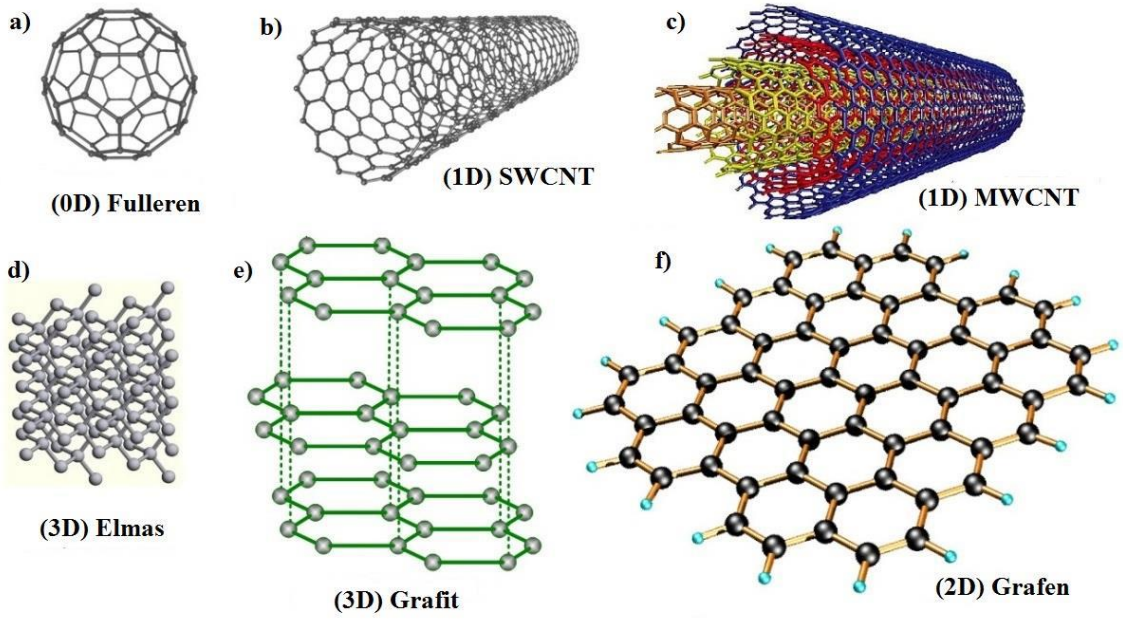
Kompozitleri oluşturan, fazlardan en az birinin nanometre ($1 \text{ nm}=10^{-9} \text{ m}$) boyutunda olması kompoziti nanokompozit yapmaktadır. (Camargo ve ark., 2009). Genellikle polimer kompozitlerin matrisine boyutları 1 ile 100 nm aralığında inorganik parçacıkları dağıtılarak oluşturulurlar (Luo ve Daniel, 2003).

Nano parçacıkların kompozit matrisi içinde dağılması saf polimerli kompozitlere kıyasla üstün özelliklere sahiptir. Bu üstün özelliklerin nano parçacıkların hacimce bakıldığında yüzey alanın geniş olduğundan kaynaklanmaktadır (Alamri ve Low, 2012). Nano katkıların iyileştirdiği özellikler arasında mukavemet, üstün bariyer, çözücülere ve sıya dirençtir (Lagashetty ve Venkataraman, 2005). Bu özellikler, birçok temel kimyasal ve fiziksel etkileşimin yüzeyler tarafından yönetilmesinden dolayı, polimer matrisi ile ara yüzeylerdeki nanoparçacıklar arasında oluşan faz etkileşimlerinin sonuçlarıdır (Alamri ve Low, 2012).

Karbon atomu allotroplarının çok çeşitli olmasından ötürü Fulleren (0D), karbon nanotüp (1D), grafen (2D), grafit (3D) ve elmas (3D) gibi doğada farklı formlarda bulunmaktadır (Şekil 2.13). Karbon allotroplarının bu kadar çok olmasının sebebi ise karbon atomlarının sp, sp² ve sp³ bağlanma şekillerinden her üçünü de yapabilmesinin bir sonucudur.

Grafenin; aslında üç boyutlu şekillenerek fulleren, karbon nanotüp ve grafit oluşturduğu görülmektedir. Bundan dolayı grafenin diğer allotropların yapı taşı olduğu söylemek mümkündür.

Tek bir grafen tabakanın silindirik sarılmasıyla yapılan formu tek cidarlı karbon nanotüptür (SWCNT). Eş merkezli birden fazla grafen tabakası aynı şekilde silindirik sarıldığında da çok cidarlı karbon nanotüpler (MWCNT) oluşur. Fulleren karbon atomlarından (20, 40, 60 veya 70 adet) meydana gelen kapalı bir kafes yapısıdır. Küre, elipsoit veya silindir şekilde bulunabilir. Grafen oksit ise grafitin farklı metotlarla oksidasyonu ile üretilen, hidrofilik özellikte, yapısında karboksil, hidroksil ve hidronilin yanı sıra epoksi grupları bulunduran bir grafen türevidir. Bu karbonik malzemelerin tümü karakteristik yüksek ısıl iletkenlik, elektrik iletkenliği ve mekanik mukavemet özelliklere sahiptir (Su Kim ve ark., 2016).



Şekil 1.5. Nano ölçekli karbon dolguların şematik gösterimi (Atta ve ark., 2015)

1.2.1. Grafen

Atomlar ince bir yüzeyde tek düzlemde gibi sıralandıkları için iki boyutlu kabul edilen bu nano metaryal karbon atomlarının kovalent bağ ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşmuştur. Karbon atomları altılı bal peteği örgüsünde sıralanmışlardır. İşte bu nano malzeme 2010 yılında keşfedilmiş ve ‘‘mucize metaryal’’ olarak nitelendirilmiş ve buluşu yapan dolayısıyla Hollandalı Andre Geim ve Rus kökenli İngiliz vatandaşı Konstantin Novoselov’a fizik dalında Nobel ödülü kazandırmıştır.

Grafenin temel üstün özellikleri

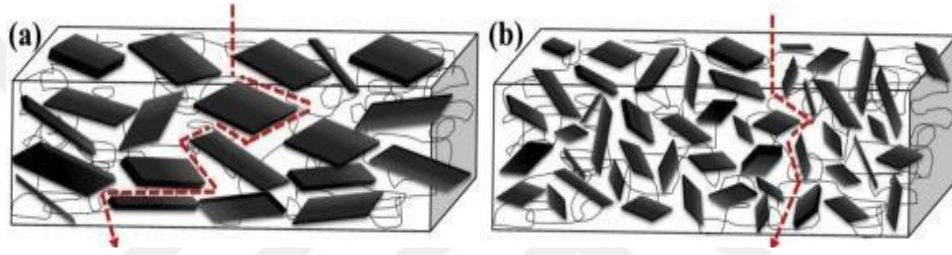
- ✓ geniş yüzey alanı ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$)
- ✓ yüksek Young modülü ($\sim 1100 \text{ GPa}$),
- ✓ kopma mukavemeti (125 GPa)
- ✓ elektron mobilitesi ($200000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$)
- ✓ ısı iletkenliği ($5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$),
- ✓ optik geçirgenliği ($\sim 97.7 \%$) olarak söylenebilir (Park ve Ruoff, 2009) (Bhuyan ve ark., 2016).

Üstün özellikler nedeniyle grafen birçok uygulama alanı bulmaktadır. Bunlara örnek olarak transparan elektrotlar, alan etkili transistörler, sensörler, temiz enerji cihazları, nanokompozitler ve organik fotovoltaiik cihazlar verilebilir (Çelik Bedeloğlu ve Taş, 2016).

1.2.2. Bariyer Plastikleri Ve GNP'lerin Bariyer Etkisi

Su buharına veya gazlara karşı çok düşük geçirgenlik gösteren polimerlere “Bariyer plastikleri” denmektedir. Kimyasal ve termal kararlılığın önemli olduğu gıda, elektronik cihaz gibi endüstrilerin paketleme ünitelerinde kritik bir sorun olan gaz ve su buharı geçirgenliği nedeniyle bariyer polimerleri oldukça önem görmektedir (Yoo ve ark., 2014)

Polimerik malzemelerdeki bariyer etkilerini artırmak için bazı yöntemler kullanılmaktadır. Talk veya mika gibi mikron boyutunda maddeleri dolgu olarak eklemek bu yöntemlerden biridir. Ancak bu yöntem her ne kadar bariyer etkisini iyileştirse de diğer taraftan eğilme ve darbe dayanım gibi temel mekanik özelliklerinde kötüleşmeye sebep olmaktadır (Peretz Damari ve ark., 2018).



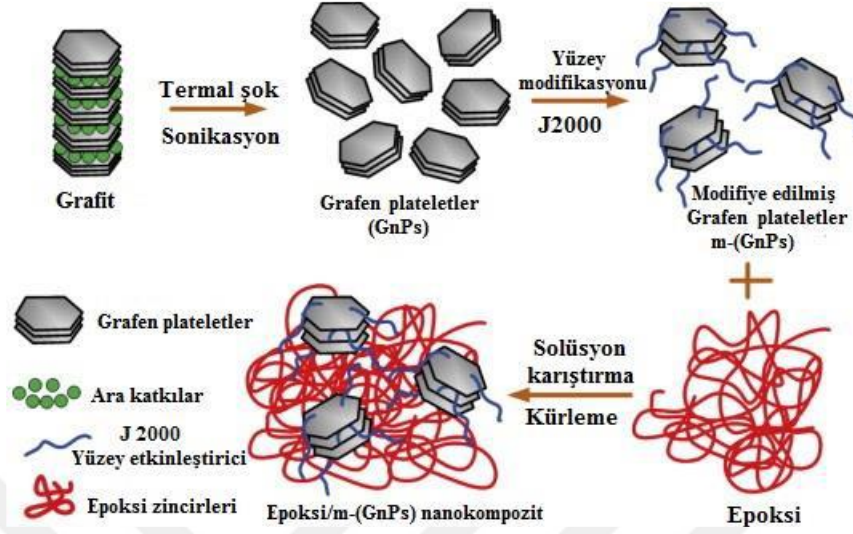
Şekil 1.6. a) kısmen hizalanmış büyük boyutlu, b) rastgele yönlendirilmiş küçük boyutlu GNP katkı polimer nanokompozitlerde difüzyon mekanizması (Peretz Damari ve ark., 2018)

Gelişmiş bariyer plastiği üretmek için diğer bir yöntem ise, en az bir boyutunun nanometre kısalığına sahip olan dolgu maddeleri ilave ederek polimer nanokompozitler yapmaktır. Böylelikle, mikron ölçekli dolgulara göre çok daha düşük bir yükleme işlemiyle iyi bir sonuç elde edilebilir. Büyük boyutlu nanoplateletlerin geçirgenliklerinde göze çarpan bir azalma görülür. Şekil 1.6'da görüldüğü üzere büyük plateletli malzeme levha katmanlarının arasındaki polimer matrislerde kıvrımlarla yolu uzatarak gaz ve su moleküllerini daha uzun bir yoldan gitmeye mecbur bırakmaktadır. İyi bir geçirmezlik özelliği olan grafenin aromatik halkalarının elektron yoğunluğu, malzeme içerisine girmeye çalışan su ve gaz moleküllerini iterek bariyer etkisi yapabilmektedir (Peretz Damari ve ark. 2018).

1.2.3. GNP bazlı polimer nanokompozitler

Nanokompozit malzeme üretiminde kullanılan gafen Karbonun 3 boyutlu allotropu olan grafitten elde edilir. Epoksi, polyester gibi polimer matrislere belirli oranlarda homojen olarak ilave edilerek kullanılır. Birçok özellik bakımından iyi olan grafeni polimer matrisler arasında disperasyonunu sağlamak zor olabilmektedir. Polimer

matris ile grafen arasında daha güçlü bir bağlanma sağlanabilmesi, matris/grafen ara yüzünün geliştirilmesi için şekil 1.7.'de şematize edildiği gibi nanografen partiküller matrise eklenmeden önce bazı kimyasal solüsyonlarla modifiye edilmektedir.



Grafenin polimerlere nazaran sahip olduğu üstün özellikler eklendikleri polimer/grafen nanokompozitlere de geçer. Polimer/grafen nanokompozitler saf polimerle kıyaslandığında daha iyi mekanik, termal iletkenlik, gaz ve su bariyeri, elektrik ve alev geciktirici özellikler sergiler. Ayrıca kil veya karbon dolgu bazlı polimerlere göre grafen bazlı polimer nanokompozitlerin mekanik ve elektriksel özelliklerindeki iyileşmenin daha iyi olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür (Kuilla ve ark., 2010).

1.3.Burkulma

Ekseninden baskıya zorlanan ince sütunun kesitinin boyuna oranı küçük ise, bu sütunda burkulma oluşabilir. Bu olay bir stabilite problemidir. Burkulmanın oluşması için parçadaki hesaplanan gerilimin muhakkak gerilim sınırlarını aşması veya bu sınırlara yaklaşması gerekli değildir. Bu değerler emniyetli mukavemet değerlerinin çok çok altında olabilir. Parça hiç bir zaman ideal doğru olmayacağı ve kuvvet de hiç bir zaman tam ağırlık merkezi ekseninden etkisini göstermeyeceği için, burkulma olayı her zaman oluşabilecektir (Kutay,2009).

Burkulma gerilimi ve kritik burkulma yükü elastik bölgede aşağıdaki Euler denklemlerine göre teorik olarak hesaplanabilir.

$$\sigma_{bk} = \frac{F_{bk}}{A} \quad (1.1)$$

$$F_{bk} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{bk}^2} \quad (1.2)$$

Denklmelerde σ_{bk} burkulma gerilmesini(N/mm^2) , F_{bk} burkulma kuvvetini (N), A kesit alanını (mm^2), E elastiklik modülünü (N/mm^2), I atalet momentini (mm^4) ve L_{bk} hesapsal burkulma boyunu (mm) ifade etmektedir.

Plastik deformasyonlara göre burkulma hesapları için bir tek teori yoktur. Bu teorilerin arasında sıkça kullanılan Tetmajer teorisi ilk akla gelir.

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle üretilen yüksek mukavemetli malzemeler sayesinde daha küçük kesit alanlı barlar kullanmak mümkün olmuştur. Ancak bu seferde burkulma sorunu daha sık oluşmuştur. Makine ve inşaat sektörlerinde boy/ kesit alanı oranı büyük kolon kiriş ve makine elemanları gibi parçaların kullanımı artıkça burkulma ve titreşim sorunlarının çözülmesi gerekli olmuştur.

Burkulma açısından yapı elemanlarının boyutlandırılmasında üç temel karakteristik özellik bulunmaktadır. Bunlar, mukavemet (akma veya kırılma), rijitlik (deformasyon) ve stablitedir. Gerilme problemi olarak adlandırılan Akma kırılma olaylarında sistem yükünün eşik değeri geçmesiyle sistem emniyetli bölgeden çıkar. Burkulmada ise bir denge problemi söz konusudur. Eğer denge konumu kararlı değilse sistemde doğabilecek en küçük yük değişimi büyük deplasman yaparak plastik deformasyona sebep olur. Burkulmada karşılaştırma kriteri kritik burkulma yüküdür. Burkulma için çeşitli mesnet durumları söz konusudur. Bunlar;

- a) Bir ucu serbest diğer ucu ankastre kolon
- b) Bir ucu ankastre diğer ucu mafsallı kolon
- c) İki ucu ankastre kolon
- d) İki ucu mafsallı kolon olarak sıralanabilir.

İleri teknoloji kullanılan uzay, savunma sanayi ve benzeri alanlarda kompozit malzemeler, sundukları hafiflik ve yüksek dayanım özellikler nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda bazı stabilite problemleri öne çıkmaktadır (Kayıran,2018).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Bazalt Elyafarla Yapılan Çalışmalar

Dorigato ve ark. (2014),Bazalt/karbon ve e-cam fiberleriyle 20 katlı 2 tür kumaşla 9 farklı konfigürasyonda hazırladığı (Çizelge 2.1.) numunelere darbe ve bükme testleri uygulamış. Charpy darbe testleri bazalt ve cam elyaf miktarı arttıkça mukavemetin de arttığını kanıtlamış. İlginç bir şekilde, bazalt elyafarla hibridizasyon artırıldığında ise kırılma yayılımının artmasından dolayı absorbe edilmiş çarpma enerjisinde bir artış tespit etmişler.

Çizelge 2.1 Hazırlanan laminatların ilgili istifleme sırasına göre listesi.

Lamine kodu	Lamine sayısı	Dizilim şekli	Kalınlık
Epoksi+C	20	[C]20	3.18+/-0.11
Epoksi+G	20	[G]20	3.12+/-0:02
Epoksi+B	20	[B]20	3.02+/-0.01
Epoksi+G10C10	10(G)+10(C)	[G/C/G/C/G/C/G/C/G/C]s	2.91+/-0.01
Epoksi+B10C10	10(B)+10(C)	[B/C/B/C/B/C/B/C/B/C]s	2.84+/-0.01
Epoksi+G6C14	6(G)+14(C)	[C/C/G/C/C/G/C/C/G/C]s	2.99+/-0.03
Epoksi+B6C14	6(B)+14(C)	[C/C/B/C/C/B/C/C/B/C]s	2.94+/-0.01
Epoksi+G14C6	14(G)+6(C)	[G/G/C/G/G/C/G/G/C/G]s	274+/-0.03
Epoksi+B14C6	14(B)+6(C)	[B/B/C/B/B/C/B/B/C/B]s	2.75+/-0.01

Termogravimetik method (Wf, TOT) kullanılarak numunelerdeki toplam liflerin ağırlık yüzdesi bulunmuş. Mettler TG50 cihazı ile yapılan analizler (TGA) 30 ° C ile 700 ° C arasında, 10 ° C min 1 ısıtma hızında 20 Ml min 1 azot akışı altında gerçekleşmiştir. Üç nokta eğme testi 10kN yük ayarı ile gerçekleştirilmiş olan bu test için Instron 4502 universal test makinesi kullanılmış. Test numune ölçüleri (d) 3 mm, genişlik (b) 8 mm ve aralık uzunluğu 95,5 mm (L) olan dikdörtgen şeklinde hazırlanmış. Bütün testler Standart ASTM 790'a göre yapılmış, her numune için en az on kez tekrar edilmiş. Testlerin verilerinden eğilme modülü (Ef), stresi (σ_{max} ,f) ve deplasmanı (δ_{max} ,f) hesaplayarak bulmuşlardır. Charpy darbe testi ASTM D6110 Standart'ı esas alınarak yapılmış, Numuneler eğilme testlerinde kullanılanlarla aynı ölçülerde hazırlanmış. Testler için Ceast enstrümanlı darbe sarkacı kullanılmış, başlangıçta 8.36 kg'lık bir kütle kullanılmış, darbe açısı 87 °'ye ayarlanmış ve 2000 Hz devir alma ile yapılmış.

Guangyong ve ark.(2018) çalışmalarında, Takviye malzemesi olarak karbon ve bazalt elyaf kullanarak matrisi ise epoksi seçerek ürettikleri hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini hem deneysel hem de analitik ve sayısal yöntemlerle

incelenmişlerdir. Farklı yedi istifleme konfigürasyonu tasarlanan hibrit kompozitleri, vakum destekli reçine transfer kalıplama teknolojisi ile üretmişler. İlgili standartlara uygun şekilde hazırladıkları numunelerin çekme ve eğilme testlerini gerçekleştirmişler. Test verilerini değerlendirerek istifleme şekillerinin kuvvet ve eğilme katsayısı üzerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğunu fakat gerilme katsayısı üzerindeki etkisinin daha az olduğunu gözlemlemişler.

Bozkurt ve arkadaşları (2018) Aramid ve bazalt kullanarak 10 katmanlı farklı sıralamalarda hibrit kompozitler üretmişler. Elde ettikleri numuneleri darbe testi tabi tutmuşlar. Hibrit kompozitlerin basalt ve aramid kompozitlerden daha iyi sonuçlar vermiş ancak çarpma yüzeyi basalt olan numunelerin daha az çarpma enerjisi absorbe ettiğini gözlemlediklerini çalışmalarında bildirmişlerdir.

Wu ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, bazalt, karbon, cam, polyparaphenylenl benzobisoxazole (PBO) elyafları ve cam/karbon, bazalt/karbon hibrit elyafları epoksiyle takviye etmişlerdir. Ürettikleri kompozitleri çekme ve yorulma deneylerine tabi tutmuşlar testlerin değerlendirmeleri yapıldığında, bazalt/karbon hibrit kompozitlerin, cam/karbon hibrit kompozitlerden 4 kat daha fazla dayanıma sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Deak ve ark. (2009) araştırmalarında, üç farklı üretici şirketten aldıkları sürekli ve kırılmış bazalt ve cam elyafların; elyaf çaplarının, kimyasal birleşimlerinin mekanik özelliklerine olan etkilerini incelemişler. Bu çalışmalar sonucunda Bazalt elyaflar ile ilgili olarak elyaf çaplarının küçülmesinin ile çekme dayanımını arttırdığını bulmuşlardır.

Fiore ve ark. (2011) çalışmalarında cam ve bazalt elyaf kullanmış, rast gele yönlendirilmiş cam elyaf kumaşları tek yönlü bazalt elyaf kumaşlarla hibrit kompozitleri üretmişlerdir. Ürettikleri 6 tabakalı hibrit kompozitlerde bazalt elyaf kumaşların tabaka sayılarını değiştirerek farklı dizilimler elde etmişler. Üretilen kompozitlere üç nokta eğme ve çekme deneyleri uygulamışlar. Test sonuçları hibrit kompozitlerde bazalt kumaş tabaka sayısının artmasıyla hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermiştir. Sonuç olarak bu araştırmayı yapanlar bazalt kompozitlerin, cam kompozit ve bazalt ile yapılan hibrit kompozitlerden çok daha üstün mekanik özellikler gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Subagra ve ark. (2014) karbon ve bazalt elyaf kumaşlarından farklı dizilimlerde olmak üzere 6 tabaka karbon ve 4 tabaka bazalt elyaf kumaşlardan olmak üzere yedi farklı konfigürasyonda hibrit kompozit üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere üç nokta eğme testi uygulayarak eğilme dayanımları ve % birim şekil değiştirme miktarlarını

birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Bazalt kumaşların karbon kumaşlar ile hibritlenmesi neticesinde, karbon elyafa göre % birim şekil değiştirme miktarının iyileştiğini gözlemlemişlerdir.

Dorigato ve Pegoretti (2012) yaptıkları çalışmada bazalt, karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitler üretilip ve ürettikleri hibrit kompozitlerin mekanik ve yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Çekme testlerinden elde edilen sonuçlara göre bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin çekme dayanımlarının karbon elyaf takviyeli kompozitlerin çekme dayanımlarına yakın değerler aldığını söylerlerken, cam takviyeli kompozitlerden ise çekme dayanımlarının oldukça yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yine bu araştırmacılar çalışmaları kapsamında yaptıkları yorulma deneyleri neticesinde ; bazalt elyaf takviyeli kompozitlerin yorulma ömürlerinin cam elyaf takviyeli kompozitlerden daha iyi olduğunu ve özellikle düşük % yükleme oranlarında daha da etkili olduklarını ifade etmişlerdir.

Sfarra ve ark. (2013) çalışmalarında, bazalt ve cam elyaf takviyeli epoksi kompozitler üretmiş ve elde ettikleri kompozitlere düşük hızlı darbe deneyleri uygulamışlar ve oluşan hasarı incelemişlerdir. Darbe sonucu oluşan bombeleşme miktarını ölçerek değerlendirmede bulunmuşlar. Oluşan bombeleşmenin bazalt elyaf takviyeli kompozitlerde az, cam elyaf takviyeli kompozitlerde fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç hasarlarında cam elyaf takviyeli kompozitlerde delaminasyon ve elyaf kırılmaları etkin hasarlar iken, bazalt elyaf takviyeli kompozitlerde ise elyaf kırılmalarının daha etkin hasar olduğunu tespit etmişlerdir. Enerji absorpsiyonunun bazalt kompozitlerde elyaflar tarafından yapıldığını ve delaminasyon hasarının elyaf/matris ara yüzey etkileşim durumuna göre değiştiğini çalışmalarına eklemişlerdir.

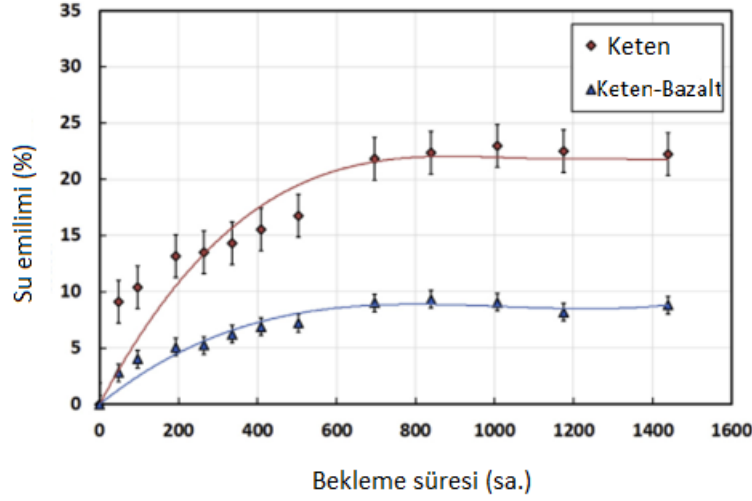
Zhu ve ark. (2011) çalışmalarında bazalt elyaf takviyeli kompozitler üreterek darbe testi uygulamışlardır. Deneyler sonucunda darbe enerjilerinin ve % şekil değiştirme miktarlarının her ikisinde yüksek olduğunu gözlemlemişler. Bu esneklik sayesinde bazalt elyafların dinamik darbe yükleri altında takviye malzemesi olarak kullanılabileceğini ve cam elyaflara alternatif olduklarını söylemişler.

2.2. Bazalt Kompozitlere Korozyon Ortamlarında Yapılan Çalışmalar

Fiore ve ark.(2016) yaptıkları bu çalışmada Keten ve bazalt kumaşlar kullanarak elle yatırma metoduyla 10 katmalı iki farklı dizilimde kompozitler yapmışlar. Her iki kompozite %5 NaCl oranında tuzlu suyu (pH 6,5 ile 7,2 arasında) 35 °C sıcaklıkta sürekli püskürterek su emme miktarlarına bakmışlar.

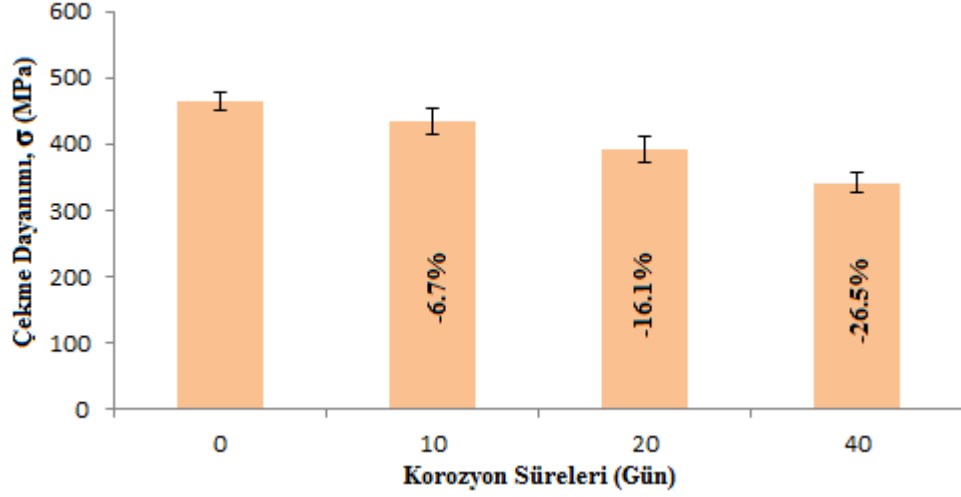
Tuzlu su korozyon etkisindeki numunelere çekme testi uygulamışlar ve doğal lifleri güçlendirmek için bazalt elyaf kullanmanın basit ve etkili bir yol olduğunu vurgulamışlardır.

Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi Keten ve bazalt-keten kompozitlerin zamanla Su Alma Yüzdesi 700 saat sonra doyuma ulaştığı gözlemlenmiştir. Su emiliminin maksimum değerleri, yaklaşık Keten için % 23 iken Bazalt /keten için %9 olarak bulunmuştur.



Şekil 2.1. Keten ve Keten Bazalt kompozitlerin su emilimi.

Demirci ve ark. (2017), çalışmalarında, vakum infüzyon yöntemi ile 6 tabakalı bazalt elyaf takviyeli (BTP) epoksi kompozit levhalar üretilmiş, bu levhalardan çekme numuneleri ASTM D 3039/D 3039M standartlarına uygun olarak hazırlanmış ve Akdeniz suyu korozyon ortamında 0, 10, 20 ve 40 gün sürelerinde bekletildikten sonra çekme testlerini yapmışlar. Deniz suyu korozyon süresinin artmasıyla çekme dayanımlarındaki % azalmaları tespit etmişlerdir. 40 gün deniz suyu ortamında bekletilen BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımında %26,5'lik azalma gözlemlediklerini rapor etmişlerdir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Deniz suyu korozyon sürelerine göre BTP/Epoksi kompozitlerin çekme dayanımları

Wei ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, bazalt ve cam elyaf takviyeli kompozitler üretip, bu kompozitlerin sodyum hidroksit (NaOH) ve hidroklorik asit (HCl) ortamlarında korozyonlarını incelemişlerdir. Numuneleri belirli bir periyot ve sürede bu ortamlarda bekleterek oluşturdukları farklı gruplarına çekme testi uygulayarak sonuçları değerlendirmişler. Test verilerine göre bazalt kompozitlerin korozyon dirençlerinin yüksek olmasından dolayı çekme mukavemetleri cam kompozitlerden çok daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Wei ve ark. (2011) bu çalışmalarında ise bazalt/epoksi ve cam/epoksi kompozitler üretip, deniz suyu ortamındaki korozyonunu incelemek için 10,20,30,50 ve 90 gün bekleterek oluşturdukları test gruplarına çekme ve eğme deneylerini uygulamışlar ve sonuçları değerlendirmişler. Korozif ortamda numunelerin bekleme süresinin artmasıyla çekme ve eğme dayanımlarının düştüğünü söylemişler, 10 gün bekleme süresinde cam/epoksi kompozitlerin dayanımlarının birden düştüğünü ve bazalt kompozitlerin daha iyi çekme ve eğme dayanımı gösterdiklerini belirtmişlerdir.

2.3. Nanopartikül Katılarak Oluşturulan Kompozitlerle Yapılan Çalışmalar

Seong ve ark.(2018) çalışmalarında Epoxy/grafen/ bazalt kumaş kullanarak yaptıkları kompozitin termal ve mekanik özelliklerini araştırmışlar. Doğal grafen pullarını ağırlıkça %0,10-0,40 oranlarında karıştırarak numuneler hazırlamışlar ve en iyi mekanik özellikleri %0,20 de elde etmişler. Ancak termal iletkenlikte ise %0,40 grafen katkısının daha iyi sonuç verdiğini çalışmalarında belirtmişler. Hazırlanan numunenin termal ısı emme özellikleri bir kızılötesi termal kamerayla ölçülmüş. Sonuç olarak nano

grafan oranının atmasıyla termal iletkenliğin ve termal stabilizenin arttığını söylemişler. Kompozitlerin kırılma tokluğunu üç noktalı büküm testi yaparak bulmuş ve nano grafen içeriği %0,20 olduğunda en iyi sonucu verdiğini söylemişler.

Kazemi ve arkadaşları (2018), bazalt takviyeli Grafeni nano katkılı epoksi matrisli nano kompozit üretmiş ve Hazırladığı numunelere yüksek hızlı darbe testleri uygulamışlar. grafen nanoplate / epoksinin çeşitli ağırlık yüzdelerinde (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) kullanarak farklı numune grupları oluşturmuşlar ve yüksek hızlı darbe testi sonucunda en iyi dayanımı 0.2% olan karışımli kompozitin verdiğini gözlemlemişler.

Shaofeng ve ark. (2018) çalışmalarında takviye malzemesi olarak bazalt lifi (BF) ve poliamid 6 (PA6) matrisi kullanmış arasında kuvvetli bir ara yüzey yapışması elde etmek için, poliüretan matrix kullanarak önceden grafen emdirilmiş bazalt fiberlerle bir grafen-bazalt - poliüretan kompozit oluşturmuşlar. Bazalt elyafın üzerine doğrudan grafen (GR) kaplanarak uygulamışlar. Gerilme ve bükülme mukavemetlerinde sırasıyla % 18.2 ve % 34 iyileşmeyi gözlemlemişler.

Abdi ve arkadaşları (2018) çalışmalarında silanize CaCO_3 'ün (S- CaCO_3) 3-minopropiltrimetoksisilan (3-APTMS) birleştirme ajanı ile farklı değerlerde (matrikse göre ağırlıkça % 0, % 1, % 5) oranlarında epoksiye ilave etmişler. Bazalt kumaşla elle yatırma yöntemi ile bu matrisi kullanarak kompozitleri üretmişler. Üç nokta eğme ve çekme testlerini yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları değerlendirerek, ağırlıkça % 3 S- CaCO_3 'ün en iyi sonuçları verdiğini gözlemişler.

Bulut(2017) çalışmasında 10 katli bazalt epoksi kompozite grafen nano parçacıklar ilave etmiş çekme, darbe ve bükme testleri yapmış, grafen nano parçacıkları ağırlıkça farklı oranlarda ilave edilip ((0.1, 0.2 ve 0.3 %) ilavesiz bazalt- epoksi ile karşılaştırılıp sonuçlar değerlendirilmiş ve en iyi mekanik özelliklerin 0.1% ilavesinde olduğunu gözlemlemişler bunun da epoksi ile grafen nano parçacıklar arasında en iyi ara yüzün bu oranda olduğunu söylemiş.

Bashar ve ark.(2012) çalışmalarında bazalt elyaf ipliği sararak yüzey kompozit yapmış nano parçacık olaraktan nanoclay ilave etmiş ve çentik oluşturularak burkma testi yapmış, nanoclay parçacıkların sonucu etkilemediğini gözlemlemişler.

Colombo ve ark. (2012) çalışmalarında bazalt elyaf takviyeli kompozitlere farklı matrislerin etkisini görmek amacıyla epoksi ve vinilester kullanarak kompozit numuneler üretmişler, bu numunelere çekme, basma ve yorulma deneyleri yapmışlar, Bazalt/epoksi kompozitlerin mekanik özelliklerinin bazalt/vinilester kompozitlerden daha iyi olduklarını deney verilerinden tespit etmişlerdir. Bazalt/epoksi kompozitler

bazalt/vinilester kompozitlerden sırasıyla %29, %13 ve %85 daha fazla çekme dayanımı, elastikiyet modülü ve basma dayanımı sergilediğini gözlemlemiştir. Epoksi matrisin bazalt elyaf ile daha iyi ara yüzey oluşturduklarını rapor etmişlerdir.

Shi ve ark. (2014) çalışmalarında çevre şartlarında donma-erime direncini incelemek istemişler ve bunun için karbon, bazalt, cam elyafları ve epoksi kullanarak ürettikleri kompozitleri 100, 200 ve 300 donma-erime çevrim deneylerine tabi tutmuşlar. Donma-erime yaşlandırmasından sonra kompozitlerin çekme ve kayma testlerini gerçekleştirmişler. Bazalt kompozitlerde 300 donma-erime çevrim sayılarında çekme dayanımında %3,5'lik bir kayıp gözlemlemişler, karbon ve cam kompozitlerde ise sırasıyla %10 ve %20'lik kayıpların olduğunu belirlemişler. 250 donma-erime çevrim sayısında bazalt, karbon ve cam kompozitlerin kayma dayanımındaki kayıpları ise sırasıyla %28, %30 ve %60 olarak test verilerinden tespit etmişlerdir. Çekme ve kayma dayanımlarındaki kayıpların en fazla cam elyaf ile takviye yapılan kompozitlerde olduğunu rapor etmişler.

2.4. Tez Çalışmasının Literatürdeki Yeri

İnsan ihtiyaçlarının hızla değişmesi dün ihtiyacı olan bir ürünün bugün için kullanılmaması, ürünün fiziki ömründen önce çöp olmasına sebep olmaktadır. Her ne kadar çalışır durumda olsa da bu ürünler yenilenebilir kaynaklardan yapılmadığı için sınırlı kaynakların tüketilmesine; eğer ki insan sağlığına ya da doğa dengesine zarar verebilecek nitelikte oldukları zaman da çevre kirliliğine yol açmaktadır. Kompozit çalışmalarında da çevre kirliliği ve cam veya karbon takviyeli kompozitlere alternatif bulma ihtiyacı, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir kaynaklardan elde edilen doğal-organik fiber katkılı polimer kompozitlere olan ilginin artmasına neden olmuştur.

Kompozit dünyasına girmeye çalışan doğal fiberlerin, nispeten zayıf fiziksel özelliklerinden dolayı yapısal elemanlarda kullanımları henüz sınırlıdır. Bazalt fiberler biyobozunur özellikte olmasalar da, volkanik bazalt kayaçların yüksek sıcaklıklarda eritilmesi ve herhangi bir katkı maddesi kullanılmadan üretilmeleri nedeniyle literatürde doğal fiberler sınıfında anılmaktadır. Mekanik özellikler bakımından cam ve karbon fiberler arasında performans sergileyen bazalt fiberler, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahiptir. Üstün korozyon özellikleri, ekonomik ve doğal olmaları, toksik olmamaları ve solunmaları durumunda sağlığa zararlı etkilerinin bulunmaması, bazalt fiberlere, deniz araçları, tersaneler, açık deniz platformları, gemi ve deniz altı gibi çok çeşitli deniz uygulamalarında kullanım potansiyeli sunmaktadır. Literatür taramasında

bazalt fiberlerin termal, mekanik ve elektrik iletkenliği özelliklerinin incelendiği bazı çalışmalar özetlenmiştir. Çalışmalar incelendiğinde deniz suyunun bazalt fiberlerin mekanik davranışları üzerindeki etkisini değerlendirmek için literatürde çok az veri olduğu dikkat çekmektedir.

Deniz ortamı; tuzlu suyun korozyon potansiyeli, derin sular altındaki yüksek basınç ve değişken hava koşullarından kaynaklanan yüksek baskılar nedeniyle malzemelerin çalışma koşullarını zorlaştırmaktadır. Deniz gibi korozif tuzlu su ortamlarında kullanılacak kompozit malzemelerin çalışma performanslarının normal ortamın yanı sıra tuzlu su ortamında da araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada grafen nanoplateletler ile modifiye edilmiş epoksi matrisli bazalt fiber nanokompozitlerin mekanik ve lineer burkulma özelliklerinin tuzlu suda yaşlandırma sürelerine bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Epoksi matrisin su absorpsiyonunun düşük olduğu bilinmektedir. Üretilen bazalt fiber takviyeli epoksi kompozitlerin deniz araçlarının gövdeleri, deniz sporları aletleri, gemi kızakları ve açık deniz platformları gibi çeşitli deniz uygulamalarında kullanılması hedeflenmektedir. Kullanım yeri olarak önerilen bu uygulamalarda kompozit malzeme hem burkulmaya uğrayabilmekte hem de uzun süre tuzlu suya maruz kalmaktadır. Epoksi matris ile bazalt fiberler arasındaki bağlanmanın iyileştirilmesi, kritik burkulma yükünün artmasına , matrisin plastikleşmesine neden olan su absorpsiyonunun minimize edilmesi için epoksi matrise grafen nanoplatelet katkısı yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, incelenen kompozitlerin imalatında kullanılan matris ve takviye metaryalleri ile üretim yöntemleri verilmiştir. Kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test yöntemleri ve analizler anlatılmıştır.

3.1. Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri

3.1.1. Epoksi

Bu çalışmada matris malzemesi ticari olarak bulunabilen, Dost Kimya kimyasal ürünler şirketinden temin edilen, Bisfenol A bazlı MGS-L160 epoksi laminasyon reçinesi kullanılmıştır. MGS-L160 laminasyon reçinesini viskozitesi 700-900 mPas dır. 10°C-50°C arasında değişebilen sıcaklıklarda proses yapmaya uygundur. 45 dakikadan 4.5 saate kadar çıkabilen çalışma süresi özelliğiyle uzun hazırlık evresi olan elle yatırma metodu ve vakum infüzyon uygulamalarında tercih edilmektedir. Kürleştirici olarak aynı firma tarafından sağlanmış olan 10-50 mPas viskoziteli MGS-H160 kullanılmıştır. Kürleme işlemi oda koşullarında ürün etiketinde belirttiği gibi ağırlıkça karışım oranında (100:25) hazırlanmıştır.

MGS-L160/H160 reçine sisteminin DIN WL 5.3203-1:1978-11 standardına göre belirlenmiş olan mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Saf epoksi reçinenin mekanik özellikleri (HEXION)

Özellikler	Birimler	Değerler
Yoğunluk	[g/cm ³]	1,18-1,20
Eğilme mukavemeti	[N/mm ²]	110-140
Elastisite modülü	[kN/mm ²]	3,2-3,5
Çekme mukavemeti	[N/mm ²]	70-80
Basma mukavemeti	[N/mm ²]	80-100
Kopma uzaması	%	5,0-6,5
Darbe mukavemeti	[kJ/m ²]	40-50
Su absorpsiyonu (23°C)	24 sa. [%]	0,10-0,20

3.1.2 Bazalt ve E-Cam Fiberler

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan bazalt ve cam fiber dokuma kumaşlar şekil 3.2. de görüldüğü gibi dokuma kumaş olup Dost Kimya kimyasal ürünler şirketinden alınmıştır.



Şekil 3.1. a) bazalt fiber plain dokuma kumaş, b) cam fiber plain dokuma kumaş

Bazalt ve cam fiberlerin tedarikçi firmadan sağlanan bazı özellikleri sırasıyla Çizelge 3.2 ' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bazalt ve E Cam fiberlerin genel özellikleri (tedarikçi verileri)

Özellikler	Birimler	E-Cam	Bazalt
Ağırlık	(gr/m ²)	202± 5	210± 5
Gerilme Direnci	(MPa)	2306	3170
Elastisite Modülü	(GPa)	81.50	89
Şekil Değiştirme Oranı	(%)	2.97	3,5
Yoğunluk	(g/cm ³)	2.58	2,75

3.1.3.Grafen

Tez çalışmasında kullanılan grafen nanopartiküller, epoksi reçine ile iyi bir bağ oluşturmaları ve reçine içerisinde homojen olarak nano karbon tüplere göre daha kolay dağıtılabilmeleri sebebiyle matris modifikasyonunda nano katkı malzemesi olarak grafen tercih edilmiştir. Grafen nanopartiküller (Graphene Nanoplatelet, 99.5+%, 6 nm, S.A:150 m²/g Dia:5µm) Nanografi Türkiye'den temin edilmiştir.

3.2. Kompozit Plaka Üretimi

Çalışmamızda yapılacak olan kompozitler için, 200g/m² plain bazalt ve cam elyaf kumaşlar kullanılmıştır. Numuneler çizelge3.3.'de gösterilen konfigürasyonlarda üretildi. Referans olması için 1 ve 2 nolu numuneler sadece sırasıyla bazalt ve cam elyaflardan oluşturulmuş diğer numuneler ise cam ve bazalt hibrit kompozit olarak üretilmiştir. Aynı konfigürasyonların grafen katkılı olarak da yapılmıştır.

Çizelge 3.3. Numune konfigürasyonları, kalınlıkları ve numune miktarları

Numune no	Numune kodları	Oryantasyon sırası	Grafen katkısı %	Kalınlık mm (+/-0,1)	Numune miktarı (ADET)
1	EPOKSI+B15	[B]15	-	3,2	30
2	EPOKSI+C15	[C]15	-	3,2	30
3	EPOKSI+CBC	[C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C]	-	3,2	30
4	EPOKSI+BCB	[B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B]	-	3,2	30
5	Gr+ EPOKSI+B	[B]15	0.3	3,2	30
6	Gr+ EPOKSI+C	[C]15	0.3	3,2	30
7	Gr+ EPOKSI+CBC	[C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C]	0.3	3,2	30
8	Gr+ EPOKSI+BCB	[B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B/C/B]	0.3	3,2	30

Öncelikle grafen katkısız numunelerin hazırlanması yapılmıştır. 15 katmanlı yapılacak plakalar için tedarik ettiğimiz 200g/m² plain bazalt ve cam kumaşlar şekil 3.2. de olduğu gibi 30x75cm ve 30x30 cm ebatlarda kesimi terzi makası ile kağıt bant ile işaretlenerek kesim işlemleri yapılmış ve kürlenmesi için hazır hale getirilmiştir.



a) bazalt fiber plain dokuma kumaş kesimi, b) cam fiber plain dokuma kumaş kesimi

Epoksi hazırlığı; MGS-L160 laminasyon reçinesini ve kürleyici olarak MGS-H160 ağırlıkça 100:25 oranında hassas terazide tartılarak birleştirilmiş ve mekanik karıştırıcıda 1000 dev./dk hızında 5 dk karıştırılmıştır (Şekil 3.3.).

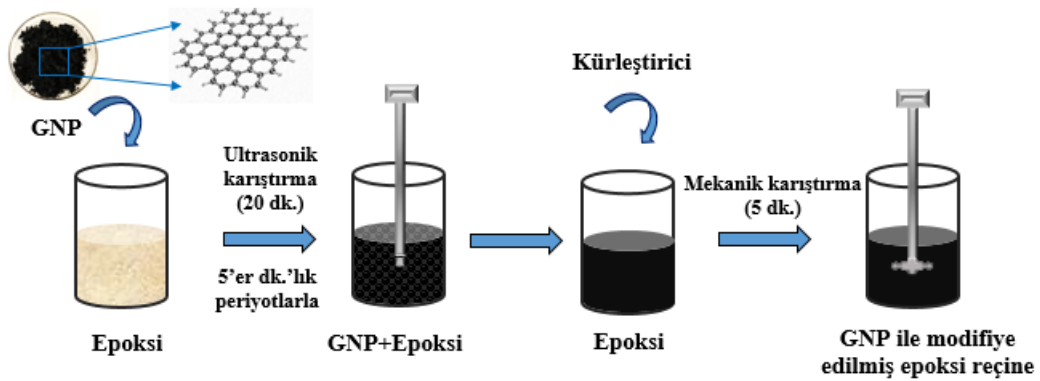


Şekil 3.3. Epoksi ve sertleştiricinin karışımı

Grafen katkılı epoksi hazırlanması;

Grafen katkısı daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konulduğu üzere en iyi sonuçları (0.2-0.5)% aralığında olduğundan grafen katkısını ,grafen oranının artmasıyla homojen karışma zorluklarının ortaya çıkması da göz önüne alınarak bu çalışmada 0.3% olarak kullanmanın uygun olacağı düşünülmüştür. (Şükür, 2019)

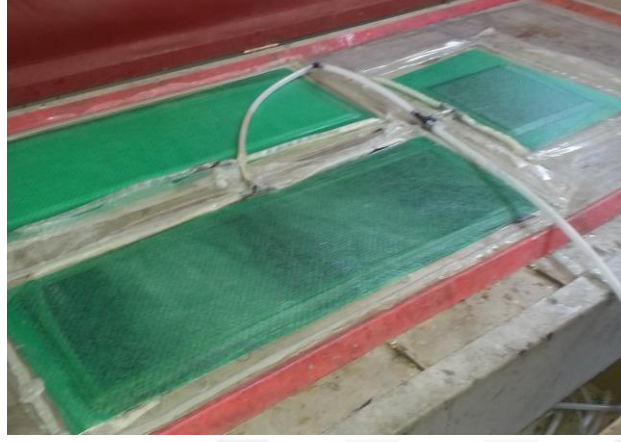
Grafen nanoplateletlerin epoksi içinde homojen bir şekilde dağıtılabilmesi için uçlu sonikatör kullanılmıştır. İlk olarak, epoksi reçine miktarı belirlenmiş, daha sonra grafen partiküller epoksi reçinenin ağırlıkça % 0.3 oranında tartılmıştır. Epoksi+grafen karışımları 5'er dakikalık periyotlarla 20 dakika uçlu sonikatörde karıştırılmış ve % 25 kürleştirici ilavesiyle birlikte mekanik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. GNP ile modifiye edilmiş epoksi reçine hazırlanmasının şematik gösterimi

Hazırlanan epoksi karışımı bazalt ve cam fiberlere bir rulo yardımıyla el yatırma tekniğiyle sürülerek emilimi sağlanmıştır. Testlerde kullanılacak numunelerin minimum standartlarda belirtilen kalınlıkta olmaları için 15 kat fiber kullanılmıştır. Epoksi karışım

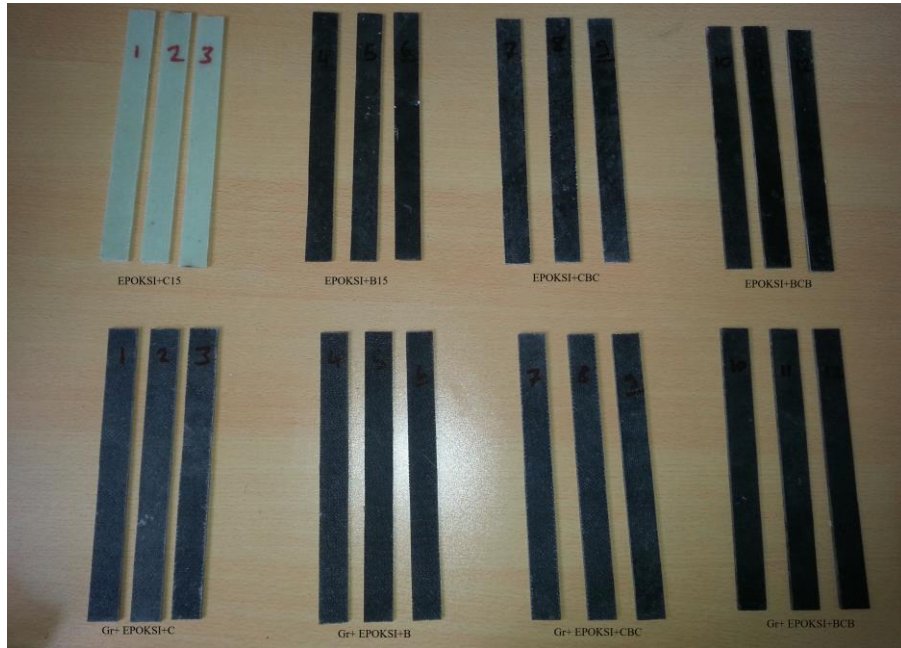
emdirilen fiber tabakaları Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi vakum infüzyon ünitesine bağlanarak 1 atm vakum altında torbalama yöntemiyle üretilmiştir.



Şekil 3.5. vakum infüzyon ünitesinde kompozit üretimi

Bu teknik sayesinde partiküllerin filtreleme etkisi minimize edilmekte, kompozit tabakaların içerdiği hava kabarcığı hataları en aza indirgenmekte ve fiber tabakaları arasında homojen bir dağılım sağlanmaktadır. Üretilen kompozit levhalar 1 saat boyunca 60 °C'de kürlenmiş ardından 4 saat 120 °C'de post kür uygulanmıştır.

Üretilen 30x75cm ve 30x30 cm cm ebatlarındaki levhaları çekme ve burkulma testleri için ASTM D3039 standartına uygun olarak 25x250 mm boyutlarında kesilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. 25x250 mm boyutunda kesilmiş test numuneleri

3.3.Tuzlu su ortamında yaşlandırma

Tuzlu su ortamının kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini tespit etmek amacıyla tuzlu su çözeltisi (ağırlıkça % 6 NaCl) hazırlanmıştır. Test numuneleri çizelge 3.3’de belirtildiği üzere 0, 15, 30, 45 ve 60 gün olmak üzere 5 grupta değerlendirilmiştir. Hazırlanan numuneler daldırma yöntemiyle şekildeki gibi kaplarda buharlaşma ile su kaybını engellemek amacıyla ağzı kapalı olarak bekletilmiştir(şekil 3.6). Ayrıca yine derişimin değişmemesi için günlük periyotta karıştırılarak tuzun çökmesi önlenmiştir.

Çizelge 3.4. Test grupları ve bekleme süreleri

Test Grupları	Ortam Koşulları	Bekleme Süreleri
I	NORMAL - ODA	-
II	(%6) TUZLU SU	15 GÜN
III	(%6) TUZLU SU	30 GÜN
IV	(%6) TUZLU SU	45 GÜN
V	(%6) TUZLU SU	60 GÜN



Şekil 3.6. Numunelerin tuzlu suda bekletilmesi

Yaşlandırılmayan malzemelere göre ağırlık artış yüzdesi, Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta_m = \frac{m_t - m_i}{m_i} \quad (3.1)$$

Burada, m_i numunenin yaşlandırma öncesinde başlangıçtaki kütlesi ve m_t , yaşlandırma zamanındaki kütlesidir.

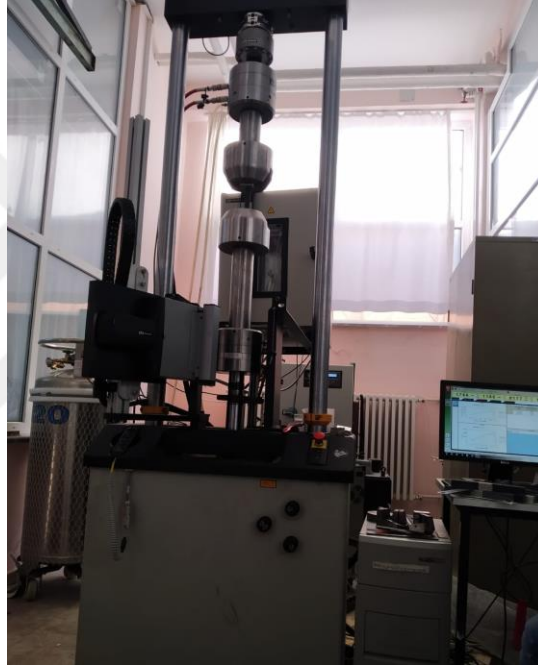
3.4.Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme ve burkulma testleri yapılmıştır. Çekme testleri ile elde edilen gerilme-uzama grafiklerinden malzeme tanımı için önemli olan elastite modülü hesaplanmıştır.Yine

yapılan burkulma testleri sonucu kolon kirişler için önemli olan kritik burkulma yükleri ölçülebilmektedir.

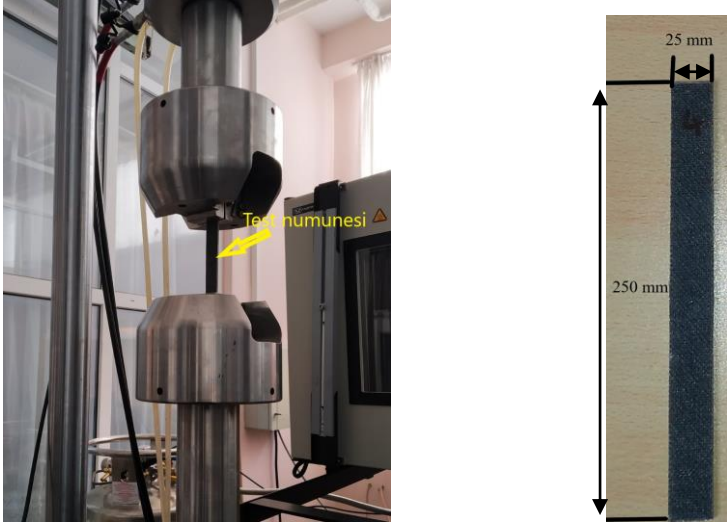
3.4.1. Çekme Testi

Üretilen kompozitlerin tek eksenle çekme etkisi altındaki mukavemet ve elastisite modüllerini tayin edebilmek için yapılan çekme testini polimer matrisli kompozit malzemeler test standartı ASTM D3039/3039 M-14'e uygun olarak yapılmıştır. Çekme testi için Instron 3369 çekme-basma cihazı (Şekil 3.7) kullanılmış ve test 2 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Instron 3369 Çekme – Basma Cihazı

ASTM D3039/3039 M-14 test yöntemi; malzeme özellikleri, araştırma ve geliştirme, kalite tayini, yapısal tasarım ve analizleri için çekme özellikleri bilgilerini elde etmek üzere oluşturulmuştur. Yine bu standartta çekme özelliklerine etki eden bütün faktörler tanımlanmış ve bu faktörlerin kontrollü olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda yapılan çekme testinde kompozit malzemenin bileşenleri, üretim yöntemi, numune boyutları, tabakaların sıralaması, numunenin tuzlu suda koşullandırılması, testin yapıldığı ortam şartları, numunenin test cihazına bağlanması, test hızı ve sıcaklık standartta belirtildiği gibi kontrol altına alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.8. Çekme test cihazı ve tek eksenli çekme yüklemesine maruz bırakılmış fiber takviyeli kompozit numunesi

Test esnasında kompozit test numunelerin çenelerden kayması önlenmek amacıyla bağlanırken çift taraflı zımpara kâğıdı kullanılmıştır. Çekme testi için numuneler ASTM D3039 standardında belirtildiği şekilde 250 mm uzunluğunda ve 25 mm genişlikte hazırlanmıştır (Şekil 3.8). 15 kat bazalt dokuma kumaş ile üretilen kompozit numunelerin kalınlıkları 3.2 ± 0.2 mm'dir.

Numunelere uygulanan yük (P) ve yer değiştirme (δ) değerleri anlık olarak kaydedilmiş ve numunelerin çekme dayanımları Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 ile hesaplanmıştır;

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \quad (3.3)$$

Denklemlerde numunede i 'inci kuvvet anında oluşan gerilmeyi (MPa), P uygulanan yükü (N), A ortalama kesit alanını (mm^2), P_{max} numunenin taşıyabildiği maksimum yükü (N) ve σ_{max} numunede oluşan maksimum gerilmeyi (MPa) ifade etmektedir.

Numuneye uygulanan yükün etkisiyle, yer değiştirmeye bağlı olarak numunede meydana gelen şekil değişimi;

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad (3.4)$$

Burada i 'inci yer değiştirme noktasında oluşan şekil değiştirme miktarını (mm/mm), δ_i yer değiştirmeyi (mm), L_g ekstansometre gage uzunluğunu (mm) göstermektedir.

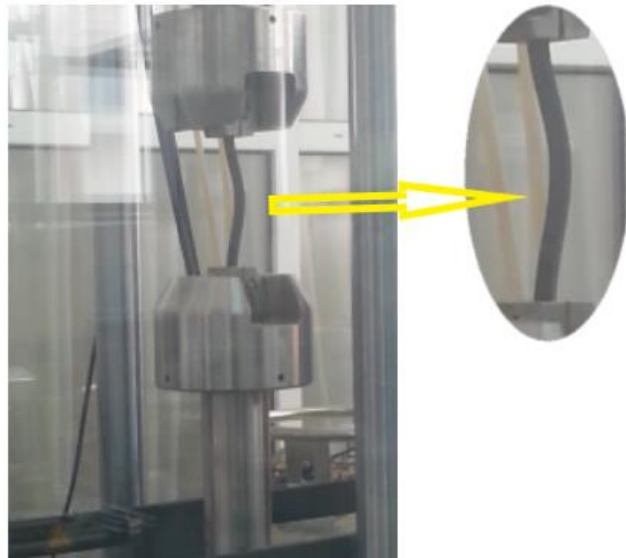
Çekme elastisite modülü;

$$E_f = \frac{\Delta\sigma}{\Delta_s} \quad (3.5)$$

Denklemleri ile hesaplanmıştır. Denklemlerde E_f çekme elastisite modülünü (MPa), $\Delta\sigma$ seçilmiş iki gerilme noktası arasındaki farkı (MPa) ve Δ_s seçilmiş iki şekil değiştirme miktarı arasındaki farkı temsil etmektedir ($\Delta = 0.002$ alınır ve bu değerler arasındaki gerilme noktalarının farkı elastisite modülünün büyüklüğünü belirler). Belirtilen denklemler kullanılarak kompozitlerin çekme mukavemeti, şekil değiştirme miktarı ve elastisite modülü değerleri hesaplanarak çekme eğrileri ve sütun grafikleriyle ifade edilmiştir.

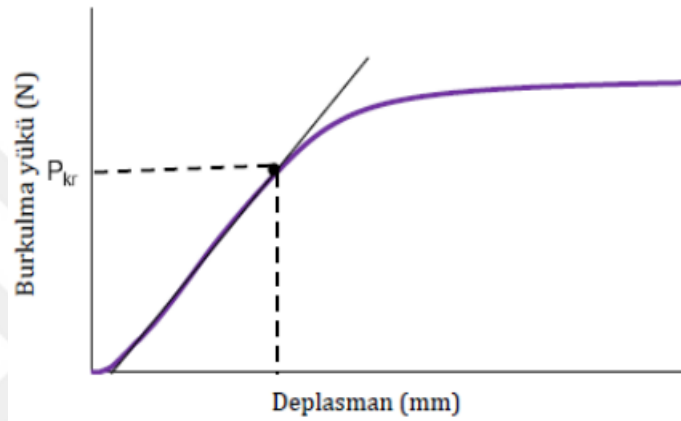
3.4.2. Burkulma Testi

Kompozit numunelerin burkulma deneyleri için yine Instron 3369 çekme – basma cihazı kullanılmış basma modunda 2 mm/dak basma hızında gerçekteştirilmiştir. şekil 3.9 burkulma deneyi sonucunda hibrit kompozit numunede oluşan deformasyon görölmektedir.



şekil 3.9. Basma test cihazı ve tek eksenli Burkulma yüklemesine maruz bırakılmış fiber takviyeli kompozit numunesi

Basma deneyi esnasında elde edilen veriler bir veri aktarım cihazı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu verilerden elde edilen sonuçlardan burkulma yükü/birim şekil değiştirme grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden de Şekil 3.10' a göre her bir parametre için Southwell Plot metodu kullanılarak burkulma yük-deplasman eğrisinin üzerinde çizilmiş olan teğet çizginin kesişim noktası kritik burkulma yük değeri olarak belirlenmiştir. Burada kritik burkulma yükü hibrit kompozit malzemenin deformasyona uğramadan önce taşıyabileceği maksimum yükü belirtmektedir.



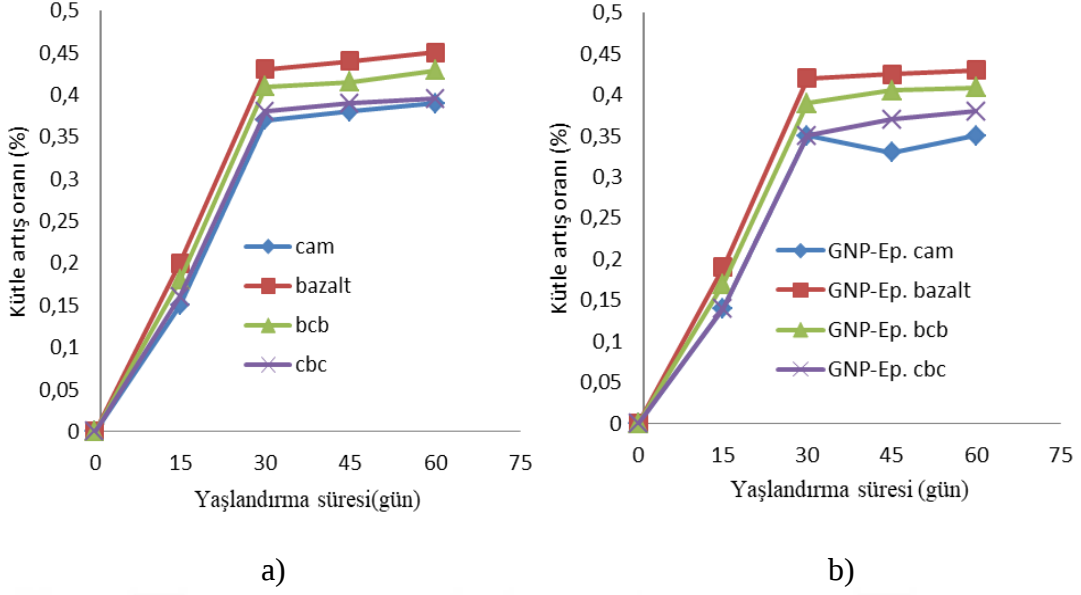
Şekil 3.10. Kritik burkulma yükünün belirlenmesi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmamda bazalt fiberlerin, deniz araçları, tersaneler, açık deniz platformları, gemi ve deniz altı gibi çok çeşitli deniz uygulamalarının kolon giriş yapılarında kullanılmasını artırmak amacıyla cam ve bazalt kumaşlardan yapılan plaka kompozitlerin çekme ve burkulma davranışları incelenmiş deniz suyu (tuzlu su) ortamının korzyon etkisi değerlendirilmiş ve nano grafen katkısının mekanik iyileştirme etkisi araştırılmıştır. Yapılan cam/bazalt hibrit kompozitlerin dış katmanlarının bazalt veya cam olmasının etkilerini ortaya çıkarmak maksadı ile c/b/c ve b/c/b farklı dizilimlerde üretilen hibrit kompozitlerin de mekanik davranışları incelenmiştir. Ayrıca nano grafen katkısının iyileştirme etkisini incelemek amacıyla yapılan grafen katkılı hibrit kompozitler de diğer numuneler gibi tuzlu suda şartlandırılarak incelenmiş ve bulgular değerlendirilmiştir. Kompozitlerin korozyonun yanı sıra su emilimin de mekanik davranışlara etkisi araştırılmıştır.

4.1. Tuzlu Su Şartlarında Yaşlandırma

İnert kaplarda ağırlıkca (%6 NaCl) tuzlu su içersinde bekletilen numuneler 15 gün ara ile çıkartılarak hassas terazide kütleleri ölçülmüş ve kütle artışları % olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.1.a). Grafiklerde görüldüğü gibi en fazla emilim BF kompozitte en az ise CF kompozitte görülmüş dış yüzeyi bazalt olan BCB konfigürasyonda olan hibrit kompozitin CBC hibrite göre emilimi daha fazla olmuş ancak ikiside BFRP ile CFRP kompozitlerin arasında kalmışlardır (Şekil 4.1.b). Grafik incelendiğinde %0,3 grafen katkısının bariyer etkisi yaparak tuzlu su absorpsiyonu azalttığını göstermektedir.



Şekil 4.1. cam, bazalt, BCB, CBC kompozitlerin tuzlu su absorpsiyonu **a)**Saf epoksi reçineli **b)** %0,3gnafen katkıli epoksi reçineli

4.2. Kompozitlerin Çekme Davranışları

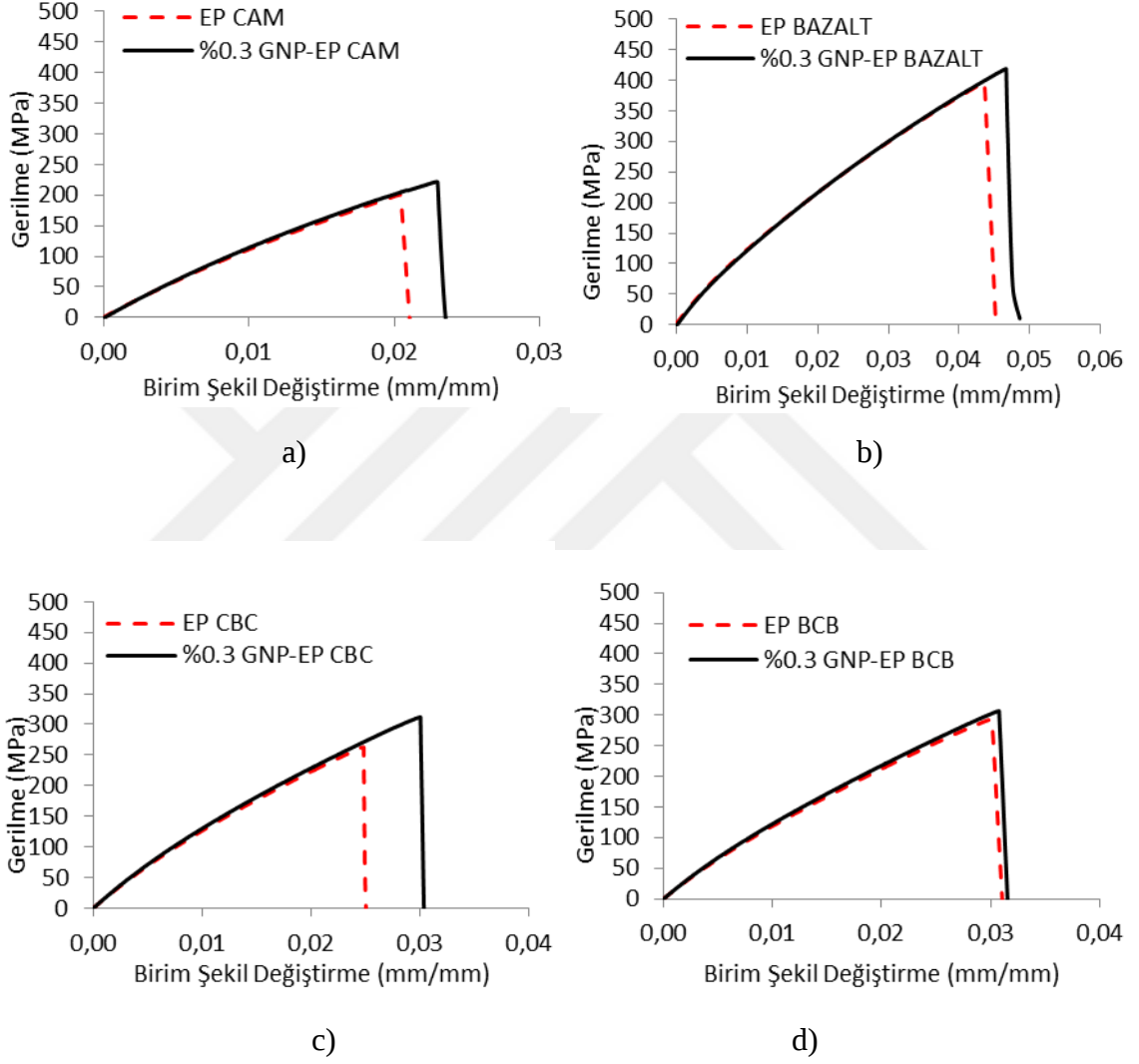
Numunelerin çekme testi kritik maksimum kopma gerilmeleri deney sonucunda elde edilen gerilim-birim şekil değiştirme grafiklerinden hesaplanmıştır

4.2.1. Şartlandırılmamış Ortamda Kompozitlerin Çekme Davranışları

Epoksi içerisine yapılan ağırlıkça %0.3 oranında GNP katkısının bazalt fiber, cam fiber ve cam/bazalt hibrit fiber takviyeli epoksi kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek için çekme testlerinden elde edilen mukavemet, uzama (kopma uzaması) ve elastisite modülü değerleri birbiriyle kıyaslanmıştır.

Şekil 4.2’de Epoksi kompozit ve %0.3 GNP Epoksi nanokompozitlerin Gerilme-% uzama eğrileri verilmiştir. GNP nano takviyesi kompozitlerin tümünde çekme mukavemeti, uzama değerlerinde ve elastisite modüllerinde artışa sebep olmuştur. Çekme mukavemeti üzerine GNP etkisi Cam elyaf takviyeli kompozit için %3,66, Bazalt elyaf takviyeli kompozit için %1,94, Bazalt-Cam-Bazalt elyaf takviyeli kompozit için %4,56 Cam-Bazalt-Cam elyaf takviyeli kompozit için %15,74 olmuştur. GNP katkısı tüm kompozitlerin üzerinde uzama miktarlarının artışına sebep olmuştur; sırasıyla %4,55, %8,89, %6,45, %20,00 olmak üzere yüzde artışları gözlemlenmiştir. Kompozitler elastisite modülleri açısından değerlendirildiğinde ise yine artış gözlemlenmiş ve sırasıyla %5,26, %3,40, %6,48, %11,83 olarak hesaplanmıştır. Çekme mukavemetinde en yüksek değer 418,63 MPa ile %0.3 GNP Epoksi Bazalt elyaf takviyeli kompozit ` de en düşük değer ise 210,45 ile epoksi Cam elyaf takviyeli

kompozit 'de görülmüştür. GNP etkisi bakımından incelendiğinde ise en fazla artışı (%15,74) Cam-Bazalt-Cam elyaf takviyeli hibrit kompozitte yaptığı kaydedilmiştir (çizelge 4.1.). GNP katkısı matrisle fiberler arasında tutunumu artırğı için Literatürde de belirtildiği gibi çekme geriliminde iyileşme sağladığı doğrulanmıştır. (Kuilla ve ark., 2010).



Şekil 4.2. Kompozit malzemelerin normal şartlarda çekme eğrileri **a)** epoksi CAM fiber ve %0.3 GNP Epoksi CAM **b)** epoksi BAZALT fiber ve %0.3 GNP Epoksi **c)** epoksi CBC fiber ve %0.3 GNP Epoksi CBC **d)** epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB

Çizelge 4.1. %0.3 GNP nin kompozitlerde çekme özellikleri üzerine etkileri

Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Artış (%)	Uzama (mm/mm)	Artış (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Artış (%)
Epoksi/C	210,45		0,021		12,25	
%0,3 GRP Epoksi/C	218,45	3,66	0,022	4,55	12,93	5,26
Epoksi/B	410,5		0,041		15,06	
%0,3 GRP Epoksi/B	418,63	1,94	0,045	8,89	16,59	3,40
Epoksi/BCB	292,67		0,029		14,01	
%0,3 GRP Epoksi/BCB	306,64	4,56	0,031	6,45	14,98	6,48
Epoksi/CBC	262,7		0,024		14,01	
%0,3 GRP Epoksi/CBC	311,77	15,74	0,03	20,00	15,89	11,83

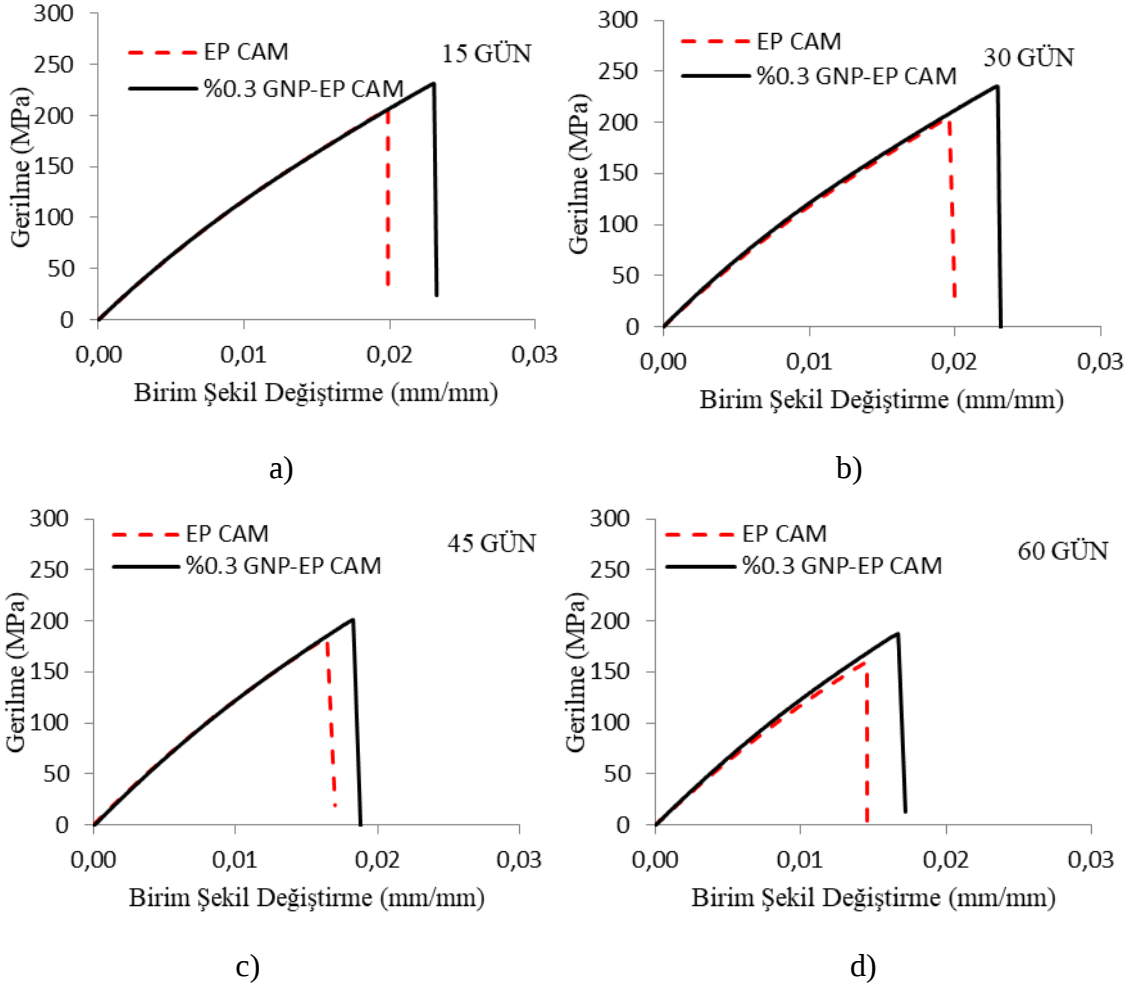
Çekme gerilimindeki bu artışların sebebi Epoksi/CF-BF-BCBF-CBCF kompozitlerin, %0,3 GNP katkılı kompozitlere kıyasla daha gevrek olduğu, bir başka deyişle çatlak başlangıcı oluşumuna ve yayılmasına karşı dirençlerinin daha zayıf olduğu şeklinde düşünülebilir. Grafenin özellikle metal matrisli kompozitlerin sünekliğini önemli ölçüde geliştirdiği çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir (Rashad ve ark., 2015).

GNP nin epoksi içinde homojen olarak dağılması önem arz etmektedir. Homojen olarak dağılmış GNP'ler ilerleme eğilimindeki çatlakları setleyerek çatlak ilerlemesini engellemektedirler. GNP katkı miktarları ile yapılan çalışmalarda GNP katkı miktarı %0,5'e kadar artırıldığında mekanik özelliklerde iyileşme görüldüğü ama %0,7 oranlarında düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Aslında asıl sorun GNP miktarı değil homojen dağılımı sağlayamama olmuştur. Homojen dağılmayan toparlak olarak kalan GNP'ler yapı içinde kusur gibi davranıp kırılmalara neden olmaktadır. Bu nedenle GNP dispersiyon kalitesi nanokompozit üretimi açısından önemlidir.(Şükür, 2019). Benzer çalışmalarda fiber takviyeli kompozitlere yapılan GNP katkısının, fiberlerin delaminasyonunu ve eğilmesini önlediği, fiber yüzeyinin yakınında başlayan çatlakların etrafındaki gerilmelerin yeniden dağılımını destekleyerek interfaz bölgesindeki çatlak ilerlemesini geciktirdiği bildirilmiştir (Qin ve ark., 2015).

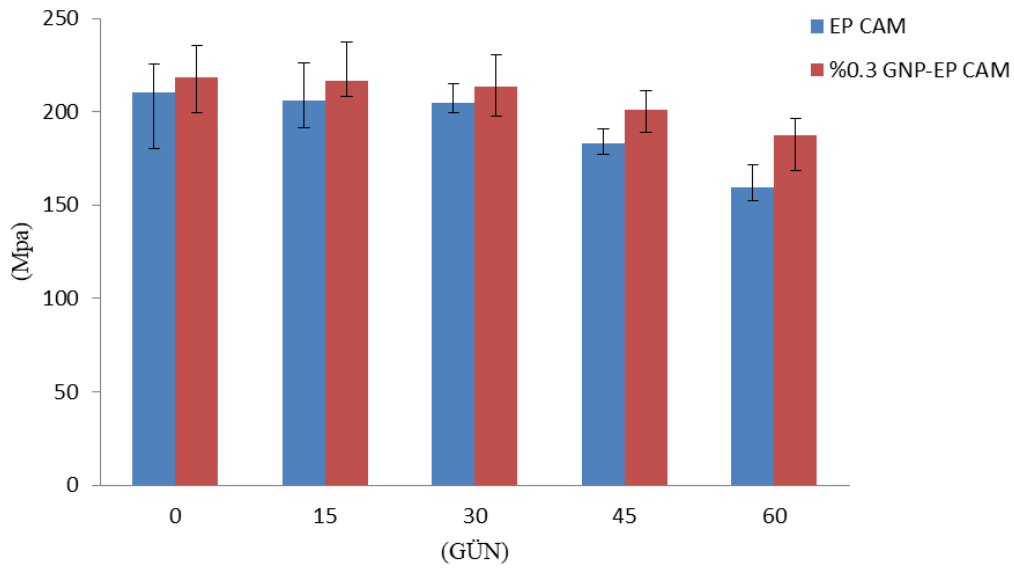
4.2.2. Yaşlandırılmış Epoksi/CF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CF

Nanokompozitlerin Çekme Testleri

Epoksi/CF kompozitler ve GNP-Epoksi/ CF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen gerilme/uzama eğrileri şekil 4.3.`de verilmiştir. Yaşlandırma etkisinde mukavemetlerindeki düşüş Şekil4.4`de sütun grafiklerinde verilmiştir.. Epoksi/CF kompozitlerde çekme mukavemetleri 2 ay süreci içinde 210,45 MPa`dan 159,37 MPa`a geriliyerek toplam % 24,27 azalma elastisite modüllerinde ise % 19,59 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ CF nanokompozitlerin çekme mukavemetleri %14,21 elastise modüllerinde ise %13,37 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ CF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/CF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, çekme mukavemetlerindeki azalmanın %10,06 daha az olduğu gözlemlenmiştir.(Çizelge 4.2)



Şekil 4.3.Epoksi CAM fiber ve %0.3 GNP Epoksi CAM fiber malzemelerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde çekme eğrileri **a)** 15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün



Şekil 4.4. Tuzlu su yaşlandırma etkisinde Epoksi/CAM kompozit ve GNP-Epoksi/CAM nanokompozit malzemelerin çekme mukavemeti

Çizelge 4.2. Epoksi CAM fiber ve %0.3 GNP Epoksi CAM malzemelerin tuzlu suda yaşlandırma etkileri

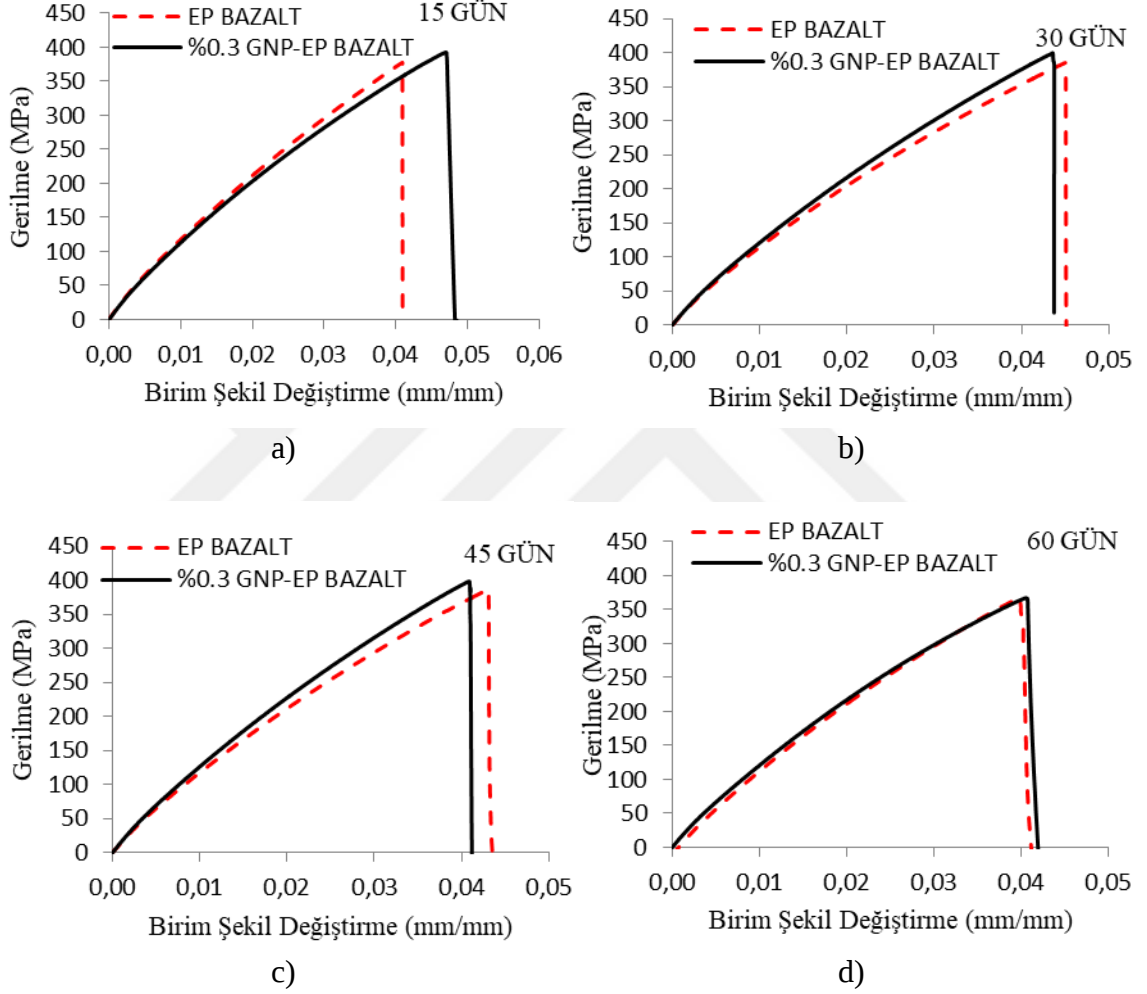
Süre (Gün)	Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Azalış (%)	Uzama (mm/mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Azalış (%)
0	Epoksi/C	210,45		0,0210		12,25	
15	Epoksi/C	206,86	1,71	0,0199	5,24	12,03	1,80
30	Epoksi/C	204,76	2,70	0,0196	6,67	11,80	3,67
45	Epoksi/C	182,84	13,12	0,0164	21,95	11,12	9,22
60	Epoksi/C	159,37	24,27	0,0156	25,62	9,85	19,59
0	%0,3 GNP Epoksi/C	218,45		0,0220		12,93	
15	%0,3 GNP Epoksi/C	216,30	0,98	0,0200	4,05	12,03	6,96
30	%0,3 GNP Epoksi/C	213,23	2,39	0,0202	8,36	11,75	9,13
45	%0,3 GNP Epoksi/C	201,00	7,99	0,0202	8,36	11,50	11,06
60	%0,3 GNP Epoksi/C	187,39	14,22	0,0202	8,36	11,20	13,38

4.2.3. Yaşlandırılmış Epoksi/BF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BF

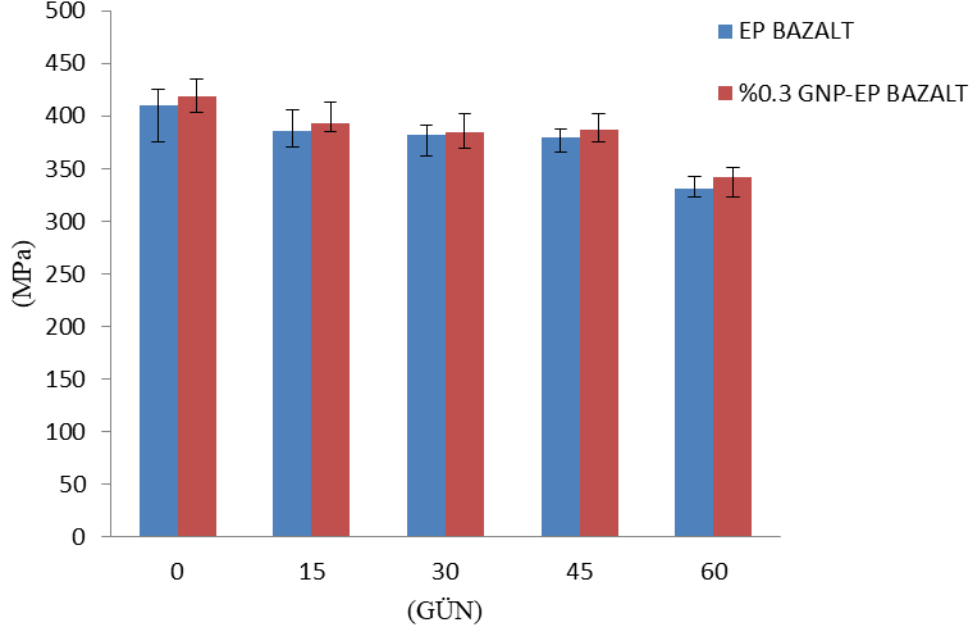
Nanokompozitlerin Çekme Testleri

Epoksi/BF kompozitler ve GNP-Epoksi/ BF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda çekme testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen gerilme/uzama eğrileri şekil 4.5.`de verilmiştir. Yaşlandırma etkisinde mukavemetlerindeki düşüş Şekil4.6`da sütun grafiklerinde verilmiştir.

Epoksi/BF kompozitlerde çekme mukavemetleri 2 ay süreci içinde 410,5 MPa'dan 330.50 MPa'a geriliyerek toplam % 19,48 azalma elastisite modüllerinde ise % 39,04 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ BF nanokompozitlerin çekme mukavemetleri %18,18 elastisite modüllerinde ise %17,57 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ BF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/BF kompozitlere göre daha az etkilendikleri etkilendikleri çizelge 4.3. de görülmektedir.



Şekil 4.5. Epoksi BAZALT fiber ve %0.3 GNP Epoksi BAZALT fiber malzemelerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde çekme eğrileri **a)** 15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün



Şekil 4.6. Tuzlu su yaşlandırma etkisinde Epoksi/BAZALT kompozit ve GNP-Epoksi/BAZALT nanokompozit malzemelerin çekme mukavemeti

Çizelge 4.3. Epoksi BAZALT fiber ve %0.3 GNP Epoksi BAZALT fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırma etkileri

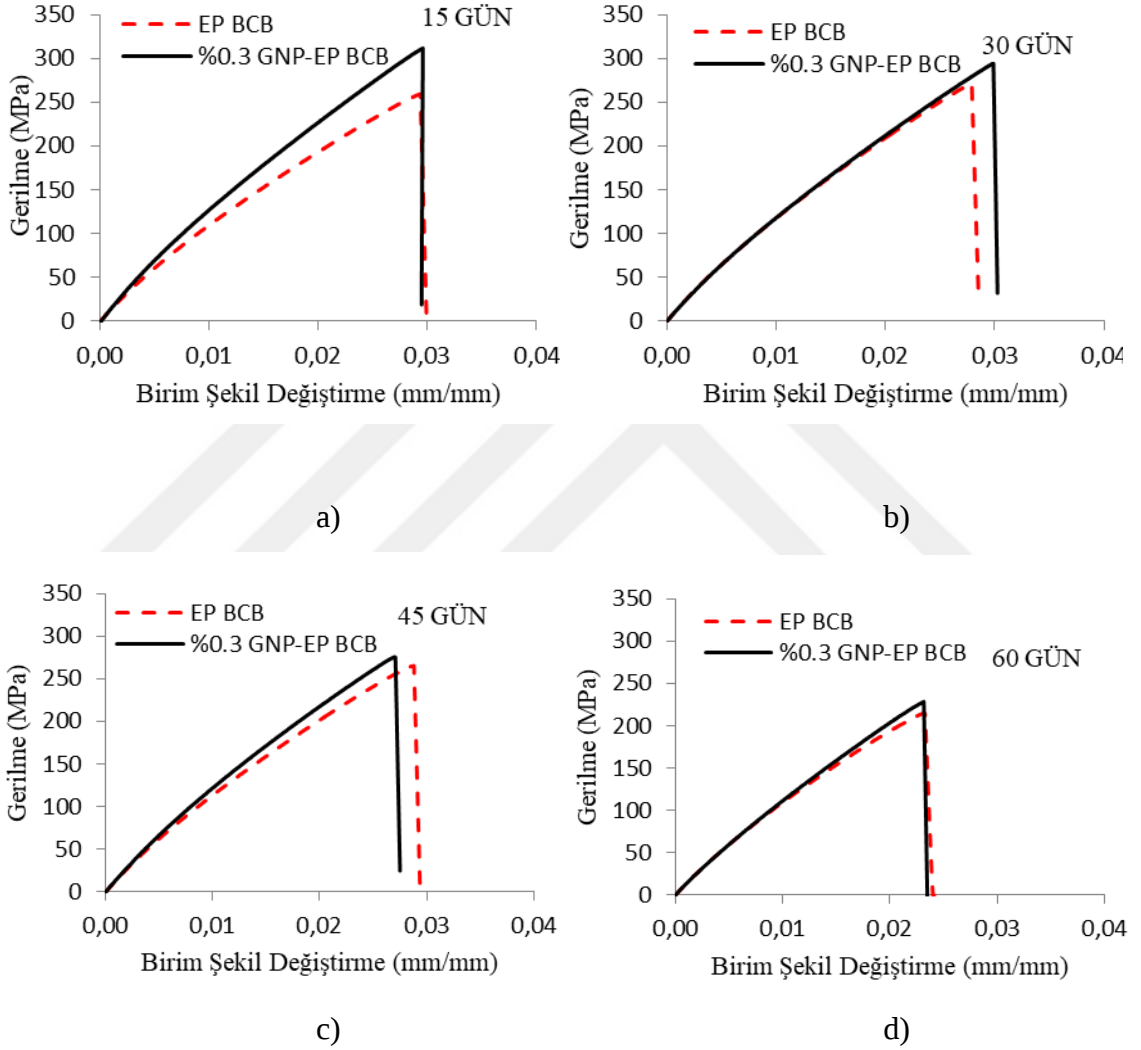
Süre (Gün)	Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Azalış (%)	Uzama (mm/mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Azalış (%)
0	Epoksi/B	410,50		0,0410		15,06	
15	Epoksi/B	385,26	6,15	0,0415	-1,22	13,12	12,88
30	Epoksi/B	381,78	7,00	0,0409	0,20	12,20	18,99
45	Epoksi/B	380,19	7,38	0,0382	6,90	11,95	20,65
60	Epoksi/B	330,50	19,49	0,0345	15,95	9,18	39,04
0	%0,3 GRP Epoksi/B	418,63		0,0450		15,59	
15	%0,3 GRP Epoksi/B	392,71	6,19	0,0470	-4,44	13,74	11,87
30	%0,3 GRP Epoksi/B	385,10	8,01	0,0450	-0,04	13,25	15,01
45	%0,3 GRP Epoksi/B	386,86	7,59	0,0450	-0,04	13,02	16,48
60	%0,3 GRP Epoksi/B	342,50	18,19	0,0364	19,16	12,85	17,58

4.2.4. Yaşlandırılmış Epoksi/BCBF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BCBF

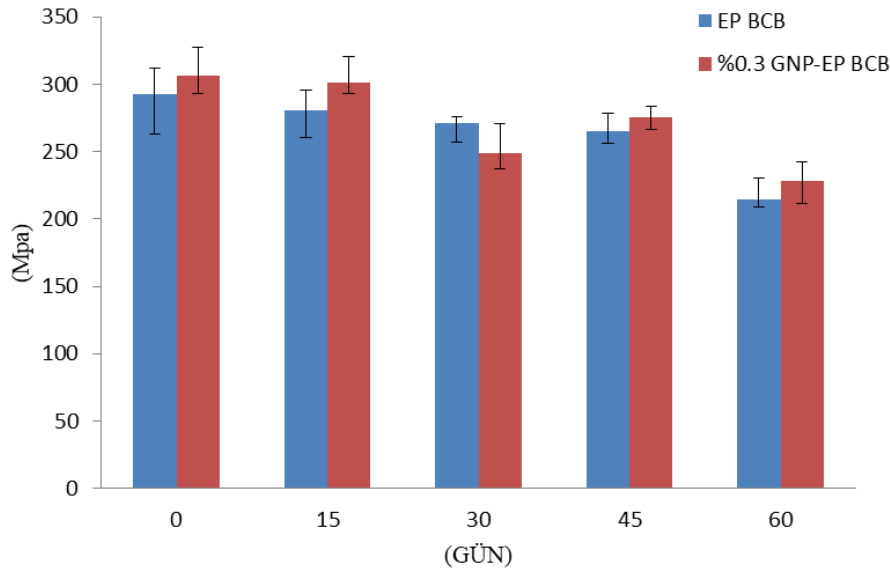
Nanokompozitlerin Çekme Testleri

Epoksi/BCBF kompozitler ve GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen gerilme/uzama eğrileri şekil 4.7.'de verilmiştir. Yaşlandırma etkisinde mukavemetlerindeki düşüş Şekil4.8'de sütun grafiklerinde verilmiştir.. Epoksi/ BCBF

kompozitlerde çekme mukavemetleri 2 ay süreci içinde 292,67 MPa'dan 214,69 MPa'a geriliyerek toplam % 26,64 azalma elastisite modüllerinde ise % 14,84 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozitlerin çekme mukavemetleri %25,47 elastisite modüllerinde ise %13,61 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/ BCBF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, çekme mukavemetlerindeki azalmanın daha az olduğu çizelge 4.4.' de görülmektedir.



Şekil 4.7. Epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB fiber malzemelerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde çekme eğrileri **a)** 15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün



Şekil 4.8 Tuzlu su yaşlandırma etkisinde Epoksi/BCB kompozit ve GNP-Epoksi/BCB nanokompozit malzemelerin çekme mukavemeti

Çizelge 4.4. Epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırma etkileri

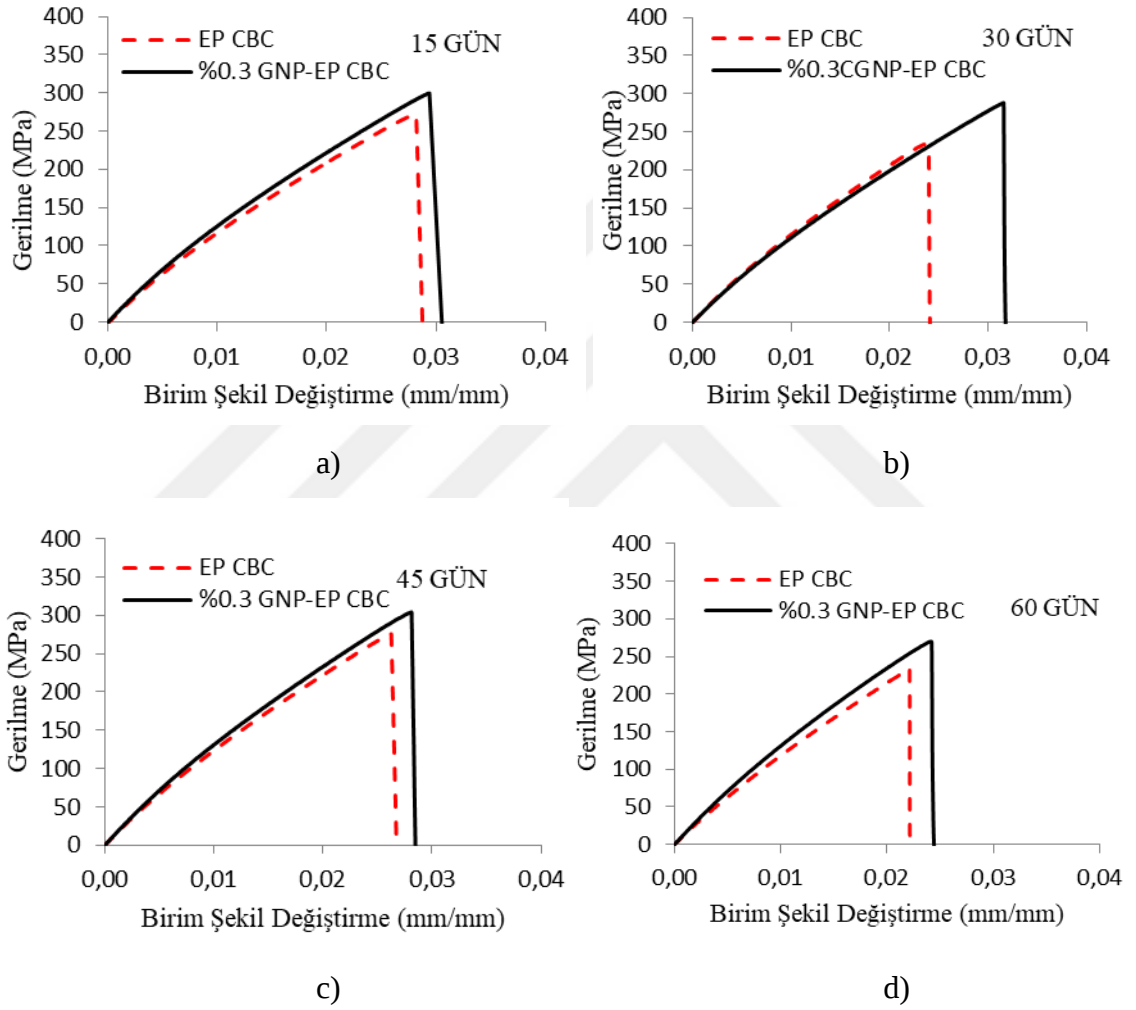
Süre (Gün)	Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Azalış (%)	Uzama (mm/mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Azalış (%)
0	Epoksi/BCB	292,67		0,0290		14,01	
15	Epoksi/BCB	279,40	4,53	0,0271	6,59	13,93	0,57
30	Epoksi/BCB	271,26	7,32	0,0279	3,79	13,02	7,07
45	Epoksi/BCB	265,10	9,42	0,0279	3,79	12,85	8,28
60	Epoksi/BCB	214,69	26,64	0,0279	3,79	11,93	14,85
0	%0,3 GRP Epoksi/BCB	306,64		0,0310		14,98	
15	%0,3 GRP Epoksi/BCB	301,10	1,81	0,0282	8,94	14,58	2,67
30	%0,3 GRP Epoksi/BCB	287,98	6,09	0,0290	6,48	14,05	6,21
45	%0,3 GRP Epoksi/BCB	275,39	10,19	0,0290	6,48	13,40	10,55
60	%0,3 GRP Epoksi/BCB	228,51	25,48	0,0290	6,48	12,94	13,62

4.2.5. Yaşlandırılmış Epoksi/CBCF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/ CBCF

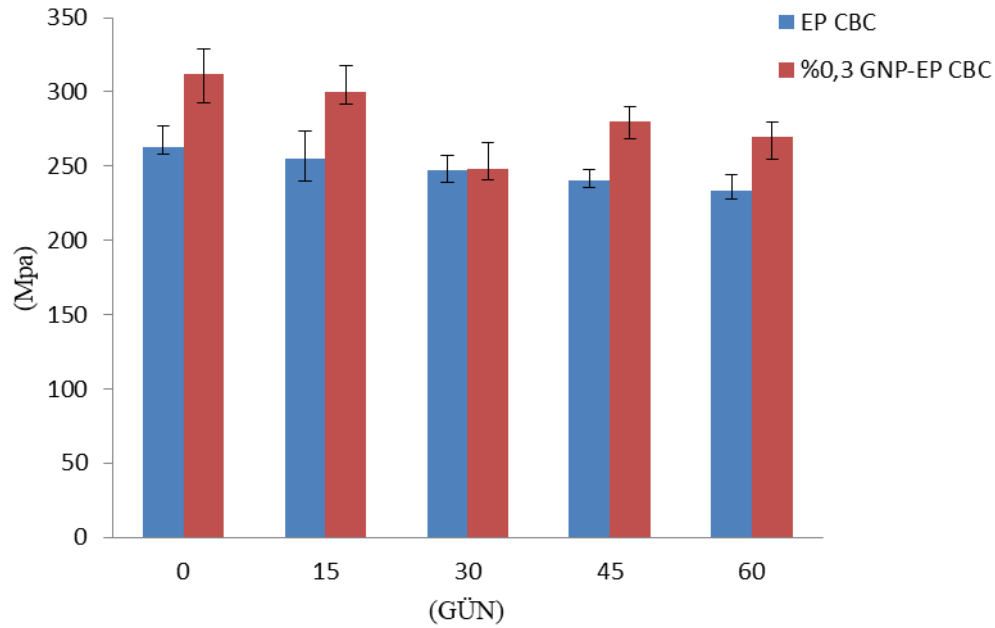
Nanokompozitlerin Çekme Testleri

Epoksi/CBCF kompozitler ve GNP-Epoksi/ CBCF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda çekme testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen gerilme/uzama eğrileri şekil 4.9.'de verilmiştir. Yaşlandırma etkisinde mukavemetlerindeki düşüş Şekil4.10'de sütun grafiklerinde verilmiştir.. Epoksi/ CBCF kompozitlerde çekme mukavemetleri 2 ay süreci içinde 262,7 MPa'dan

279,96 MPa`a geriliyerek toplam % 11,11 azalma elastisite modüllerinde ise % 19,70 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ CBCF nanokompozitlerin çekme mukavemetleri %10,20 elastise modüllerinde ise %5,97 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ CBCF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/ CBCF kompozitlere göre daha az etkilendikleri , çekme mukavemetlerindeki azalmanın daha az olduğu çizelge 4.4. de görülmektedir. (Çizelge 4.5)



Şekil 4.9. a Epoksi CBC fiber ve %0.3 GNP Epoksi CBC fiber malzemelerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde çekme eğrileri **a)** 15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün



Şekil 4.10. Tuzlu su yaşlandırma etkisinde Epoksi/CBC kompozit ve GNP-Epoksi/CBC nanokompozit malzemelerin çekme mukavemeti

Çizelge 4.5. Epoksi CBC fiber ve %0.3 GNP Epoksi CBC fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırma etkileri

Süre (GÜN)	Malzeme	Çekme Mukavemeti (MPa)	Azalış (%)	Uzama (mm/mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (GPa)	Azalış (%)
0	Epoksi/CBC	262,70		0,0240		14,01	
15	Epoksi/CBC	255,17	2,87	0,0256	-6,67	13,21	5,71
30	Epoksi/CBC	247,22	5,89	0,0260	-8,50	13,18	5,92
45	Epoksi/CBC	240,34	8,51	0,0220	8,33	14,03	-0,14
60	Epoksi/CBC	233,50	11,12	0,0233	3,00	11,25	19,70
0	%0,3 GRP Epoksi/CBC	311,77		0,0300		15,89	
15	%0,3 GRP Epoksi/CBC	299,66	3,88	0,0294	2,00	14,64	7,87
30	%0,3 GRP Epoksi/CBC	287,89	7,66	0,0316	-5,20	14,54	8,50
45	%0,3 GRP Epoksi/CBC	283,01	9,22	0,0251	16,37	15,01	5,56
60	%0,3 GRP Epoksi/CBC	279,96	10,20	0,0241	19,57	14,94	5,98

4.2.6. Çekme Testi Sonrası Hasar Analizleri

Epoksi kompozit ve GNP-Epoksi nanokompozitlerin çekme testi sonrası deformasyonlarını gösteren resimler Şekil 4.11.' de verilmiştir. Epoksi kompozitdeki deformasyonun GNP-Epoksi nanokompozit'lere nazaran daha geniş yüzeyde gerçekleştiği görülmektedir. Epoksi kompozitlerde tabaka ayrılmaları GNP-Epoksi nanokompozit'lerden daha fazla olduğu gözlenmektedir. CF kompozitlerde fiber kopmaları aynı çizgi üzerinde olurken BF kompozitlerde geniş bir alanda deformasyonla kopma gözlemlenmiştir.



GNP-Ep Cam Ep Cam

a)



Ep Bazalt GNP-Ep Bazalt

b)



EpCBC GNP-Ep CBC

c)

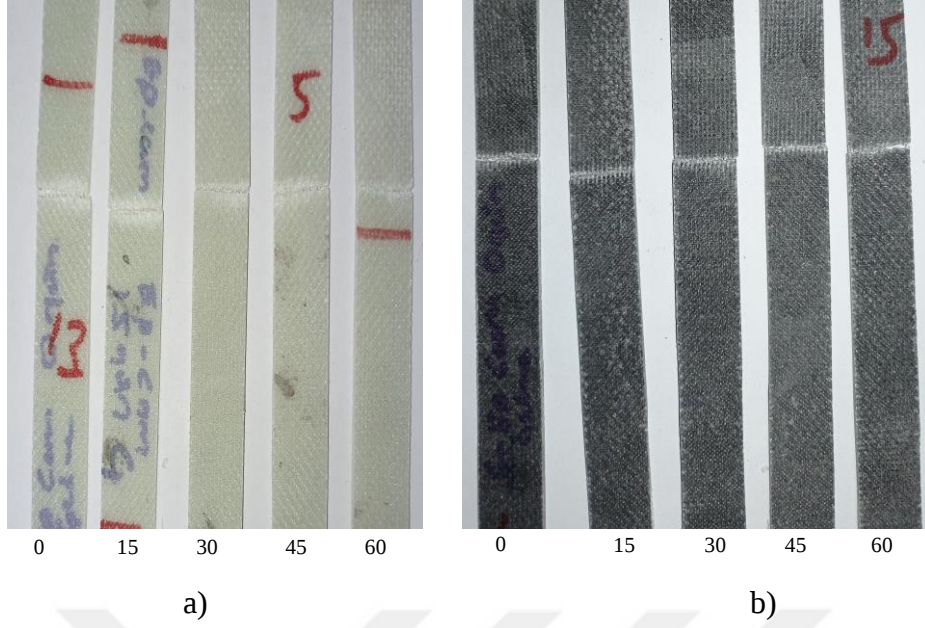


Ep BCB GNP-Ep BCB

d)

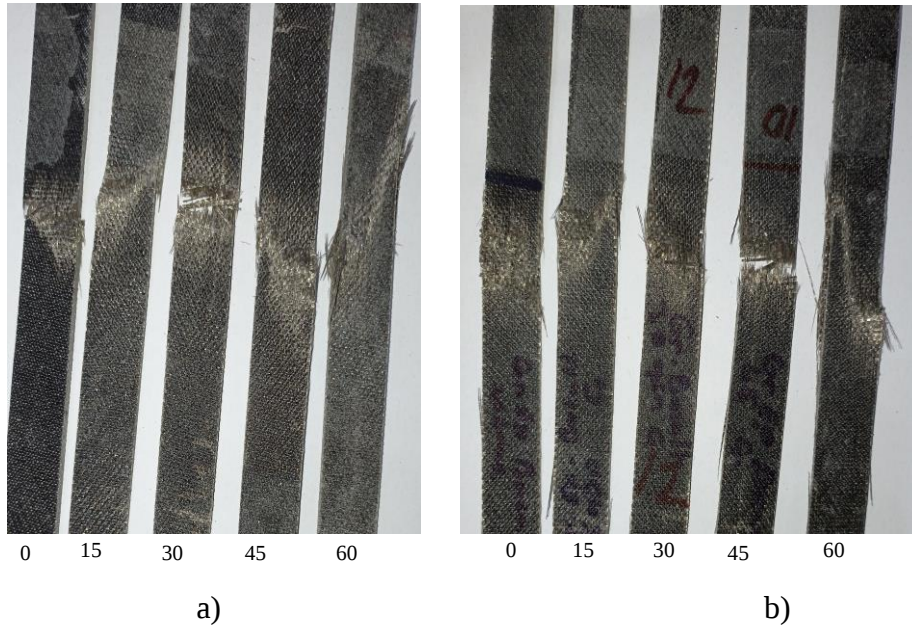
Şekil 4.11. Normal ortamda Epoksi polimerli kompozit ve GNP-Epoksi polimerli nanokompozit malzemelerin çekme testi sonrası deformasyonları **a)** Epoksi/CF ve GNP-Epoksi/CF **b)** Epoksi/BF ve GNP-Epoksi/BF **c)** Epoksi/CBCF ve GNP-Epoksi/CBCF **d)** Epoksi/BCBF ve GNP-Epoksi/BCBF

Yaşlandırma sonrası yapılan çekme testlerinin deformasyonları gözlemlendiğinde tuzlu suda bekletme süresi artıkça numunelerde deformasyon miktarları da artmıştır. EP-CF kompozitler yaşlanma sonrası GNP-EP CF kompozitlerden daha çok deforme olarak kırıldığı tabaka ayrımının daha çok olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 4.12).



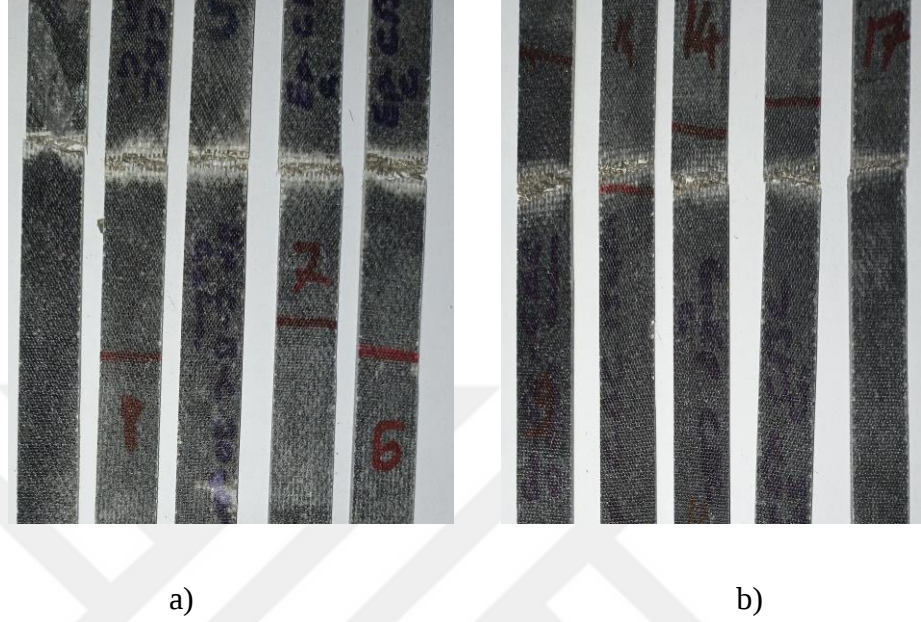
Şekil 4.12. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi sonrası deformasyonları
a)Ep-Cam b)GNP-Ep-Cam

Şekil 4.13 de EP bazalt ve GNP-EP bazalt kompozitlerin çekme testi sonrası deformasyonları görsel olarak verilmiş ve tuzlu suda yaşlanma etkisi bekleme süresi artıkcı matris bozulması sonucu fiber ayrılmaları şeklinde olarak çekme yükü azalmıştır.GNP EP bazalt nanokompozitlerde EP bazalt kompozitlere göre deformasyonun kopma bölgesinde daha az olduğu görülmektedir.



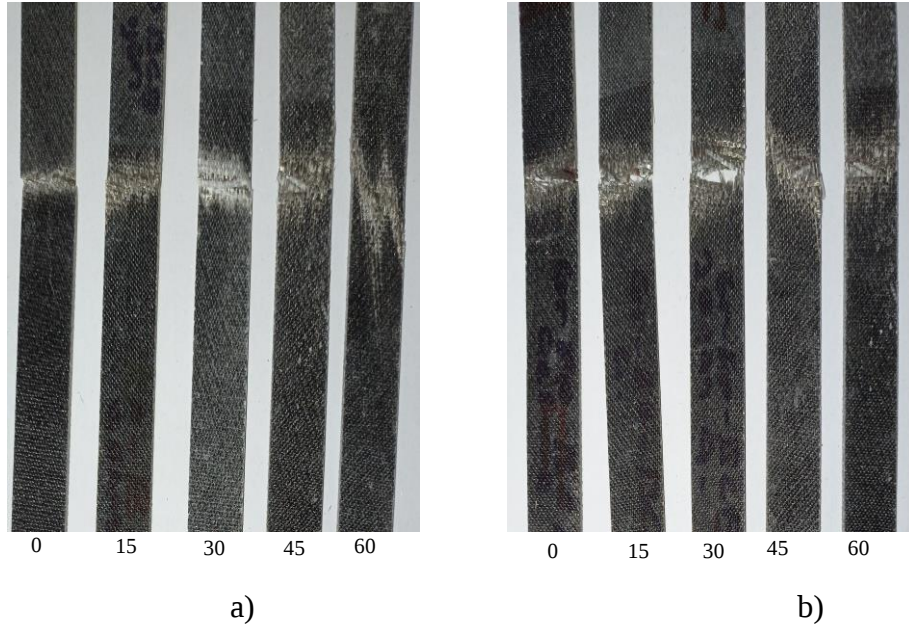
Şekil 4.13. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi sonrası deformasyonları
a)Ep-Bazalt b)GNP-Ep-Bazalt

Şekil 4.14 de EP CBC ve GNP-EP CBC kompozitlerin tuzlu suda yaşlanma etkisi altında deformasyonlarını görsel olarak verilmiştir. Yine CF ve BF kompozitler gibi tuzlu su korozyonu deformasyon miktarını artırmı ve kırılma yüzeyini artırmıştır.



Şekil 4.14(0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi sonrası deformasyonları
a)Ep-CBC b)GNP-Ep-CBC

Şekil 4.15 de EP BCB ve GNP-EP BCB kompozitlerin CBCF kompozitlerine göre daha çok deforme yüzeyle kırıldıkları görülmüştür.



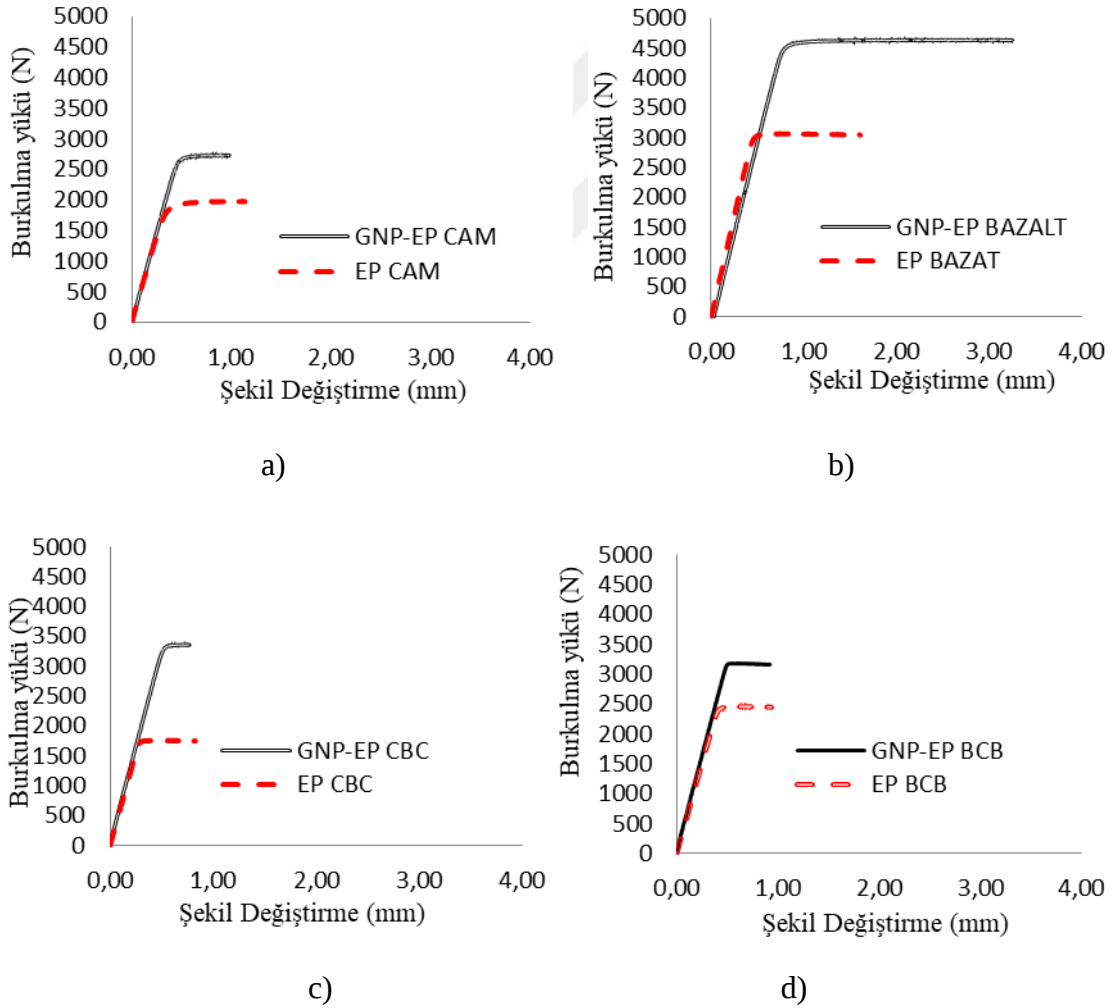
Şekil 4.15. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi sonrası deformasyonları
a)Ep-BCB b)GNP-Ep-BCB

4.3. Kompozitlerin Burkulma Davranışları

Numunelerin burkulma testi kritik maksimum burkulma yükleri deney sonucunda elde edilen burkulma yükü - şekil değiştirme grafiklerinden hesaplanmıştır. Her bir parametre için Southwell Plot metodu kullanılarak burkulma yük-deplasman eğrisinin üzerinde çizilmiş olan teğet çizginin kesişim noktası kritik burkulma yük değeri olarak belirlenmiştir.

4.3.1 Şartlandırılmamış Ortamda Kompozitlerin Burkulma Davranışları

Epoksi içerisine yapılan ağırlıkça %0.3 oranında GNP katkısının bazalt fiber, cam fiber ve cam/bazalt hibrit fiber takviyeli epoksi kompozitlerin burkulma üzerindeki etkilerini belirlemek için burkulma testlerinden elde edilen kritik burkulma yükleri, uzama (kırılma uzaması) ve elastisite modülü değerleri birbiriyle kıyaslanmıştır.



Şekil 4.16. normal şartlarda kompozitlerin burkulma/uzama eğrileri **a)** epoksi CF ve GNP Epoksi CF **b)** epoksi BF ve GNP Epoksi BF **c)** epoksi CBCF ve GNP Epoksi CBCF **d)** epoksi BCBF ve GNP Epoksi BCBF

Şekil 4.16'da Epoksi kompozit ve %0.3 GNP Epoksi nanokompozitlerin burkulma yükü/ %şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. GNP nano takviyesi kompozitlerin tümünde burkulma mukavemeti ve elastisite modüllerinde artışa sebep olmuştur. Kritik burkulma yükü üzerine GNP etkisi Cam elyaf takviyeli kompozit için %37,54, Bazalt elyaf takviyeli kompozit için %45,06, BCB elyaf takviyeli kompozit için %29,72, CBC elyaf takviyeli kompozit için %68,21 olmuştur. GNP katkısı tüm kompozitlerin üzerinde uzama miktarlarının artışına sebep olmuştur; sırasıyla %29,68, %66,63, %20,86 ve %63,26, olmak üzere yüzde artışları gözlemlenmiştir. Kompozitler elastisite modülleri açısından değerlendirildiğinde ise yine artış gözlemlenmiş ve sırasıyla %6,03, %4,26, %5,69 ve %7,10 olarak hesaplanmıştır. Kritik burkulma yükünde en yüksek değer 3644 N ile %0.3 GNP Epoksi Bazalt elyaf takviyeli kompozitte en düşük değer ise 1601 N ile epoksi Cam elyaf takviyeli kompozitte görülmüştür. GNP etkisi bakımından incelendiğinde ise en fazla artışı (%68,22) CBC elyaf takviyeli hibrit kompozitte yaptığı kaydedilmiştir.(Çizelge 4.6.)

Çizelge 4.6. %0.3 GNP nin kompozitlerde burkulma özellikleri üzerine etkileri

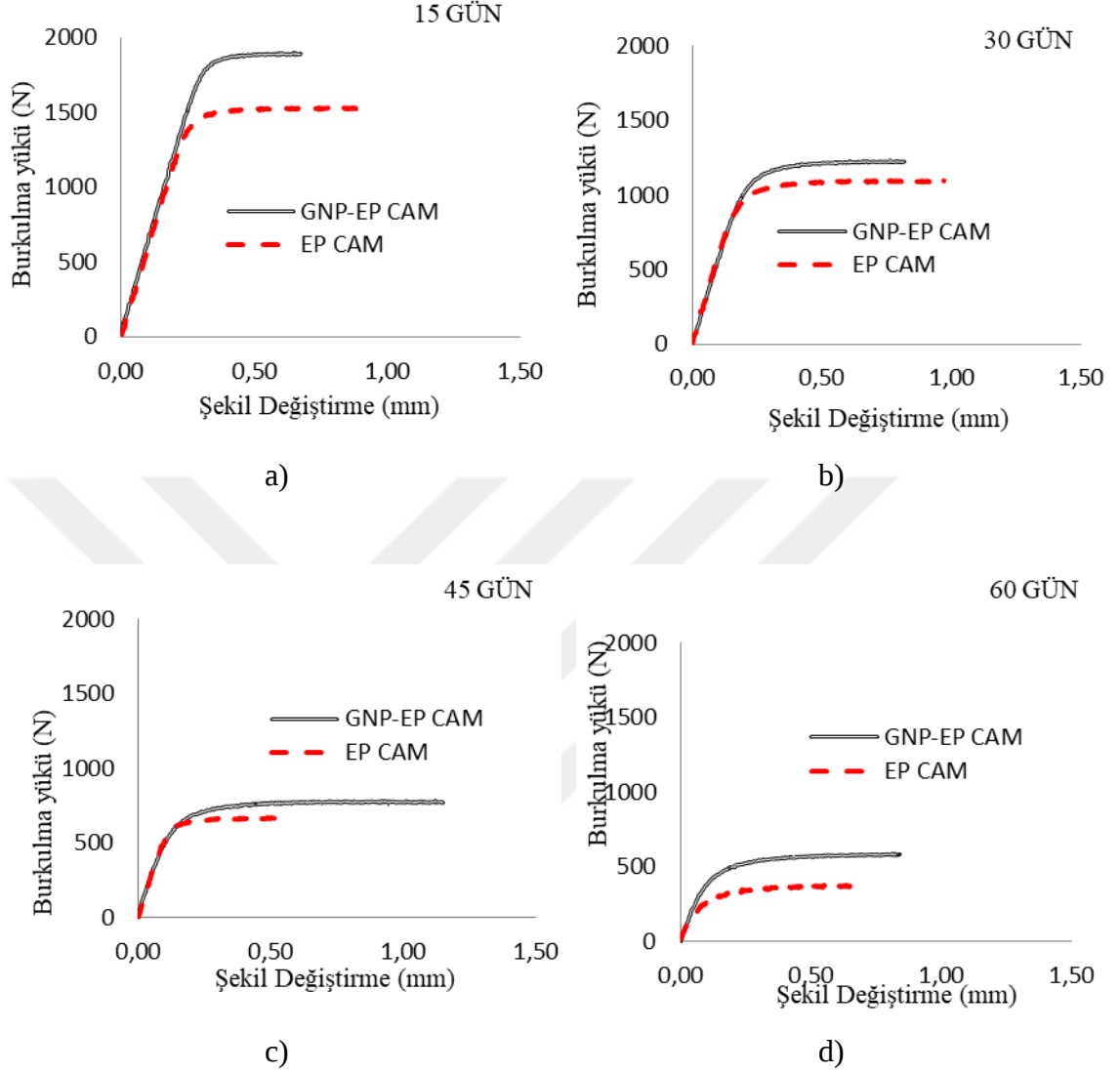
Malzeme	Kritik Burkulma Yükü (N)	Artış (%)	Şekil Değiştirme (mm)	Artış (%)	Elastisite Modülü (Gpa)	Artış (%)
Epoksi/C	1601		0,2891		16,25	
%0,3 GRP Epoksi/C	2202	37,54	0,3749	29,68	17,23	6,03
Epoksi/B	2512		0,3704		17,61	
%0,3 GRP Epoksi/B	3644	45,06	0,6172	66,63	18,36	4,26
Epoksi/BCB	2160		0,3571		15,83	
%0,3 GRP Epoksi/BCB	2802	29,72	0,4316	20,86	16,73	5,69
Epoksi/CBC	1435		0,2229		16,54	
%0,3 GRP Epoksi/CBC	2414	68,22	0,3639	63,26	17,71	7,10

4.3.2. Yaşlandırılmış Epoksi/CF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CF

Nanokompozitlerin Burkulma Testleri

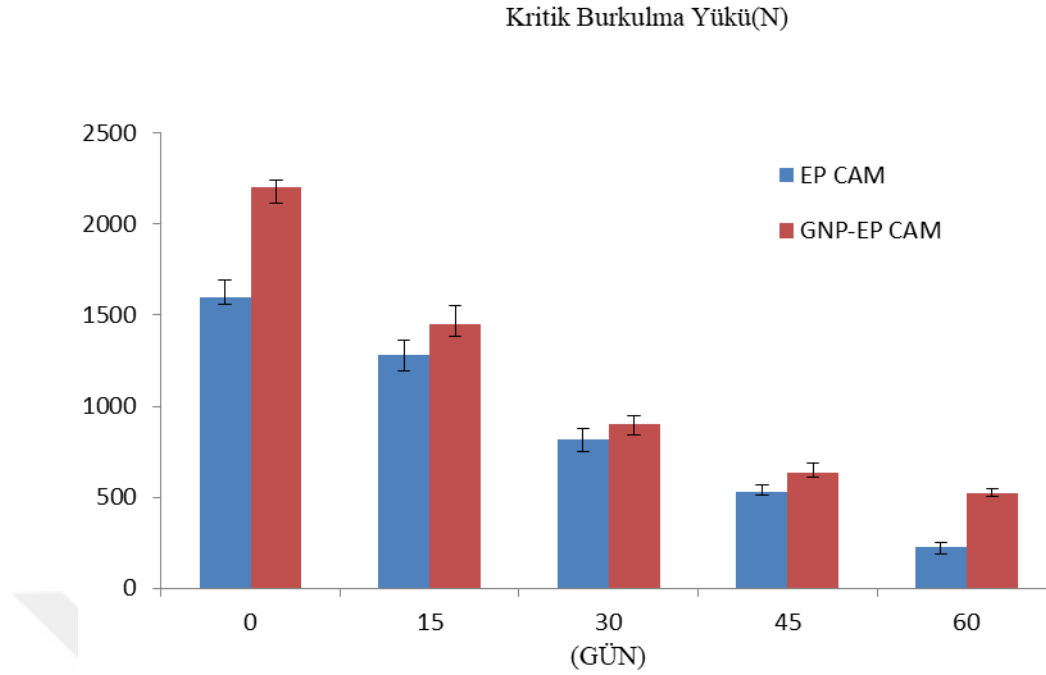
Epoksi/CF kompozitler ve GNP-Epoksi/ CF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede

bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda burkulma testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen burkulma yükü/uzama eğrileri Şekil 4.17.`de verilmiştir.



Şekil 4.17. Epoksi CAM fiber ve %0.3 GNP Epoksi CAM fiber nano kompozitlerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde burkulmayükü /şekil değiştirme eğrileri **a)**15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün

Yaşlandırma etkisinde kritik burkulma değerlerindeki düşüş Şekil4.18`de sutun grafiklerinde verilmiştir. Epoksi/CF kompozitlerde kritik burkulma yükleri 2 ay süreci içinde 1601 N`dan 225 N`a gerileyerek toplam % 85,95 azalma elastisite modüllerinde ise % 25,54 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ CF nanokompozitlerin kritik burkulma yükleri %76,43 elastise modüllerinde ise %19,62 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ CF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/CF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, burkulma elastisite modüllerinde azalmanın % 5,92 daha az olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.7).



Şekil 4.18. Tuzlu su yaşlandırmasının Epoksi/CF kompozit ve GNP-Epoksi/CF nanokompozit malzemelerin kritik burkulma yükleri

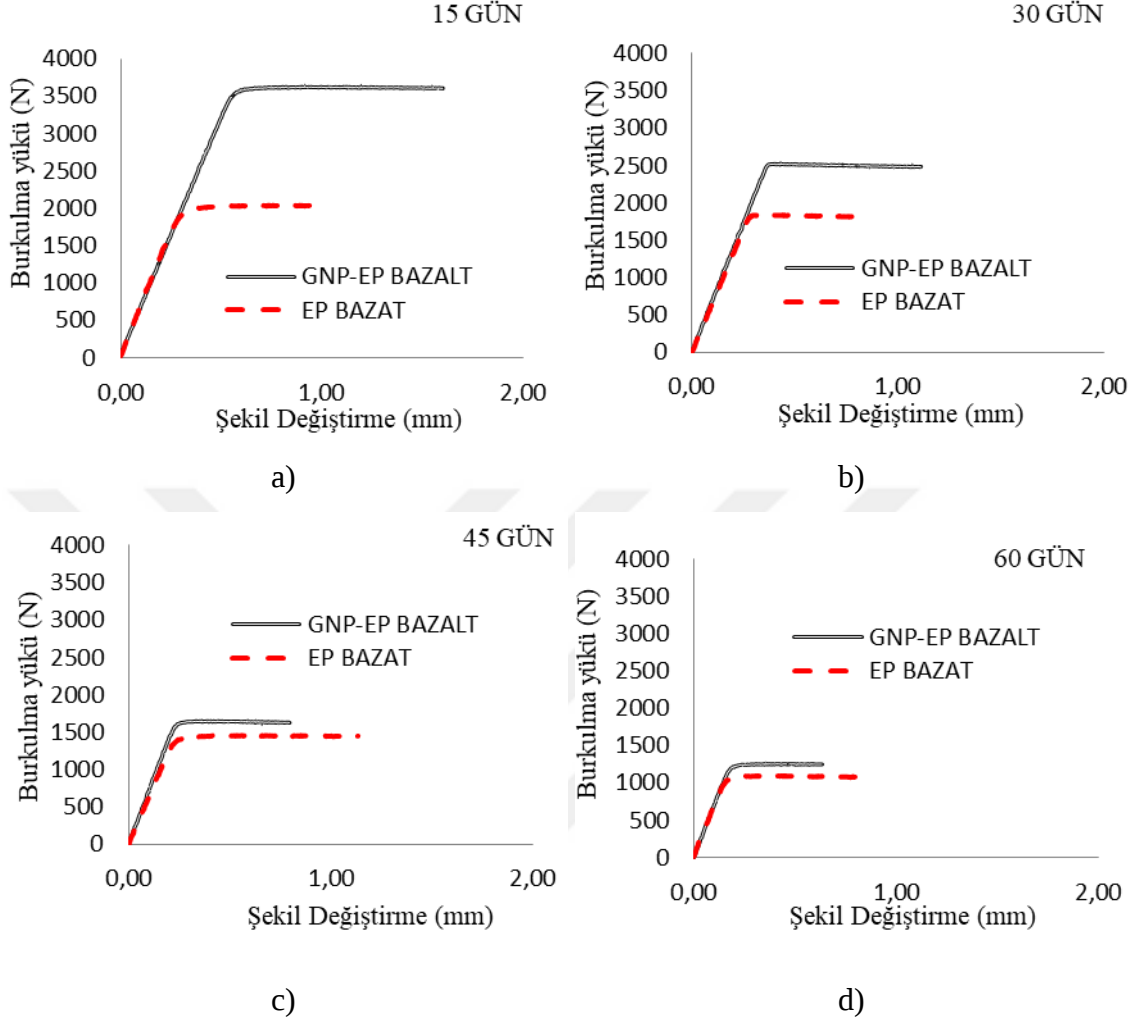
Çizelge 4.7. Epoksi CAM fiber ve %0.3 GNP Epoksi CAM fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırmanın burkulma özellikleri üzerindeki etkileri

Süre (Gün)	Malzeme	Kritik Burkulma Yüğü (N)	Azalış (%)	Şekil değıştirme (mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (Gpa)	Azalış (%)
0	Epoksi/C	1601		0,2891		16,25	
15	Epoksi/C	1284	19,80	0,2258	21,90	14,79	9,01
30	Epoksi/C	819	48,84	0,1445	50,02	14,68	9,68
45	Epoksi/C	532	66,77	0,1051	63,65	13,40	17,54
60	Epoksi/C	225	85,95	0,0737	74,51	12,10	25,54
0	%0,3 GRP Epoksi/C	2202		0,3749		17,23	
15	%0,3 GRP Epoksi/C	1453	34,01	0,2354	37,21	16,73	2,91
30	%0,3 GRP Epoksi/C	900	59,13	0,1667	55,53	14,52	15,73
45	%0,3 GRP Epoksi/C	635	71,16	0,1601	57,30	14,01	18,69
60	%0,3 GRP Epoksi/C	519	76,43	0,1520	59,46	13,85	19,62

4.3.3. Yaşlandırılmış Epoksi/BF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BF Nanokompozitlerin Burkulma Testleri

Epoksi/BF kompozitler ve GNP-Epoksi/ BF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede

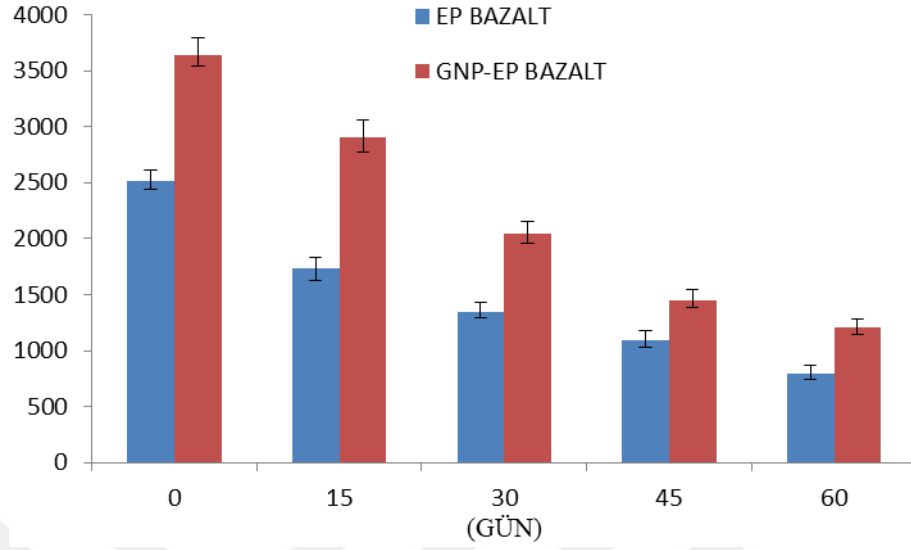
bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda burkulma testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen burkulma yükü /uzama eğrileri Şekil 4.19.`da verilmiştir.



Şekil 4.19. Epoksi BAZALT fiber ve %0.3 GNP Epoksi BAZALT fiber nano kompozitlerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde burkulmayükü /şekil değiştirme eğrileri **a)**15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün

Yaşlandırma etkisinde kritik burkulma değerlerindeki düşüş Şekil4.20`de sütun grafiklerinde verilmiştir.. Epoksi/BF kompozitlerde kritik burkulma yükleri 2 ay süreci içinde 2512 N`dan 798 N`a gerileyerek toplam % 68,23 azalma elastisite modüllerinde ise % 16,52 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ BF nanokompozitlerin kritik burkulma yükleri %66,99 elastise modüllerinde ise %12,80 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ BF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/BF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, burkulma elastisite modüllerindeki azalmanın % 3,72 daha az olduğu gözlemlenmiştir.(Çizelge 4.8)

Kritik Burkulma Yüğü(N)



Şekil 4.20. Tuzlu su yaşlandırmasının Epoksi/BF kompozit ve GNP-Epoksi/BF nanokompozit malzemelerin kritik burkulma yükleri

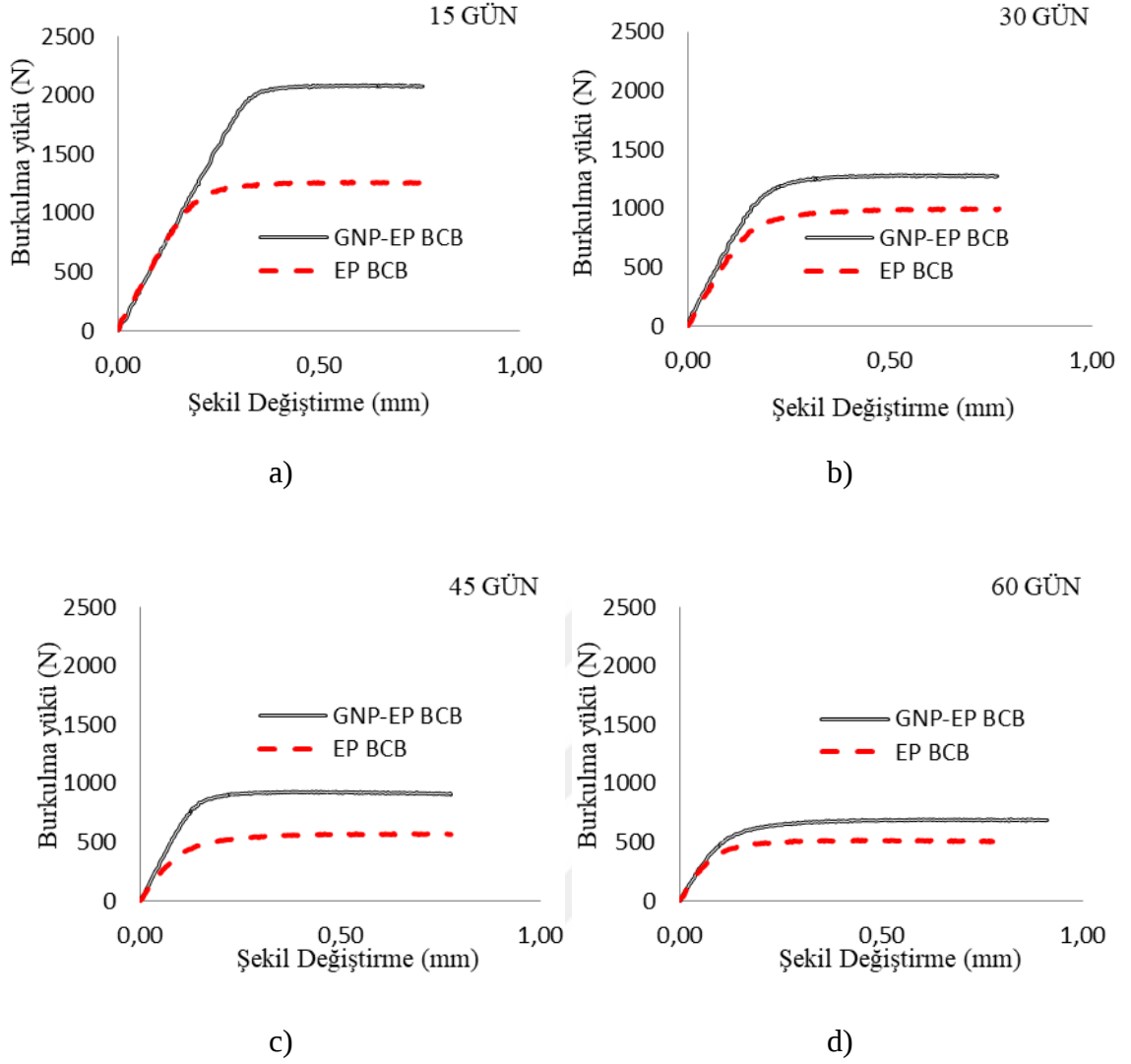
Çizelge 4.8. Epoksi BAZALT fiber ve %0.3 GNP Epoksi BAZALT fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırmanın burkulma özellikleri üzerindeki etkileri

Süre (Gün)	Malzeme	Kritik Burkulma Yüğü (N)	Azalış (%)	Şekil Değıştirme (mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (Gpa)	Azalış (%)
0	Epoksi/B	2512		0,3704		17,61	
15	Epoksi/B	1738	30,81	0,2594	29,97	15,57	11,60
30	Epoksi/B	1346	46,42	0,2056	44,49	15,05	14,53
45	Epoksi/B	1091	56,57	0,1729	53,32	14,93	15,21
60	Epoksi/B	798	68,23	0,1161	68,66	14,70	16,52
0	%0,3 GRP Epoksi/B	3644		0,6172		18,36	
15	%0,3 GRP Epoksi/B	2910	20,14	0,449	27,25	16,76	8,73
30	%0,3 GRP Epoksi/B	2044	43,91	0,2955	52,12	16,60	9,58
45	%0,3 GRP Epoksi/B	1450	60,21	0,1826	70,41	16,20	11,76
60	%0,3 GRP Epoksi/B	1203	66,99	0,1379	77,66	16,01	12,80

4.3.3. Yaşlandırılmış Epoksi/BCBF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/BCBF

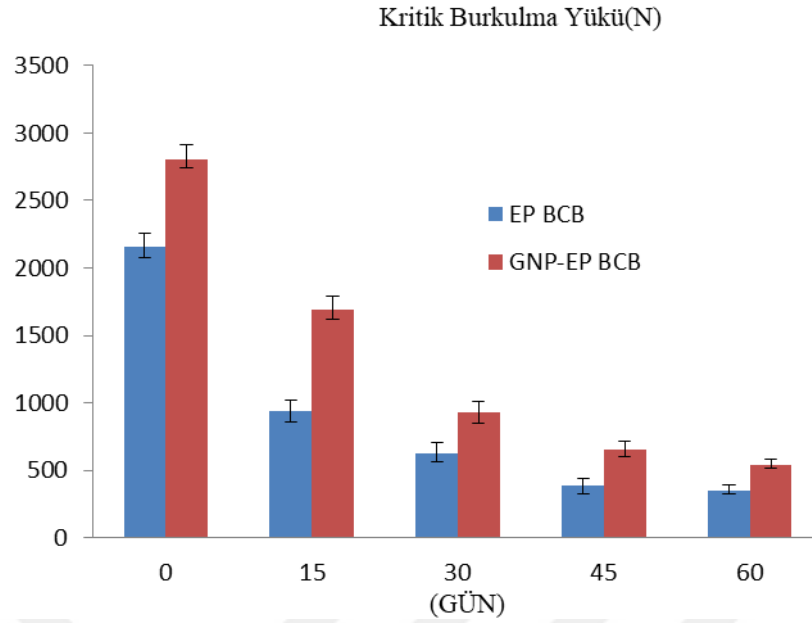
Nanokompozitlerin Burkulma Testleri

Epoksi/BCBF kompozitler ve GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda burkulma testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen burkulma yükü/uzama eğrileri Şekil 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB fiber nano kompozitlerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde burkulmayükü /şekil değişirme eğrileri **a)**15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün

Yaşlandırma etkisinde kritik burkulma değerlerindeki düşüş Şekil4.22`de sütun grafiklerinde verilmiştir. Epoksi/BCBF kompozitlerde kritik burkulma yükleri 2 ay süreci içinde 2160 N`dan 351 N`a gerileyerek toplam % 83,75 azalma elastisite modüllerinde ise % 10,47 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozitlerin burkulma yükleri %80,87 elastise modüllerinde ise %7,67 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/ BCBF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/BCBF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, burkulma elastisite modüllerindeki azalmanın % 2,80 daha az olduğu gözlemlenmiştir.(Çizelge 4.9)



Şekil 4.22. Tuzlu su yaşlandırmasının Epoksi/BCBF kompozit ve GNP-Epoksi/BCBF nanokompozit malzemelerin kritik burkulma yükleri

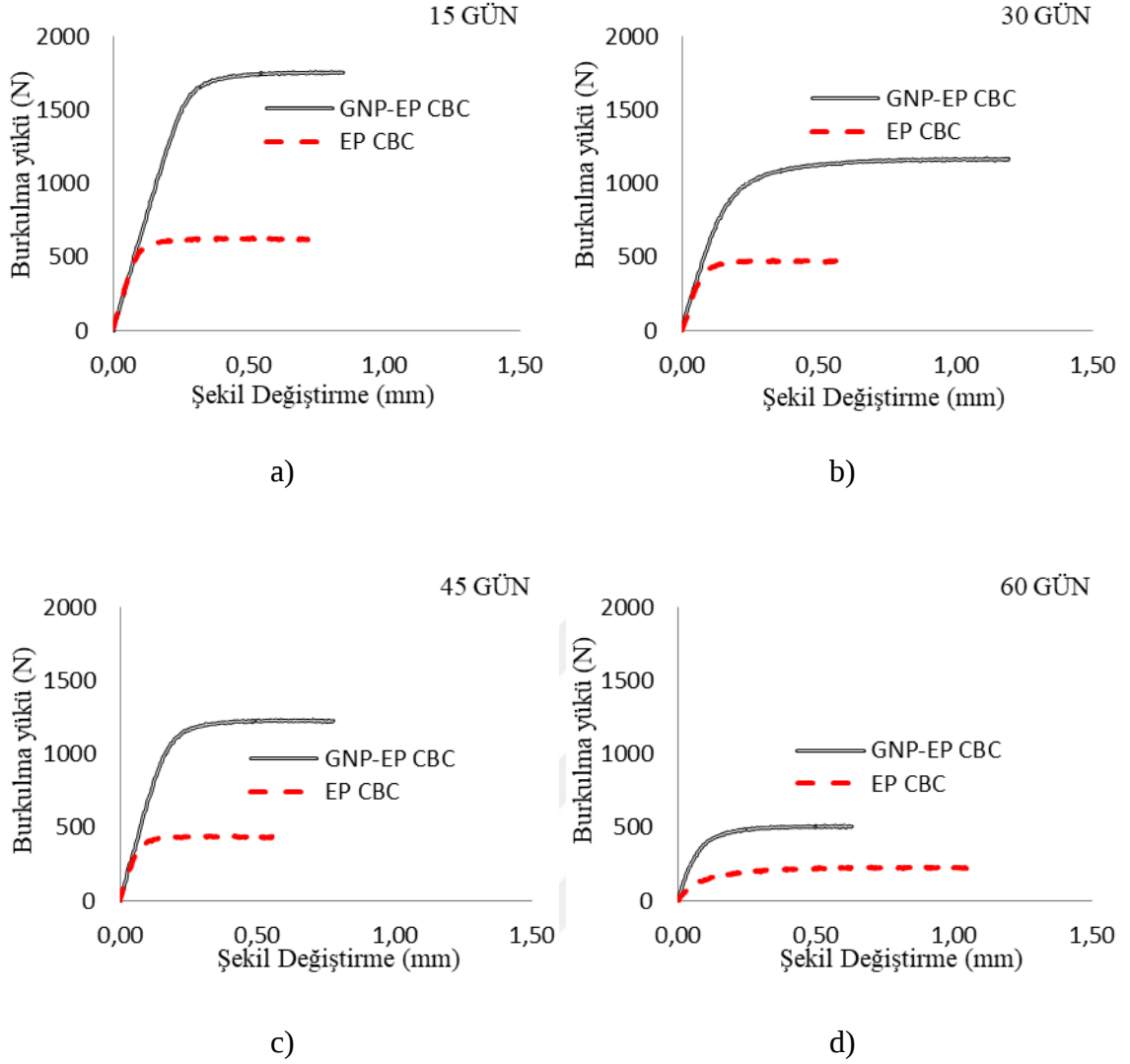
Çizelge 4.9. Epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırmanın burkulma özellikleri üzerindeki etkileri

Süre (Gün)	Malzeme	Kritik Burkulma Yüğü (N)	Azalış (%)	Şekil değiştirme (mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (Gpa)	Azalış (%)
0	Epoksi/BCB	2160		0,3571		15,83	
15	Epoksi/BCB	939	56,53	0,151	57,71	15,72	0,71
30	Epoksi/BCB	624	71,11	0,1094	69,36	15,05	4,94
45	Epoksi/BCB	390	81,94	0,0953	73,31	14,73	6,96
60	Epoksi/BCB	351	83,75	0,0754	78,89	14,18	10,47
0	%0,3 GRP Epoksi/BCB	2802		0,4316		16,73	
15	%0,3 GRP Epoksi/BCB	1696	39,47	0,2704	37,35	16,01	4,32
30	%0,3 GRP Epoksi/BCB	934	66,67	0,1465	66,06	15,82	5,46
45	%0,3 GRP Epoksi/BCB	653	76,70	0,1012	76,55	15,21	9,10
60	%0,3 GRP Epoksi/BCB	536	80,87	0,0762	82,34	15,45	7,67

4.3.4. Yaşlandırılmış Epoksi/CBCF kompozitlerin ve GNP-Epoksi/CBCF

Nanokompozitlerin Burkulma Testleri

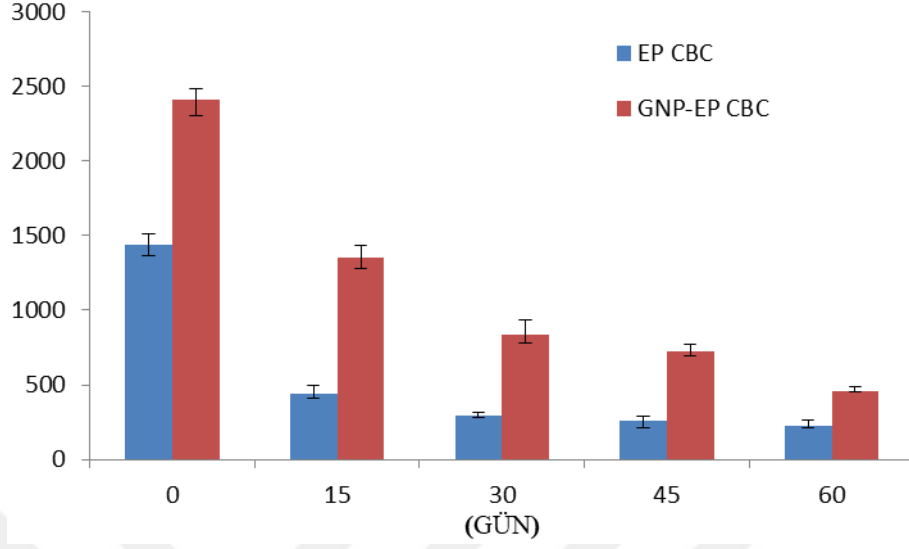
Epoksi/CBCF kompozitler ve GNP-Epoksi/ CBCF nanokompozit numuneler %6 konsantrasyonunda NaCl çözeltisinde 15 günlük periyotlarla toplam 2 ay sürede bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırma sonunda burkulma testine tabi tutulmuştur. Test sonunda elde edilen burkulma yükü/uzama eğrileri şekil 4.23.'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Epoksi BCB fiber ve %0.3 GNP Epoksi BCB fiber nano kompozitlerin %6 NaCl içinde yaşlandırma etkisinde burkulmayükü /şekil değiştirme eğrileri **a)**15 gün **b)** 30 gün **c)** 45 gün **d)** 60 gün

Yaşlandırma etkisinde kritik burkulma değerlerindeki düşüş Şekil4.24'de sütun grafiklerinde verilmiştir.. Epoksi/CBCF kompozitlerde kritik burkulma yükleri 2 ay süreci içinde 1435 N'dan 226 N'a gerileyerek toplam % 84,25 azalma elastisite modüllerinde ise % 20,72 oranında azalma göstermiştir. GNP-Epoksi/CBCF nanokompozitlerin kritik burkulma yükleri %80,90 elastise modüllerinde ise %14,11 oranında azalma gerçekleşmiştir. GNP-Epoksi/CBCF nanokompozitlerin yaşlandırmadan sonra Epoksi/CBCF kompozitlere göre daha az etkilendikleri, burkulma elastisite modüllerindei azalmanın % 6,61 daha az olduğu gözlemlenmiştir.(Çizelge 4.10)

Kritik Burkulma Yüğü(N)



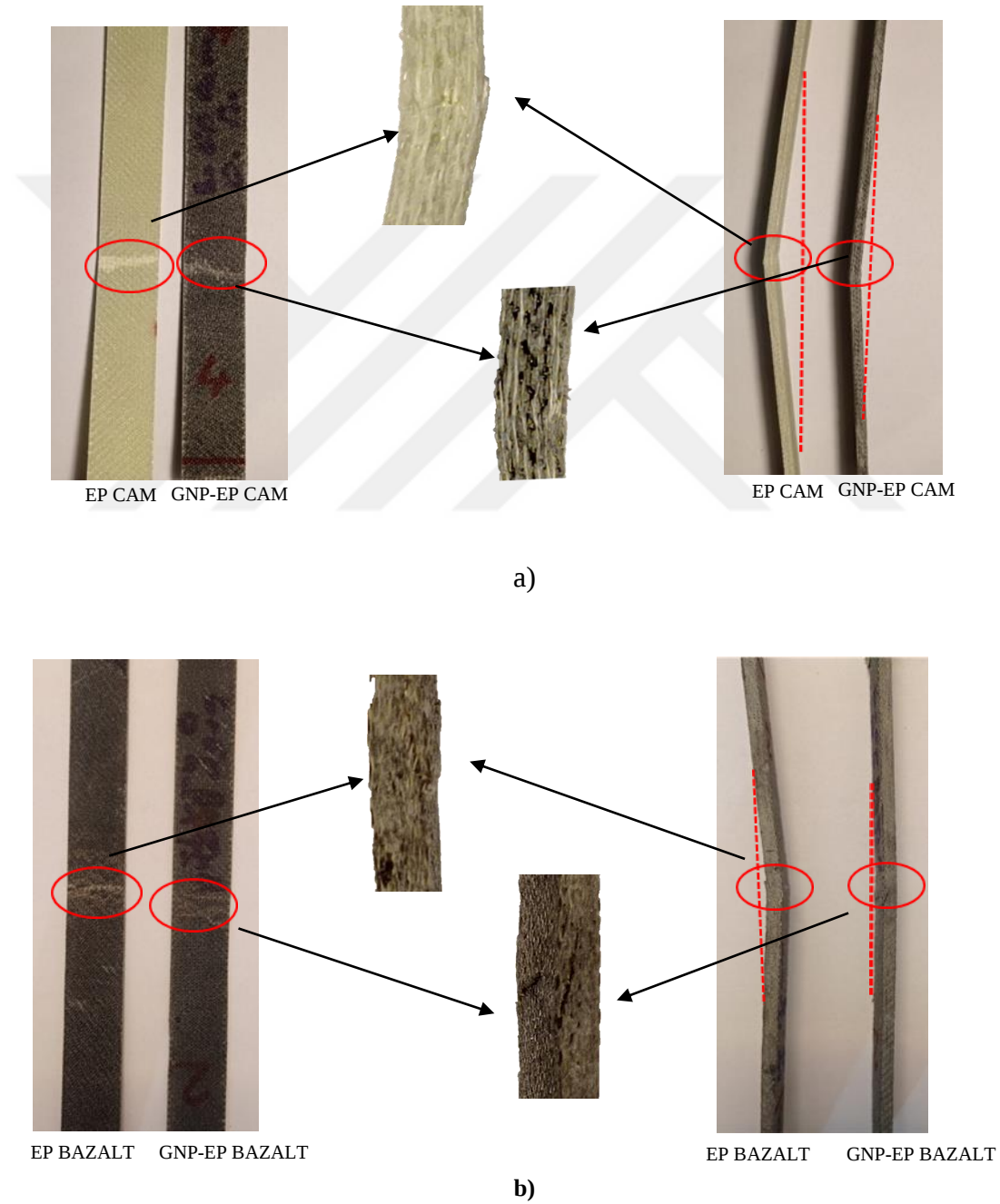
Şekil 4.24. Tuzlu su yaşlandırmasının Epoksi/CBCF kompozit ve GNP-Epoksi/CBCF nanokompozit malzemelerin kritik burkulma yükleri

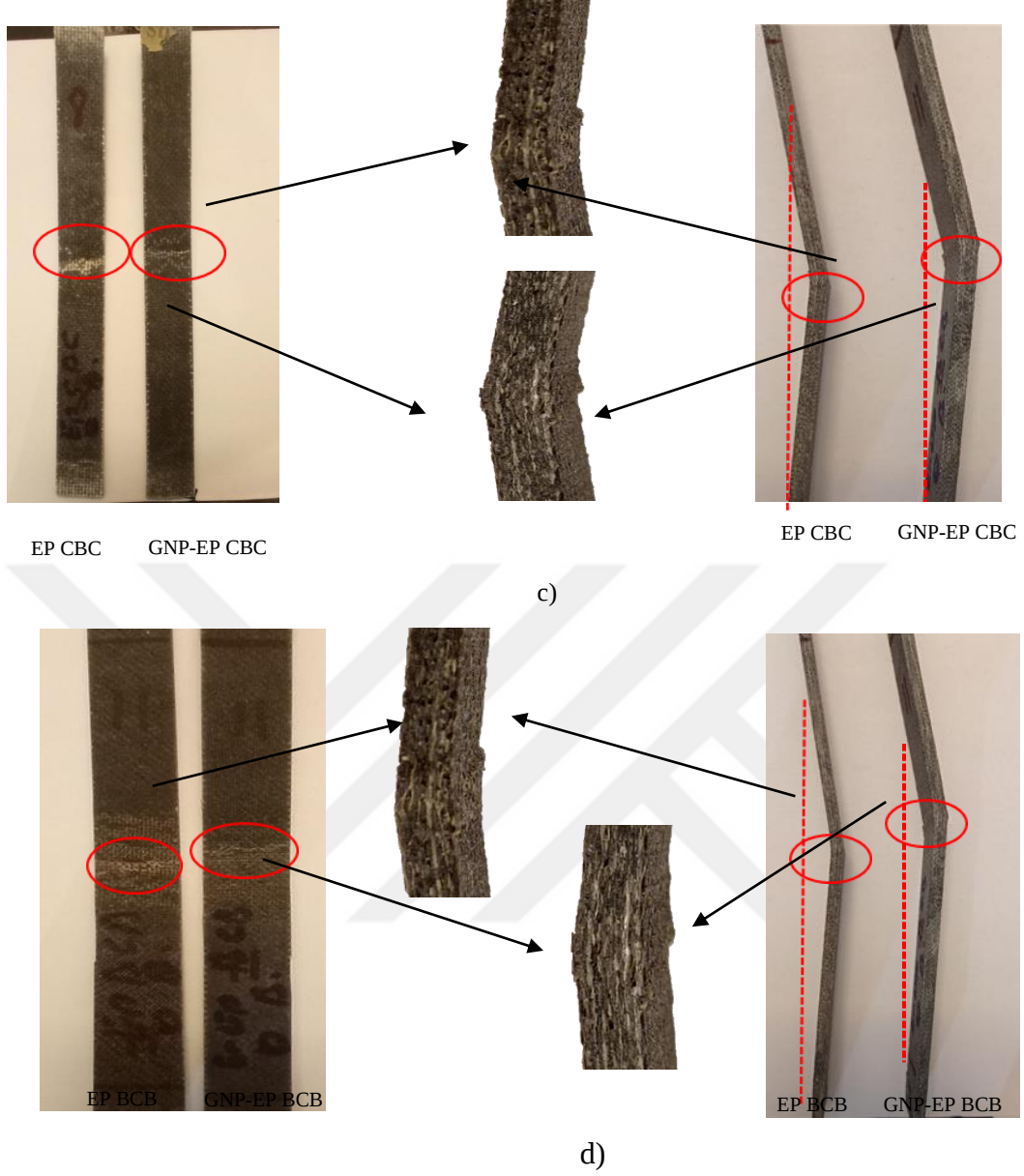
Çizelge 4.10. Epoksi CBC fiber ve %0.3 GNP Epoksi CBC fiber malzemelerin tuzlu suda yaşlandırmanın burkulma özellikleri üzerindeki etkileri

Süre (Gün)	Malzeme	Kritik Burkulma Yüğü (N)	Azalış (%)	Şekil değıştirme (mm)	Azalış (%)	Elastisite Modülü (Gpa)	Azalış (%)
0	Epoksi/CBC	1435		0,2229		16,54	
15	Epoksi/CBC	443	69,13	0,0695	68,82	16,03	3,06
30	Epoksi/CBC	291	79,72	0,05	77,57	15,67	5,26
45	Epoksi/CBC	260	81,88	0,0431	80,66	15,11	8,62
60	Epoksi/CBC	226	84,25	0,042	81,16	13,11	20,72
0	%0,3 GRP Epoksi/CBC	2414		0,3639		17,71	
15	%0,3 GRP Epoksi/CBC	1349	44,12	0,2195	39,68	16,74	5,48
30	%0,3 GRP Epoksi/CBC	834	65,45	0,1559	57,16	16,23	8,35
45	%0,3 GRP Epoksi/CBC	723	70,05	0,1095	69,91	15,92	10,10
60	%0,3 GRP Epoksi/CBC	461	80,90	0,1866	48,72	15,21	14,11

4.3.5. Burkulma Testi Sonrası Hasar Analizleri

Epoksi kompozit ve GNP-Epoksi nanokompozitlerin burkulma testi sonrası deformasyonlarını gösteren resimler Şekil.25`de verilmiştir. Burkulma testi hasarların burkulmanın iç yüzeyinde kalan bölgesinde basma yükü altında matris sıkışması ile deforme olduğu, dış yüzeyinde ise çekme yükü ile matris-fiber arayüz bozunması ve delaminasyon olduğu gözlemlenmiştir.

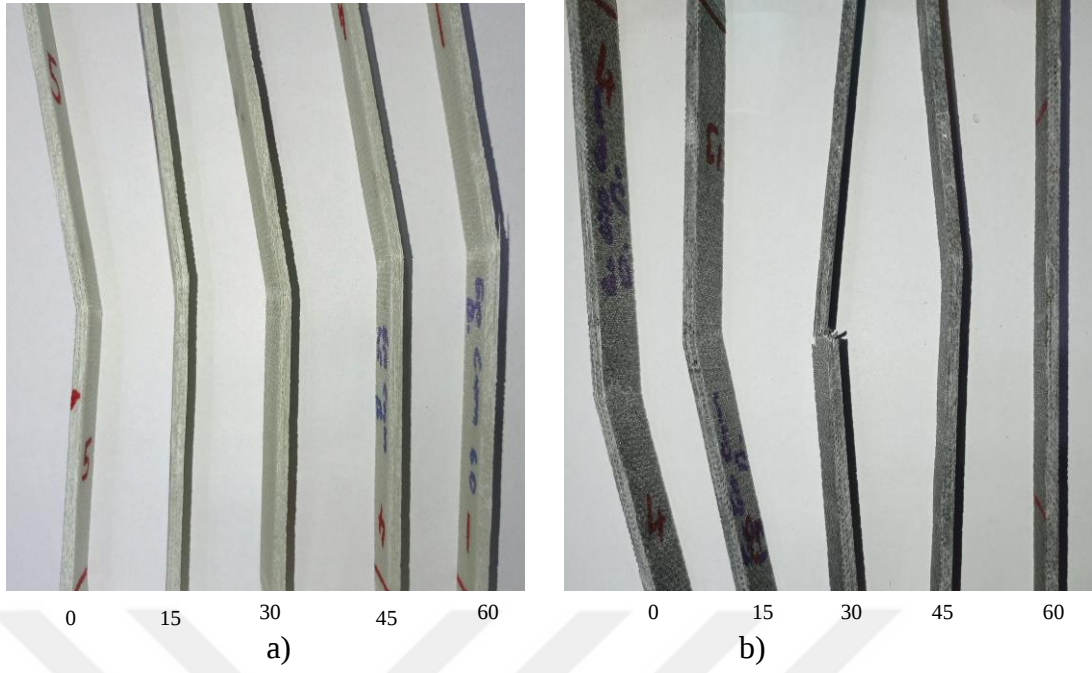




Şekil 4.25. Normal ortamda Epoksi ve GNP-Ep polimerli nanokompozitlerin burkulma testi sonrası oluşan deformasyonları **a) CF b) BF c) CBCF d) BCBF**

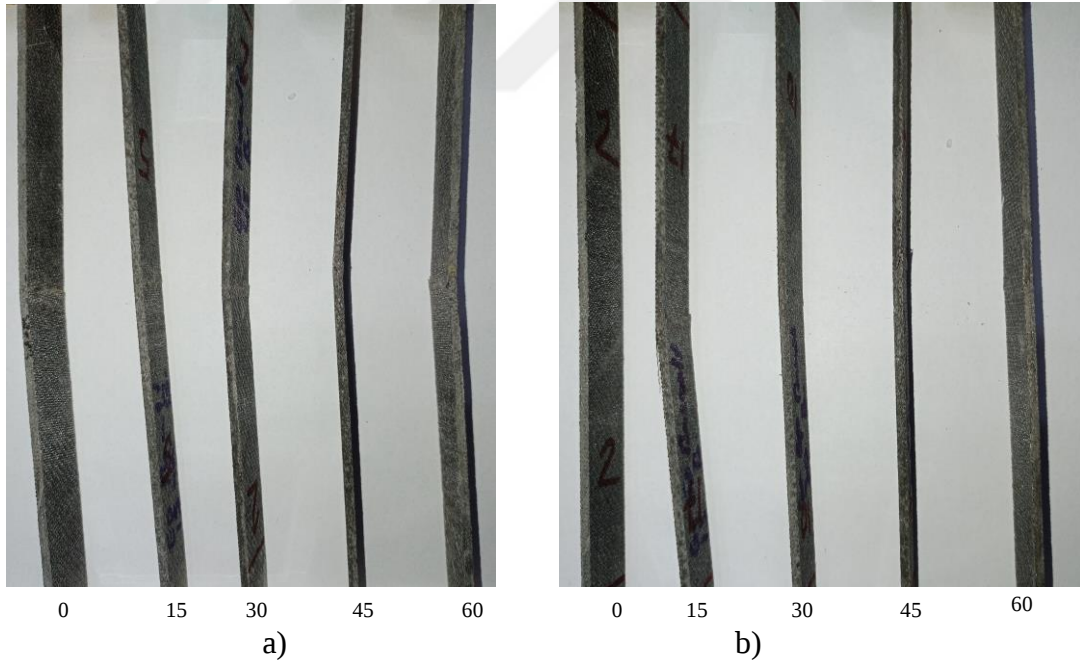
Kompozitlerin yaşlandırma sonrası yapılan burkulma testlerinin deformasyonları gözlemlendiğinde tuzlu suda bekletme süresi artıkça numunelerin matrislerinde bozulma meydana geldiği ve matris-fiber arayüzlerinde ayrışma olduğundan kritik burkulma yükünde azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.26'da EP CF ve GNP-EP CF kompozitlerin yaşlandırma sonrası yapılan burkulma testlerinin deformasyonları verilmiştir.



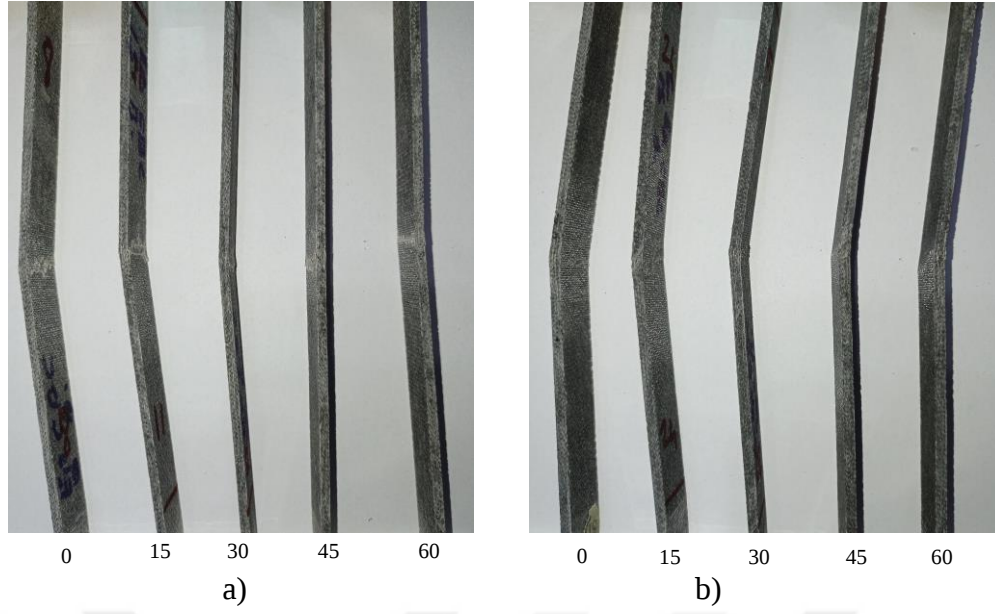
Şekil 4.26. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin burkulma testi sonrası deformasyonları
a)Ep-Cam b)GNP-Ep-Cam

Şekil 4.27'de EP BF ve GNP-EP BF kompozitlerin yaşlandırma sonrası yapılan burkulma testlerinin deformasyonları verilmiştir.



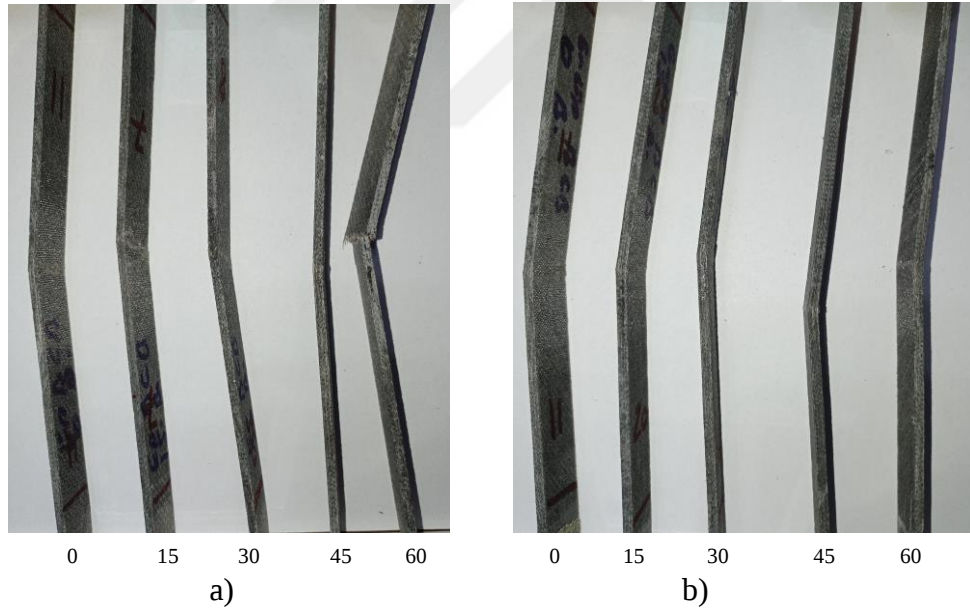
Şekil 4.27. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin burkulma testi sonrası deformasyonları
a)Ep-Bazalt b)GNP-Ep-Bazalt

Şekil 4.8'de EP CBCF ve GNP-EP CBCF kompozitlerin yaşlandırma sonrası yapılan burkulma testlerinin deformasyonları verilmiştir.



Şekil 4.28. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin burkulma testi sonrası deformasyonları
a)Ep-CBC b)GNP-Ep-CBC

Şekil 4.29'da EP BCBF ve GNP-EP BCBF kompozitlerin yaşlandırma sonrası yapılan burkulma testlerinin deformasyonları verilmiştir.

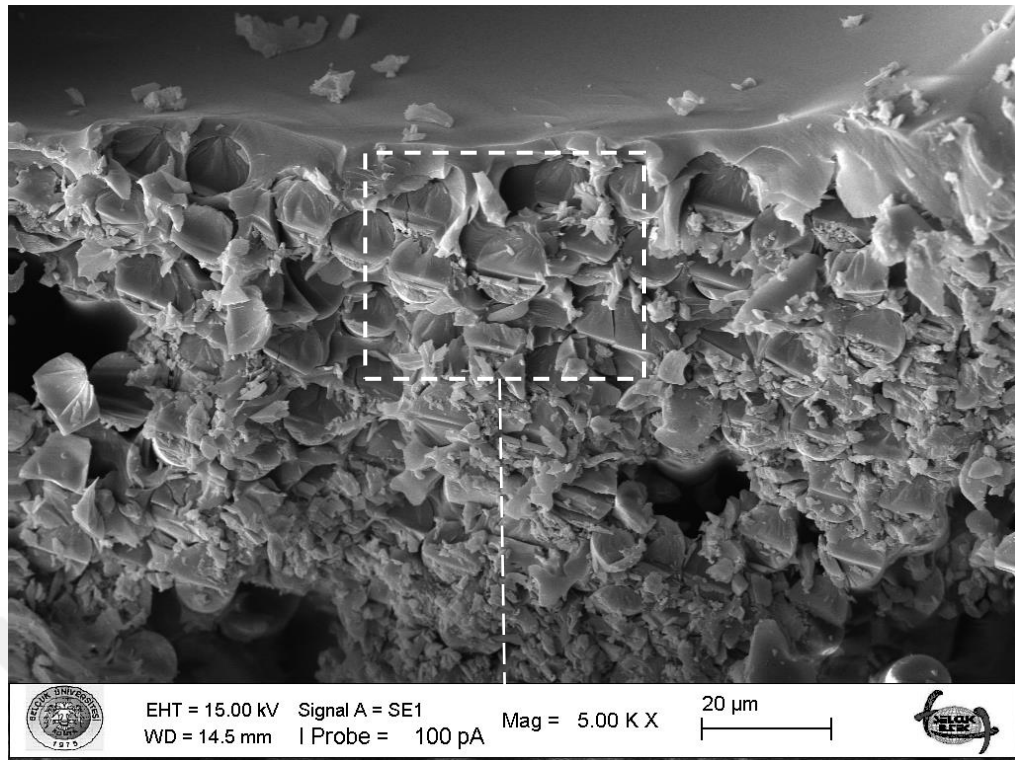


Şekil 4.29. (0,15,30,45,60) gün yaşlandırılmış numunelerin burkulma testi sonrası deformasyonları
a)Ep-BCB b)GNP-Ep-BCB

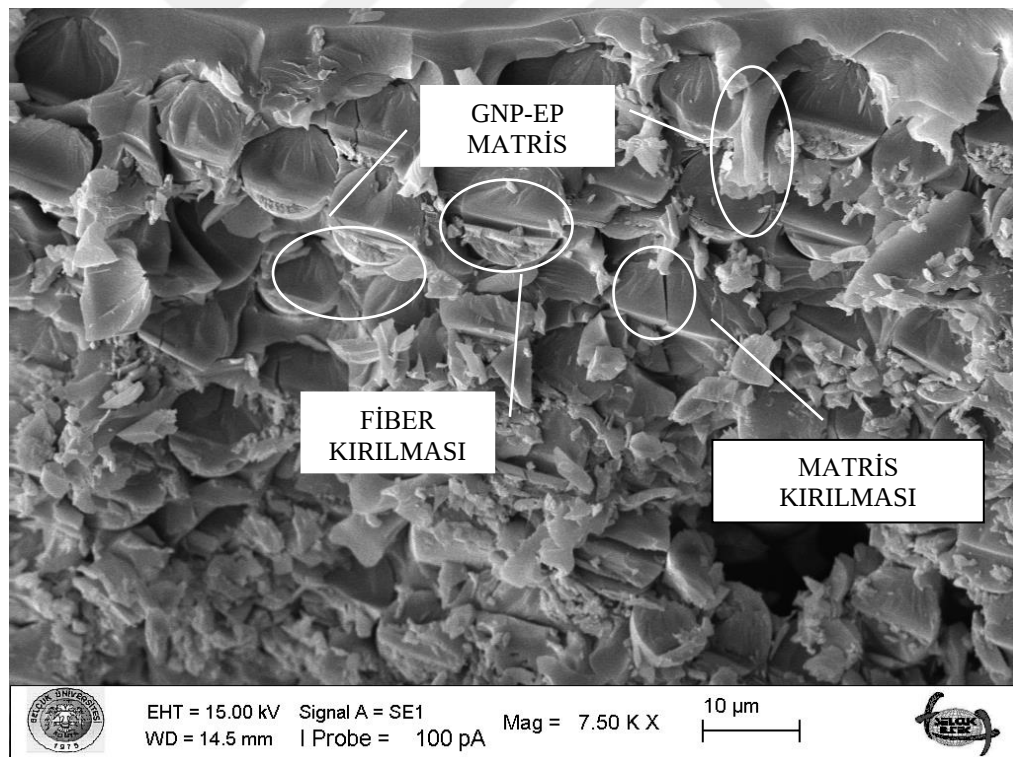
Sem görüntüsü alınarak bakılan GNP katkısının korozyona etkisini görmek amacıyla normal şartlarda ve 2 ay tuzlu suda bekletilen GNP katkılı numunelerin burkulma testi sonrası kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Burkulma esnasında numunenin kesit alanında farklı iki kırılma şeklinin olduğu sem görüntülerinde de gözlemlenmiştir. Burkulmanın iç yüzeyi basma etkisinde dış yüzeyi ise çekme etkisinde kırılma yapmıştır.

Şekil 4.30 a) ve b)`de şartlandırılmamış ortamda Gnp-Ep CF nanokompozitin dış yüzeyinde burkulmadan kaynaklanan çekme kuvveti etkisinde kırılan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Kırılmanın fiberlerde düz bir kesit şeklinde kopması şeklinde olmuş matris fiber ayrılması fazla gözlemlenmemiştir. Şekil 4.31. c) ve d) ise aynı nanokompozitin iç yüzeyinde basma etkisi altında kalan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Burada matrisin parçalı kırılması gözlemlenmiş fiberler ise düz bir kesit şeklinde değilde açılı yada parçalı kırılmıştır. Parçalanan matris yüzünden fiberler açığa çıkmış oldukları görülmektedir.

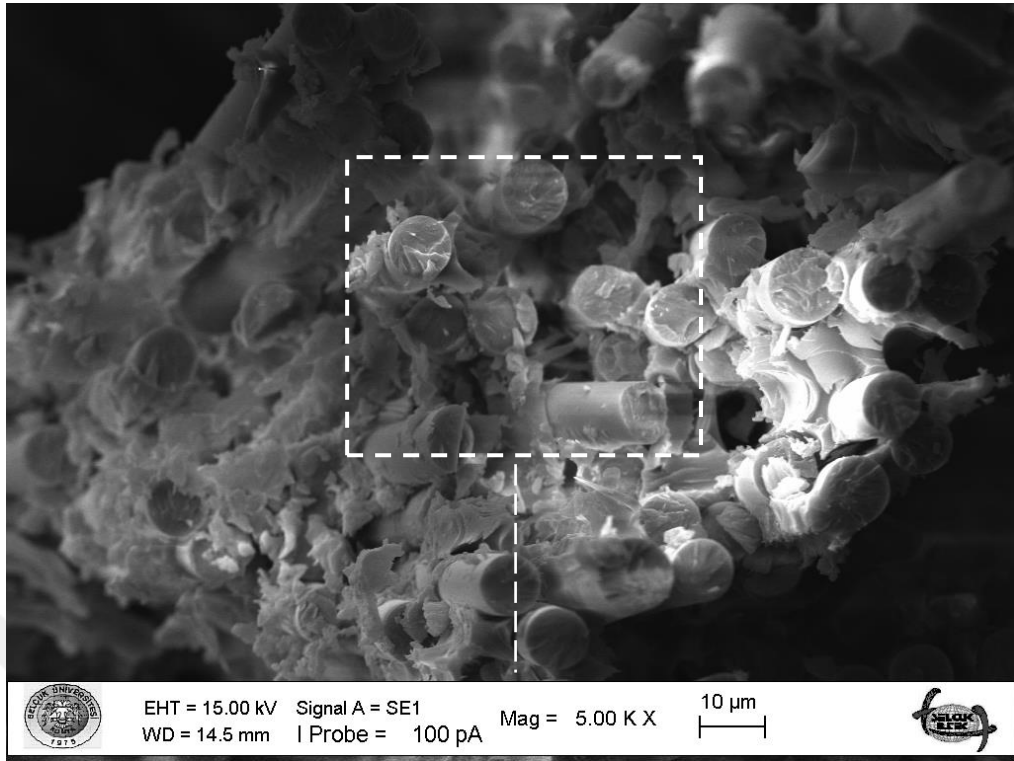
GNP katkısının Matris fiber arayüzünde iyi bir birleşme sağladığı, çekme kuvveti altında fiberlerin matristen ayrılmadan kopmasının bundan dolayı olduğu düşünülmüştür.



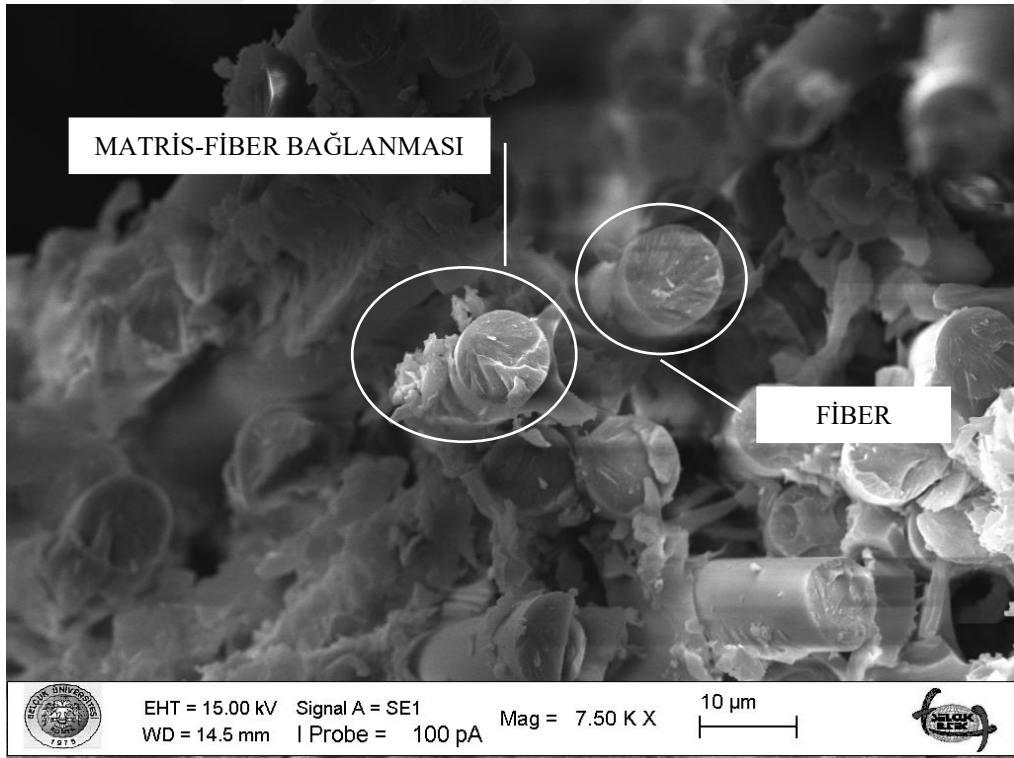
a)



b)



c)

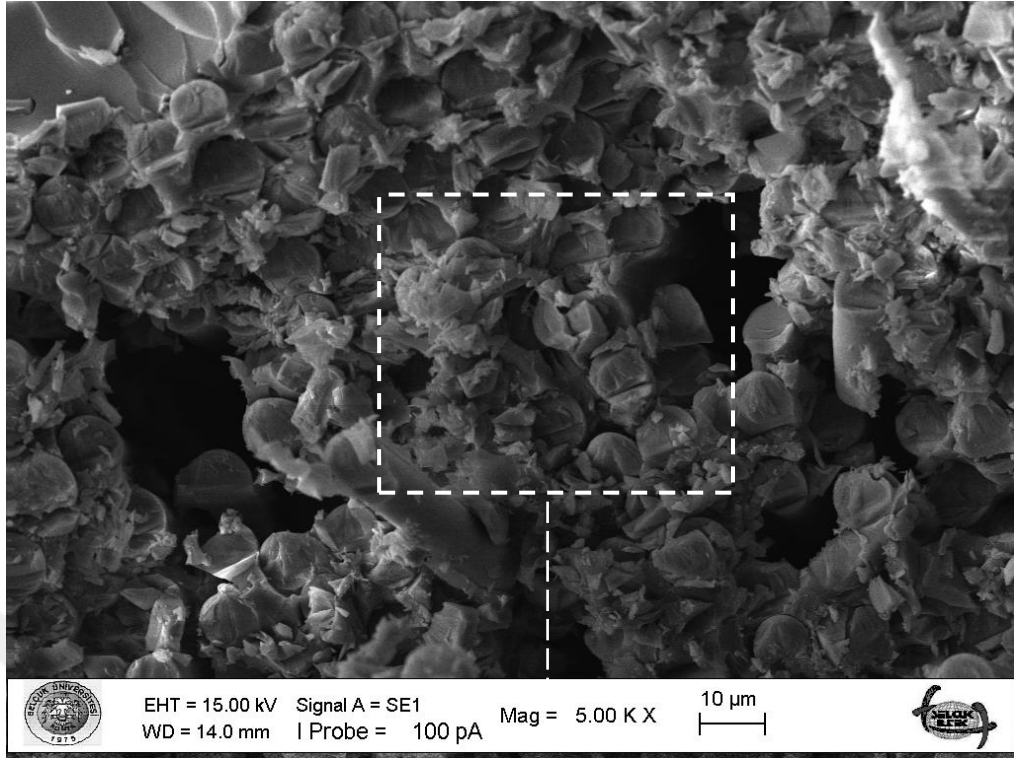


d)

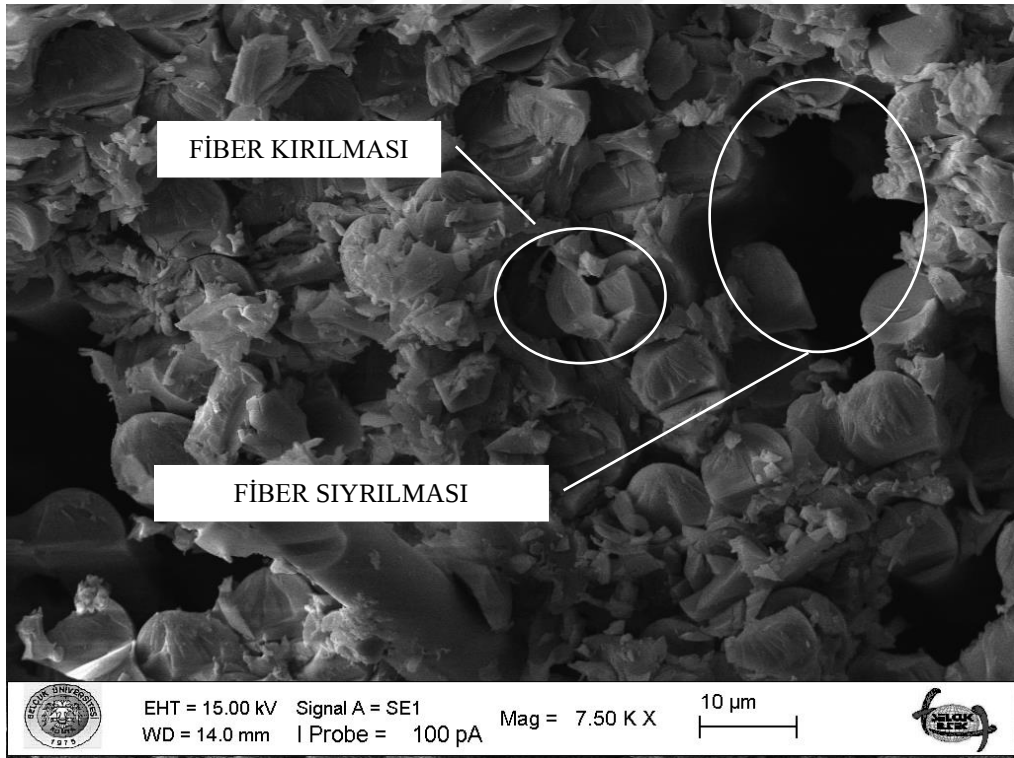
Şekil 4.30.Normal şartlarda GNP-Ep.CF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri. a) ve b) Dış yüzey c) ve d) iç yüzey

Şekil 4.31. a) ve b)'de 2 ay tuzlu suda yaşlandırılmış GNP-Ep CF nanokompozitin dış yüzeyinde burkulmadan kaynaklanan çekme kuvveti etkisinde kırılan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Fiberlerin matristen ayrılmış olduğu korozyonun etkisiyle matris fiber ayrımı olduğu matrisin deformasyonunun fazlalığı görülmektedir. Şekil 4.31. c) ve d)'de verilen dış yüzey SEM görüntülerinde matris bozulması ve fiber ayrılmaları gözlemlenmiştir. Tuzlu su matris bozulması yaptığı ve bu bozulma matris-fiber tutunmasını azalttığı için fiber sıyrılmaları görülmektedir.

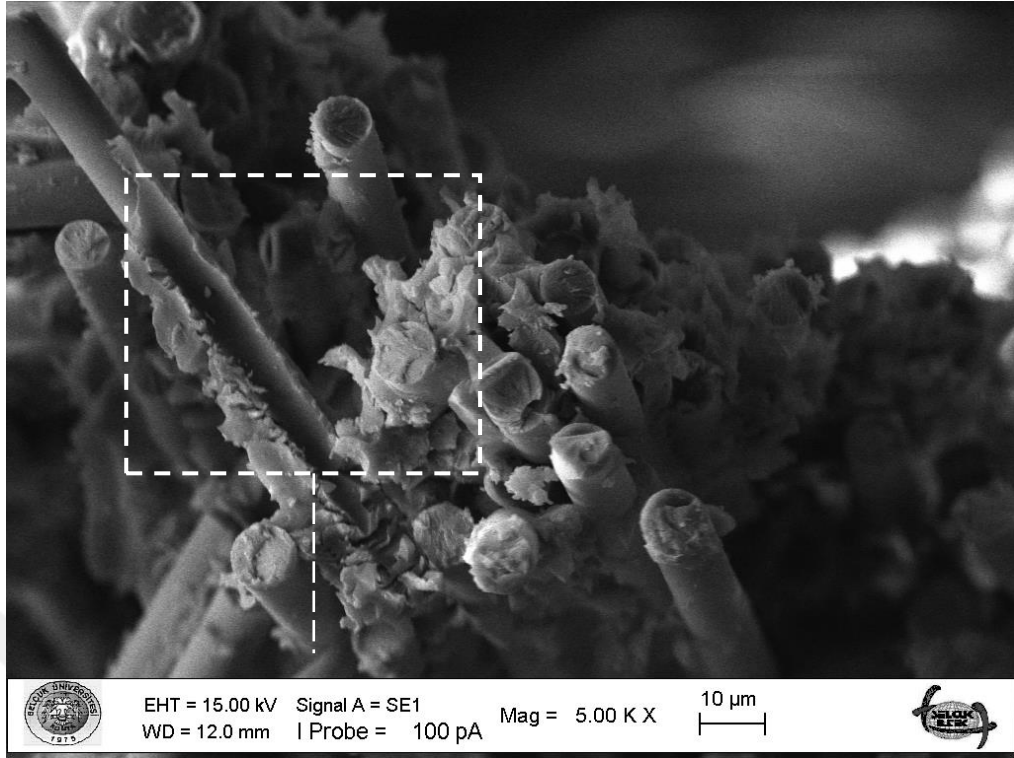




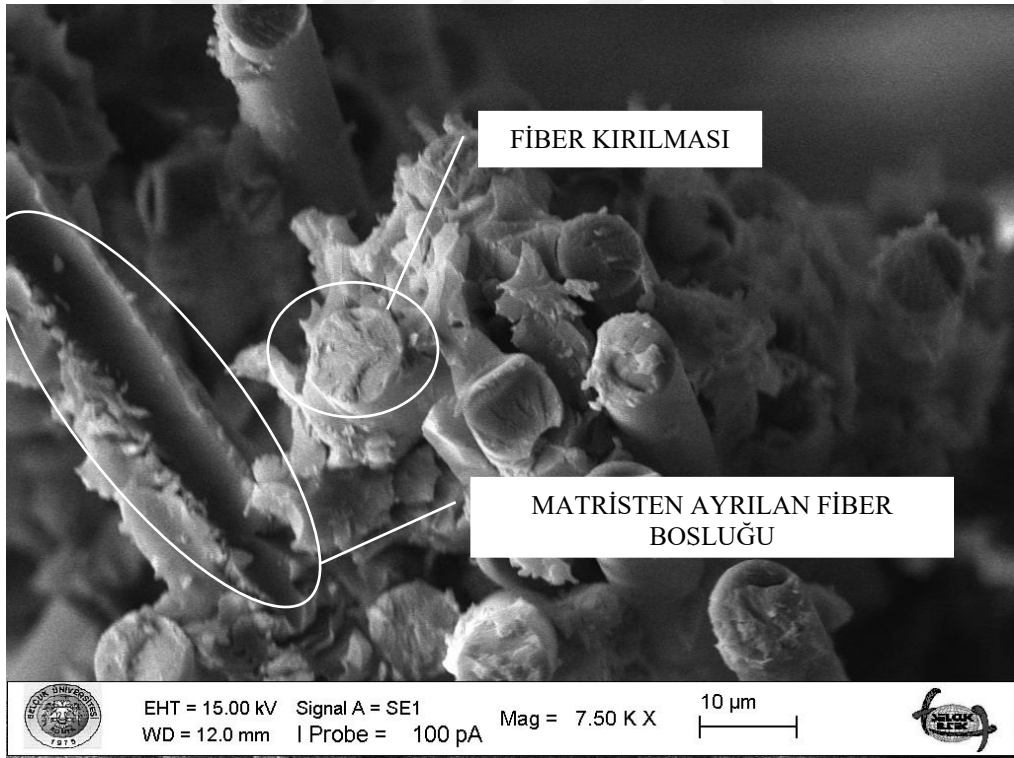
a)



b)



c)

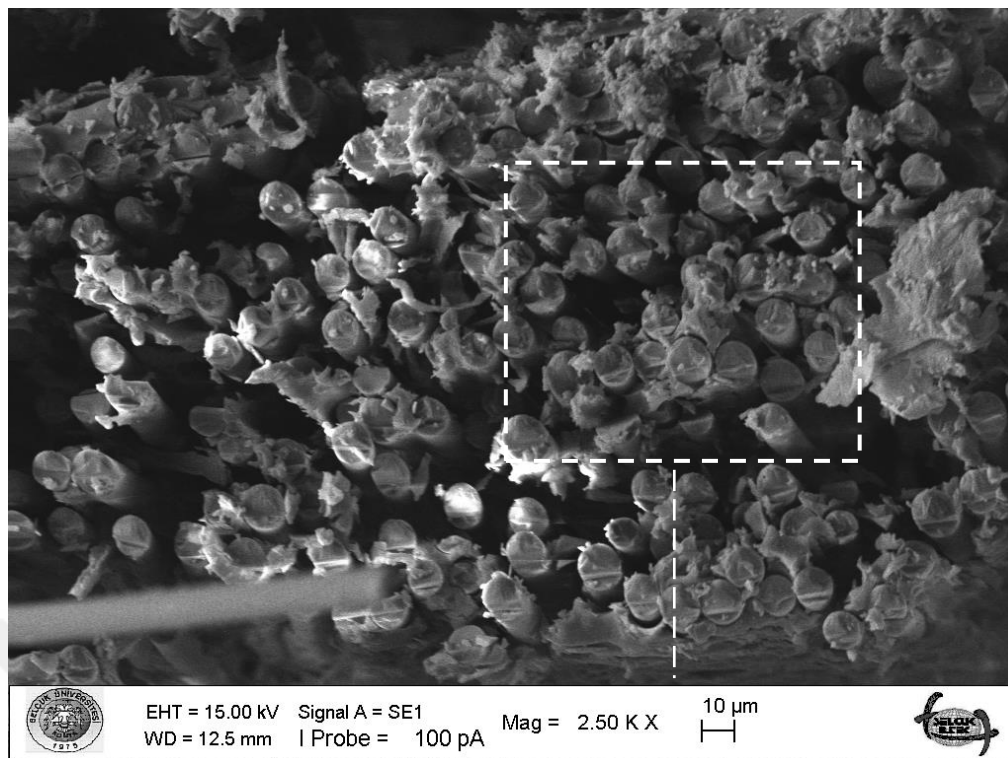


d)

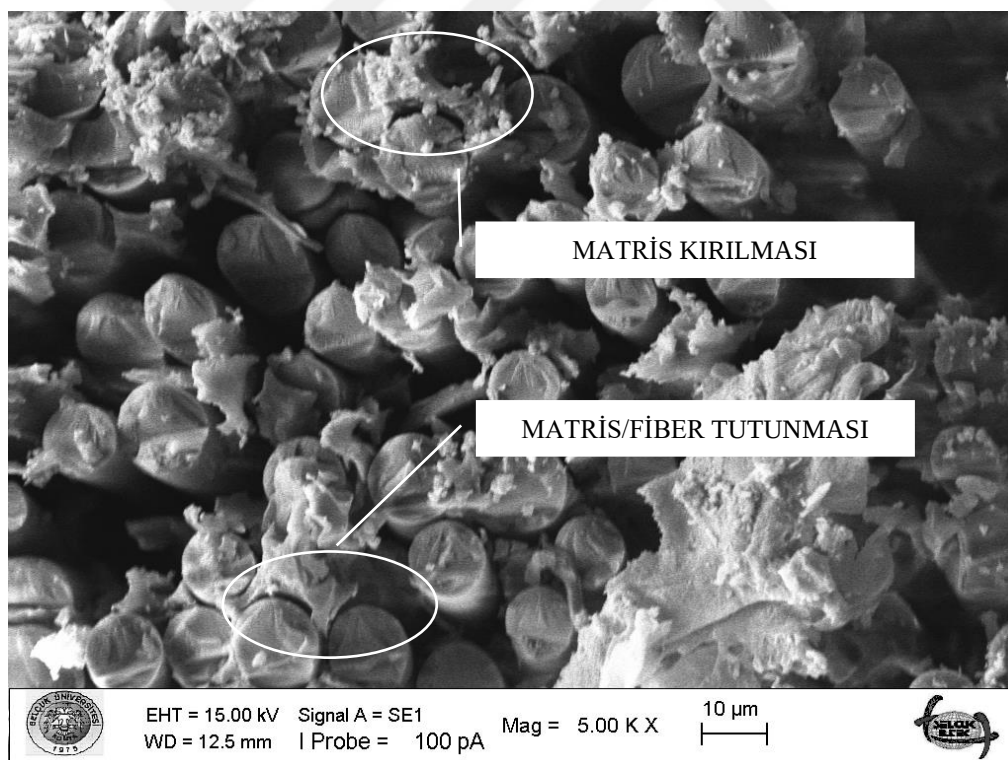
Şekil 4.31. 2 ay tuzlu suda yaşlandırılmış GNP-Ep.CF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri. a) ve b) Dış yüzey c) ve d) iç yüzey

Şekil 4.32 a) ve b)'de normal şartlarda Gnp-Ep BF nanokompozitin dış yüzeyinde burkulmadan kaynaklanan çekme kuvveti etkisinde kırılan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Kırılmanın bazalt fiberlerde cam fiberlere göre kırılma yüzeyinin düz bir kesit halinde olmadığı görülmüş, bunun sebebinin de bazalt fiberlerin sünek olması çekme kuvveti etkisiyle kesit alanın daralmasıyla matristen ayrılmasını kolaylaştırdığı düşünülmüştür. Şekil 4.32. c) ve d) ise aynı nanokompozitin iç yüzeyinde basma etkisi altında kalan yüzeyin SEM görüntüsü verilmiştir. Burada matrisin parçalı kırılması gözlemlenmiş fiberler ise düz bir kesit şeklinde değilde açılı yada parçalı kırılmıştır. Parçalanan matris yüzünden fiberler açığa çıkmış oldukları görülmektedir.

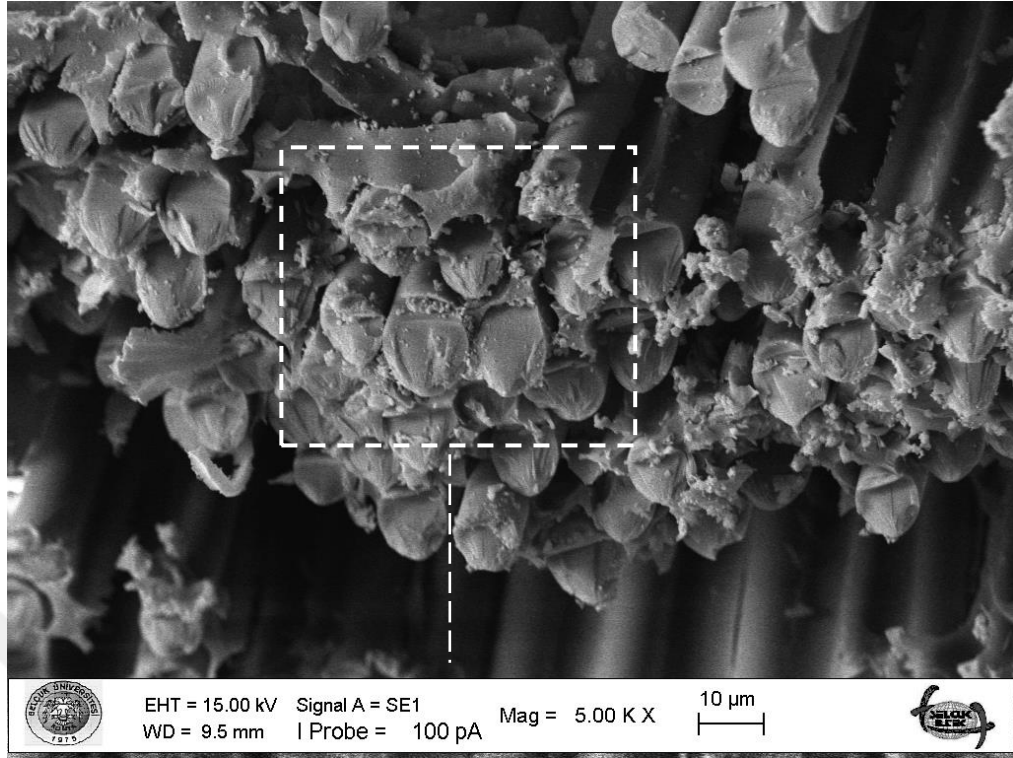




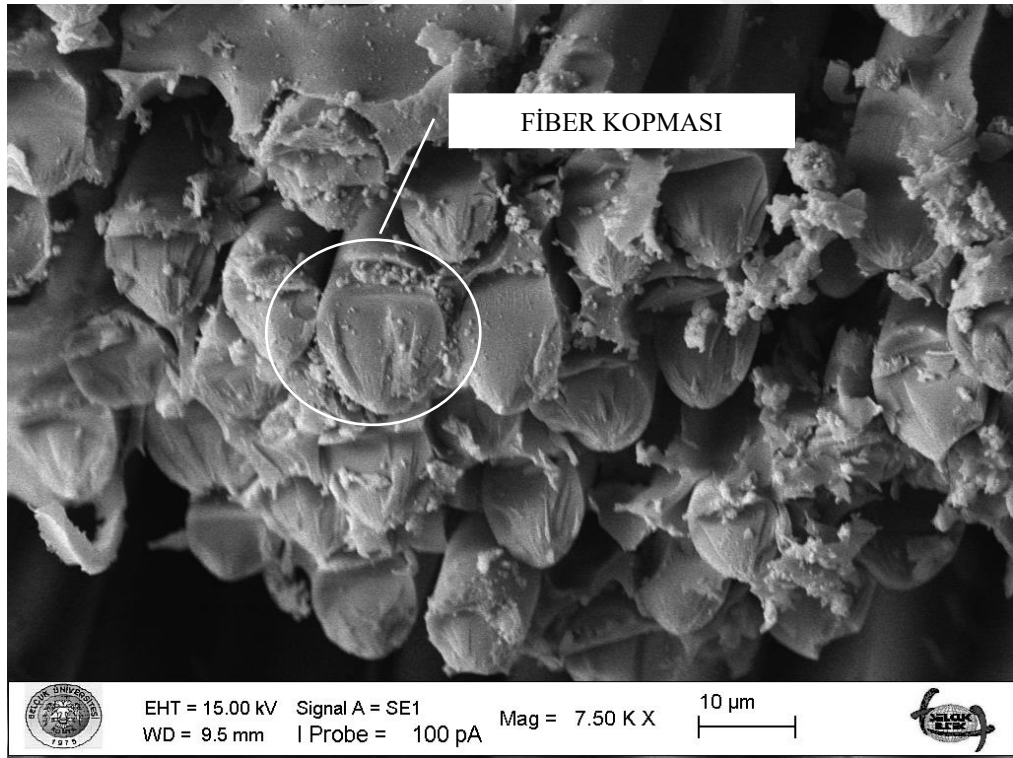
a)



b)



c)

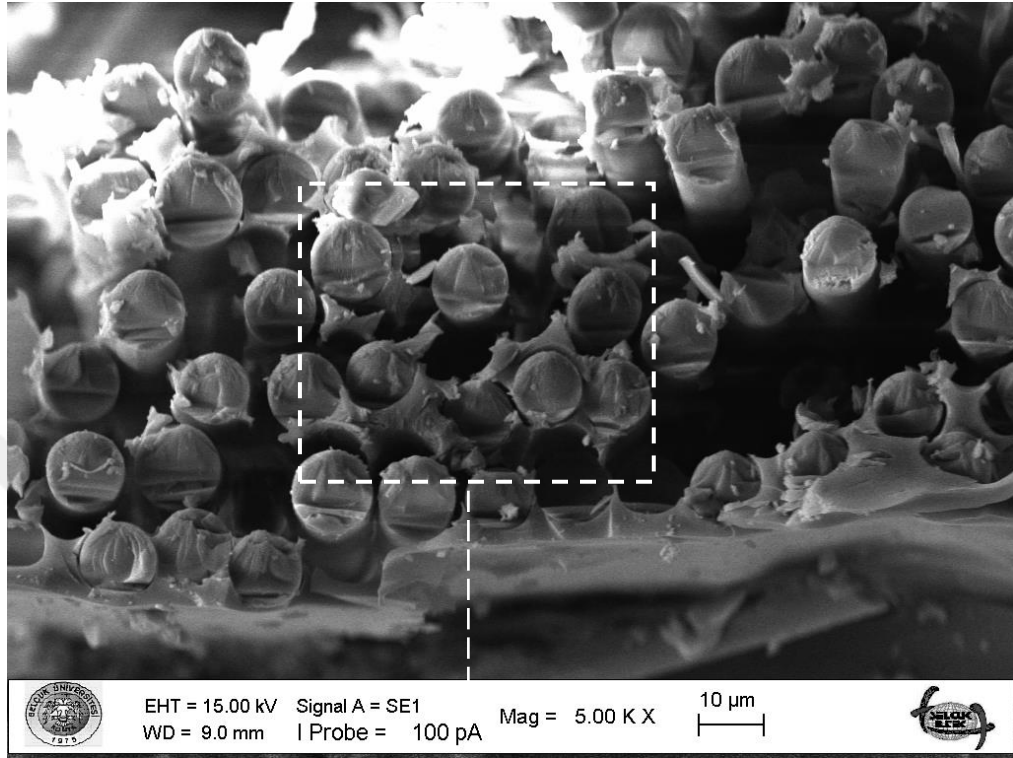


d)

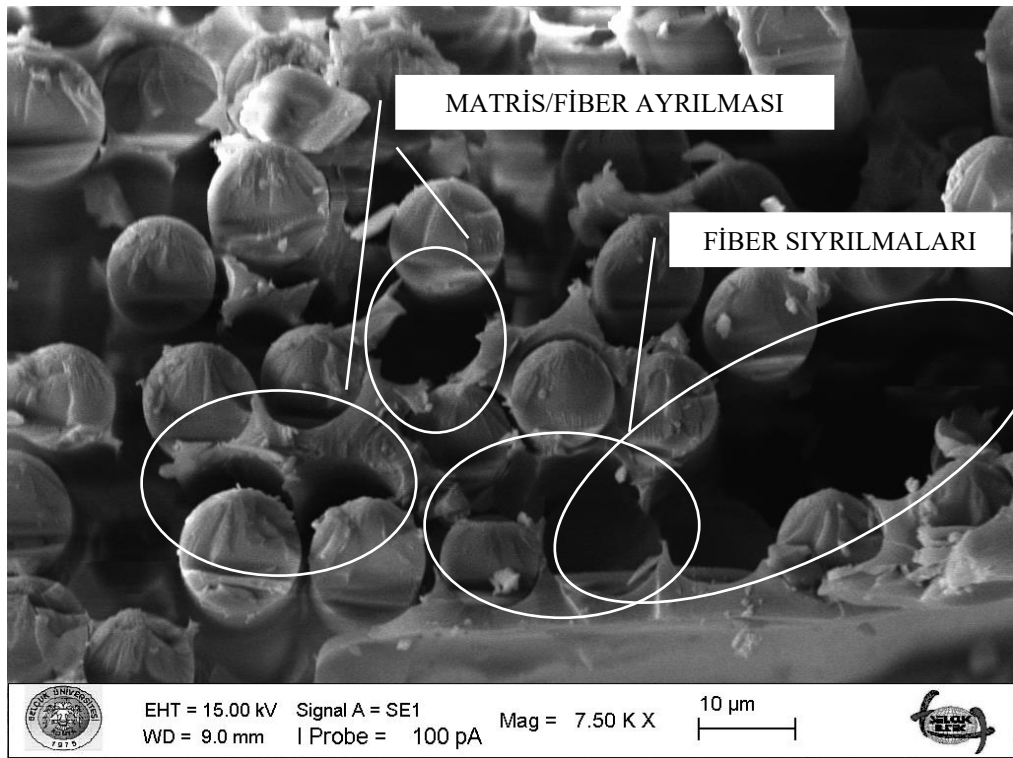
Şekil 4.32.Normal şartlarda GNP-Ep. BF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri. a) ve b) Dış yüzey c) ve d) iç yüzey

Şekil 4.33.`de SEM görüntülerinde GNP-Ep BF nano kompozitlerin 2 ay tuzlu suda yaşlandırma etkisi GNP katkısı ile çok aza indirilmiş olsada su emilimi ile

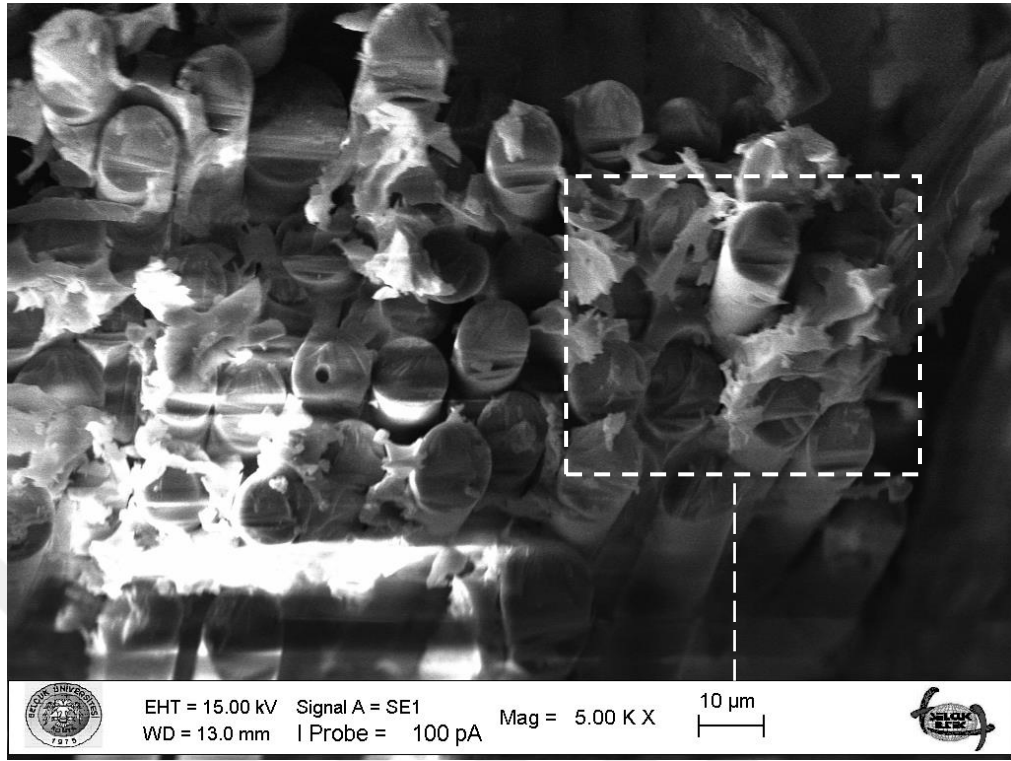
plastikleşen matrisin deformasyonu mikro çatlakların makro çatlaklara dönüşümü ve fiber ayrılmaları gözlemlenmektedir.



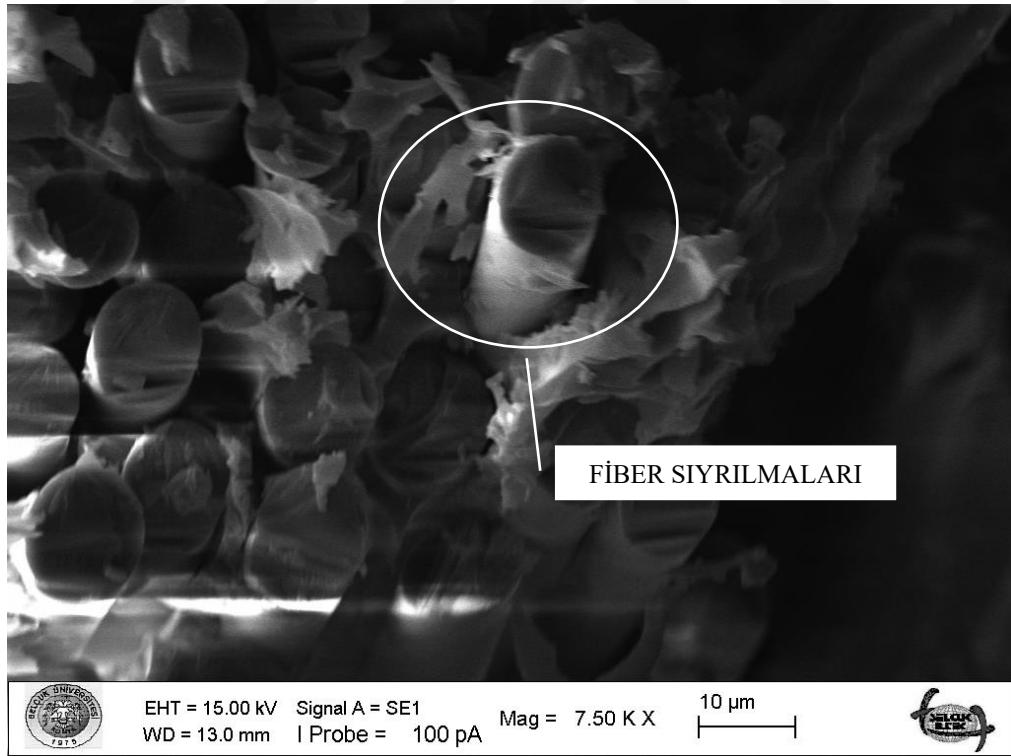
a)



b)



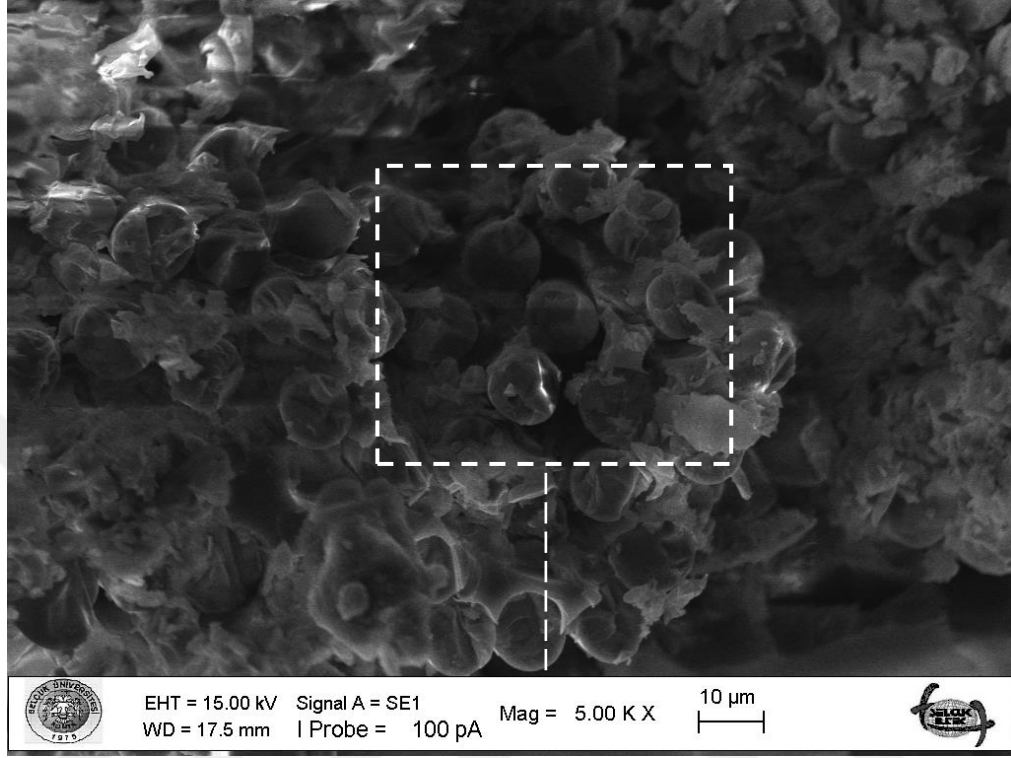
c)



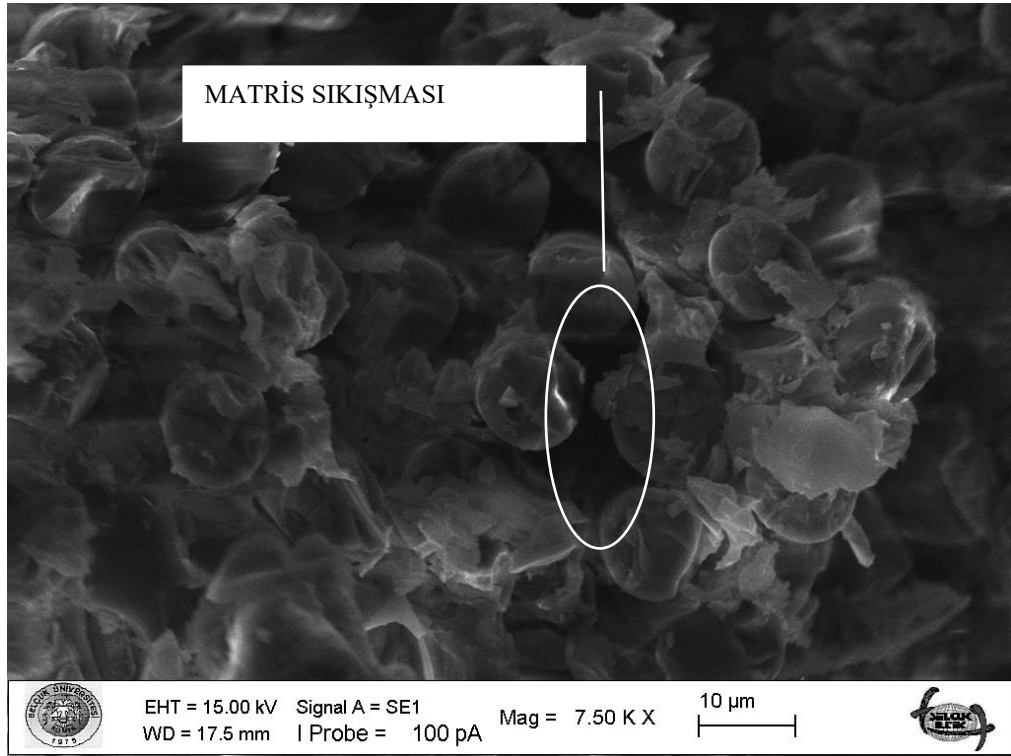
d)

Şekil 4.33. 2 ay tuzlu suda yaşlandırılmış GNP-Ep.BF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri. a) ve b) Dış yüzey c) ve d) iç yüzey

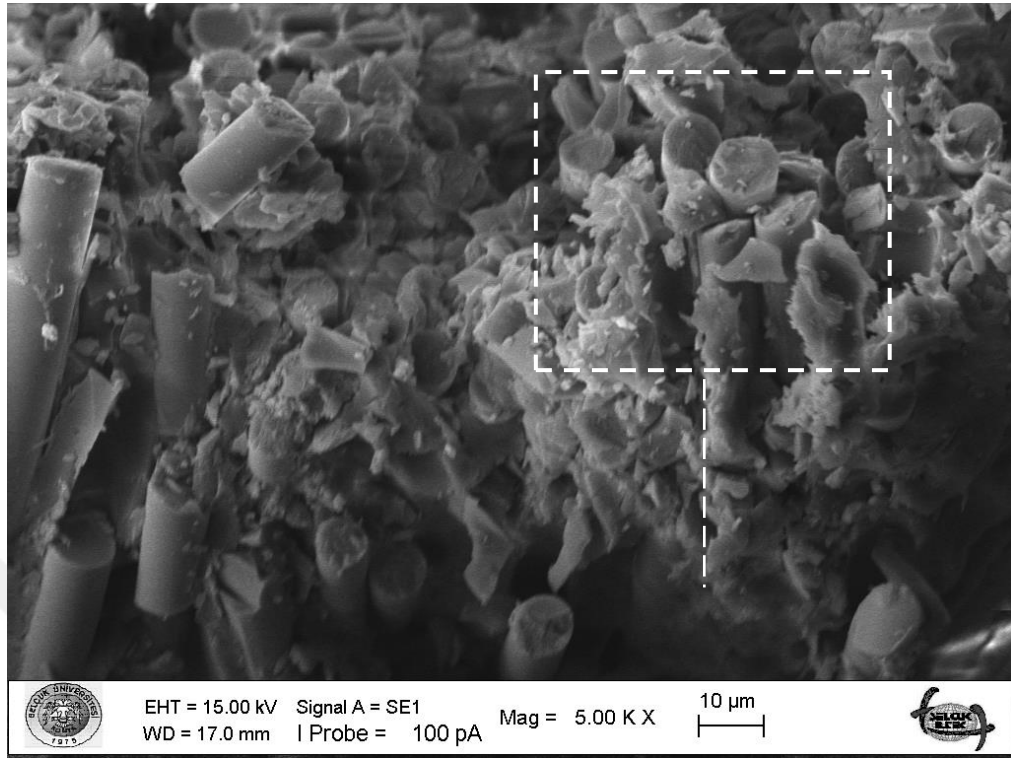
Şekil 4.34 `de normal şartlarda Gnp-Ep BCBF nanokompozitin burkulma testi sonrası kırılan yüzeyin SEM görüntüleri verilmiştir. Kırılmanın cam fiberlerde düz bir kesit halinde olduğu görülürken Bazalt fiberler parçalı kırıldığı gözlemlenmiştir.



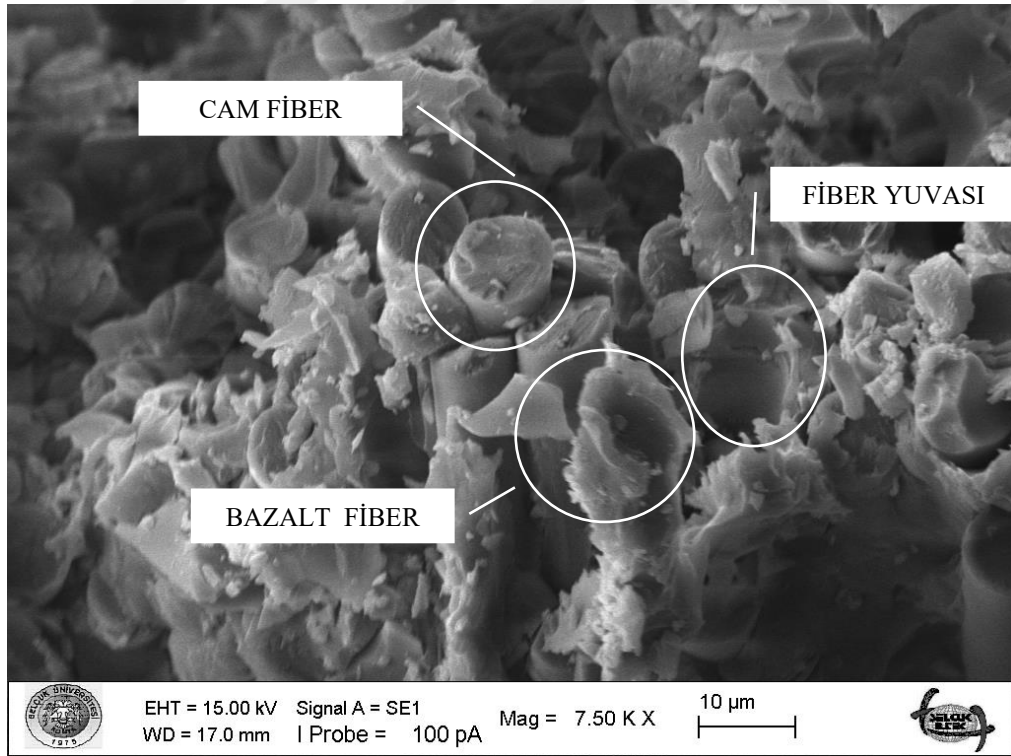
a)



b)

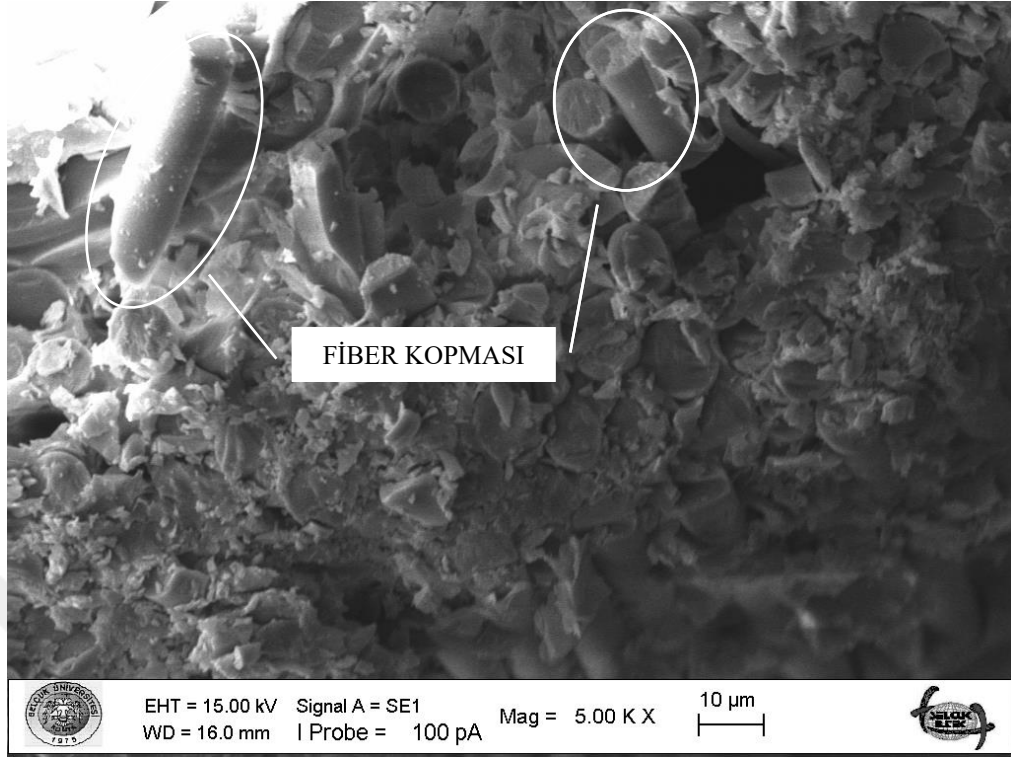


c)

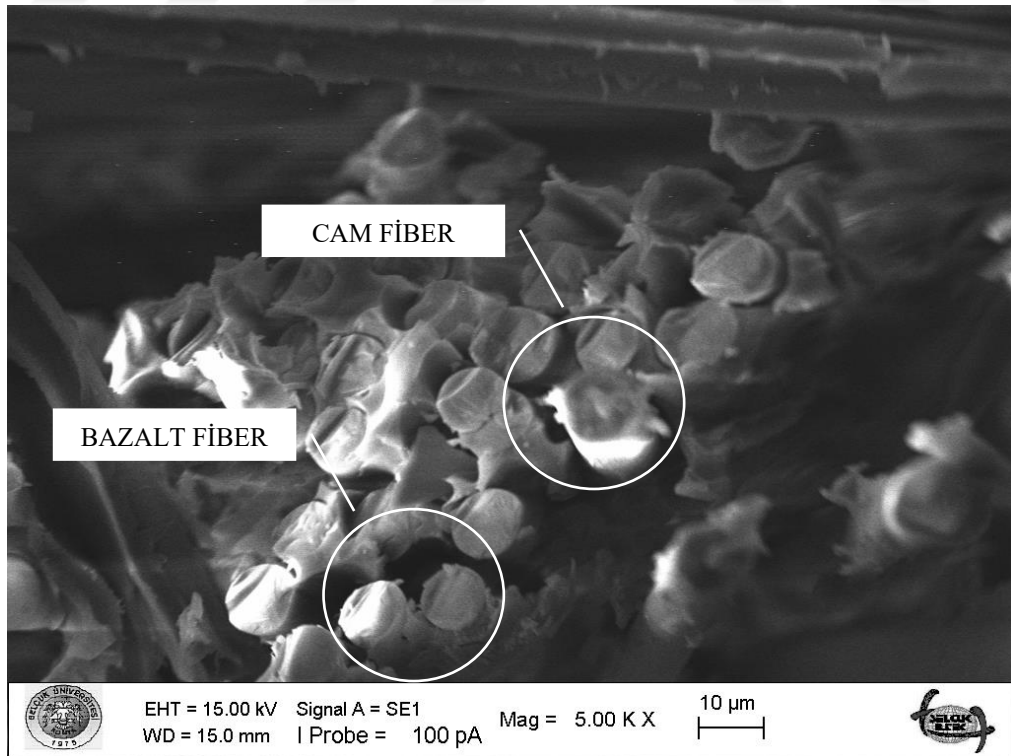


d)

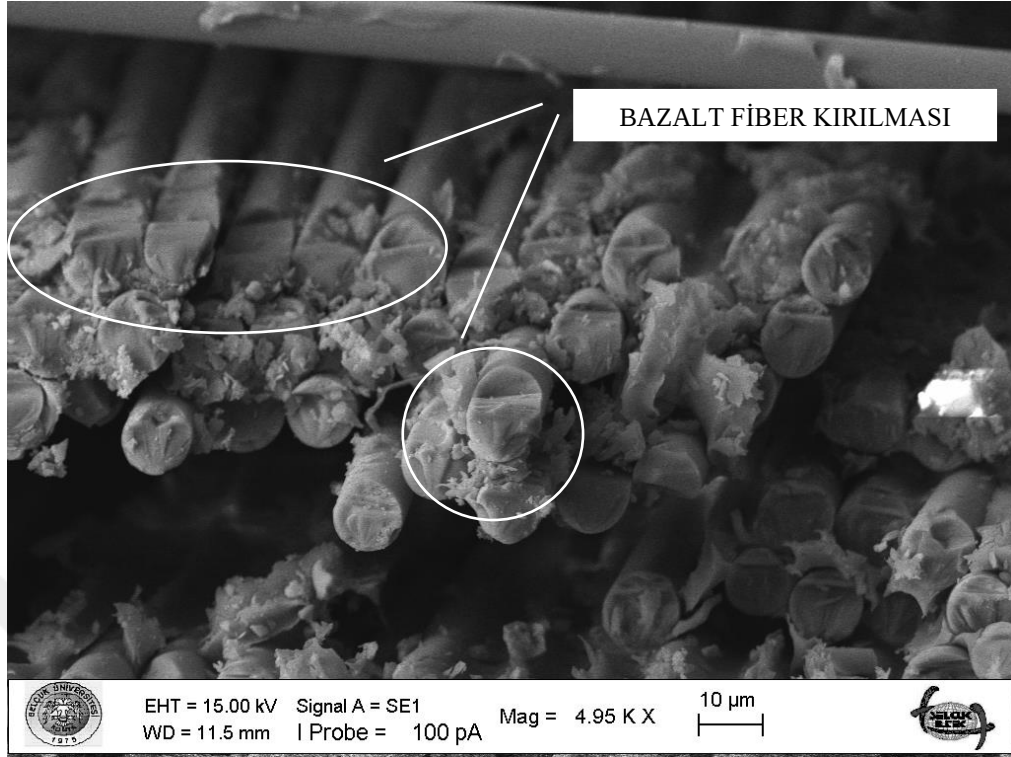
Şekil 4.34. Normal şartlarda GNP-Ep.BCBF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri.



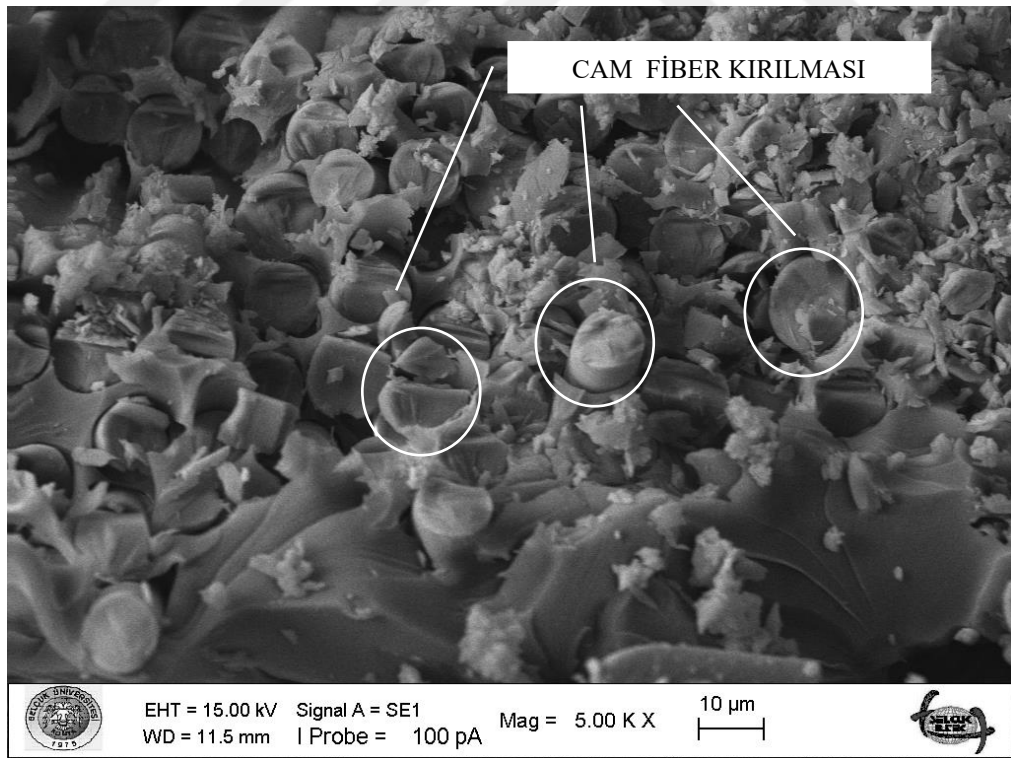
Şekil 4.35. 2 ay tuzlu suda yaşlandırılmış GNP-Ep.BCBF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri.



Şekil 4.36. Normal şartlarda GNP-Ep.CBCF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüsü.



a)



b)

Şekil 4.37. 2 ay tuzlu suda yaşlandırılmış GNP-Ep.CBCF burkulma testi sonrası kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada cam ve bazalt fiberli kumaşlar kullanılarak 15 katmanlı polimer matrisli (epoksi) kompozit plakalar üretilerek tuzlu su ortamında 2 ay boyunca bekletilerek burkulma ve çekme davranışlarının nasıl etkilendiği; farklı oryantasyonlarda hibrit kompozitlerin etkileri ile son yıllarda literatürde sıkça karşımıza çıkan grafen nano parçacık ilavesinin etkileri araştırılmış ve aşağıda sonuçları verilmiştir.

En yüksek çekme mukavemetler Normal ortamda bekletilen numunelerde ölçülmüştür. Üretilen farklı dizilimlerdeki kompozitlerden en yüksek çekme mukavemeti 418,63 MPa ile %0,3 Gr-Ep BF kompozitde, en düşük ise Ep CF kompozitde 210,45MPa ölçülmüştür. Yapılan CBCF ve BCBF hibrit kompozitlerin çekme mukavemetleri BF ve CF kompozitlerin mukavemetleri arasında bulunmuş; BCBF dizilimli nano kompozit çekme mukavemeti CBCF dizilimli nano kompozitin çekme mukavemetine göre daha yüksek ölçülmüştür..Elastisite modülleri içinde sıralama çekme mukavemetine orantılı olarak gerçekleşmiştir.

GNP katkısı %0,3 oranında literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak katılmış çekme mukavemetinde CF`de %3,66, BF`de %1,94, BCBF`de %4,56 ve CBCF %14,74 oranlarında artış yapmıştır.Grafen en iyi etkiyi CBCF oryantasyonunda göstermiştir.

Tuzlu su ortamında 15 günlük periyotlarda toplam 60 gün yapılan yaşlandırmalar sonucunda bekletilen tüm kompozitlerde çekme mukavemetinin azaldığı gözlemlenmiştir. En çok düşüş BCBF diziliminde gerçekleşirken en az düşüş ise CBCF diziliminde olmuştur. Dış tabakanın cam fiber olması malzemenin tuzlu su ortamında daha az etkilenmesini sağlamıştır. BF kompozitler CBCF kompozitlerden daha fazla etkilenmiş olsalar bile yine 60 gün sonunda en yüksek çekme mukavemetine sahip olmuşlardır. Bazaltın E-cam`dan daha mukavemetli olduğu ancak tuzlu su korozyonunda camdan daha çok etkilendiği ortaya çıkmış bunun için yapılan hibrit kompozitlerin, özellikle dış yüzeylerin cam olması durumunda, korozyon testlerinde daha az etkilendiğini söylemek mümkündür.

Tüm numunelerde kritik burkulma gerilimleri çekme gerilimlerine nazaran ortalama %90 oranında daha düşük çıkmıştır. Burkulma mekaniği çekme mekaniğinden farklı olduğu yük dengesinin bozulması anında ani kırılmanın meydana geldiği yapılan testlerde gözlemlenmiştir. Burkulma testi sonrası deformasyonların daha çok matris

bozunması ve tabaka ayrılmaları şeklinde olması fiber kopmasının çok az olduğu gözlemlenmiştir.

Yaşlandırma etkisini kütle artışı yönünden incelediğimizde 2 ay sonunda en fazla kütle artışı BF kompozitlerde gerçekleşirken en az emilimi CF kompozitlerde olduğu hesaplanmıştır. Literatürde karşımıza çıkan grafenin su emilimi konusunda bariyer etkisi yarattığını destekleyen sonuçları yaşlandırma testinde kütle artışı hesapları desteklemiştir. Yaşlandırma sonunda fiber korozyonundan daha çok matris bozunması gözlemlenmiş ve bunun sonucu matris-fiber bağlanmasının azalması sonucu kritik burkulma yükünün azaldığını söylemek mümkündür.

Yapılan bu tez çalışmasında bazalt ve cam fiber kumaşlar yapılan polimer matrisli hibrit kompozitlerde uyum sağlanmış olduğu görülmüş, dizilim açısından sıralı dizilimin sonuçları mekanik özellikler bakımından BF ve CF kompozitlerin arasında olduğu gözlemlenmiştir. Yine aynı fiber kumaşlarla farklı dizilimler üzerinde korozyon etkisi çalışmaları yapılabilir. GNP katkısının mekanik iyileştirme etkisi gözlemlenmiş ancak literatür araştırmasında karşımıza çıkan değerlerden düşük olduğunu söylemek mümkündür. GNP-Epoksi karışımı hazırlama prosesleri üzerine iyileştirme araştırmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Alamri, H. ve Low, I. M., 2012, Effect of water absorption on the mechanical properties of nano-filler reinforced epoxy nanocomposites, *Materials & Design*, 42, 214-222.
- Arezoo Abdi, Reza Eslami-Farsani, and Hamed Khosravi, 2018, Evaluating the Mechanical Behavior of Basalt Fibers/Epoxy Composites Containing Surface-modified CaCO₃ Nanoparticles, *Fibers and Polymers* 2018, Vol.19, No.3, 635-640.
- Atta, N. F., Galal, A. ve El-Ads, E. H., 2015, Graphene – A Platform for Sensor and Biosensor Applications,
- Baştürk S., Uyanık, H. ve Kazancı, Z., 2014, An analytical model for predicting the deflection of laminated basalt composite plates under dynamic loads, *Composite Structures*, 116, 273-285.
- Beşergil B., 2021, [http:// http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_59.html](http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_59.html) /İnternet [02,03,2021]
- Bhuyan, M. S. A., Uddin, M. N., Islam, M. M., Bipasha, F. A. ve Hossain, S. S., 2016, Synthesis of graphene, *International Nano Letters*, 6 (2), 65-83.
- Camargo, P. H. C., Satyanarayana, K. G. ve Wypych, F., 2009, Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities, *Materials Research*, 12, 1-39.
- Colombo, C., Vergani, L., Burman, M., 2012, Static and fatigue characterization of new basalt fibre reinforced composites, *Composite Structure* 94, 1165-1174.
- Choudalakis, G. ve Gotsis, A., 2009, Permeability of polymer/clay nanocomposites: a review, *European Polymer Journal*, 45 (4), 967-984.
- Çelik Bedeloğlu, A. ve Taş, M., 2016, Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri (Graphene And Its Production Methods), p. 544-554.
- Daniel, I.M., Ishai, O., 1994. Engineering Mechanics of Composite Materials. Oxford University Press, 416p, New York.
- Daood S. S., Ord, G., Wilkinson, T. ve Nimmo, W., 2014, Fuel additive technology - NO_x reduction, combustion efficiency polyester composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1 (1), 50-54.
- Deak, T., and Czigany, T., 2009, Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibers: A Comparison, *Textile Research Journal* 79(7), 645-651.

- Demirci M., 2015, sio2 nanopartikül katkısının yüzey çatlaklı ve çatlaksız bazalt elyaf takviyeli kompozit boruların yorulma davranışlarına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demirci İ., AVCI A.,2017, deniz suyu korozyon ortamında bazalt/epoksi kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi, *Journal of Selcuk-Technic*2-2017 ,16,
- Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S.-J. ve Hui, D., 2015, A short review on basalt fiber reinforced polymer composites, *Composites Part B: Engineering*,73, 166-180.
- Dorigato, A., and Pegoretti A., 2012, Fatigue resistance of basalt fibers-reinforced laminates, *Journal of Composite Materials* 46(15), 1773-1785.
- Dorigato, A., and Pegoretti A., 2014, Flexural and impact behaviour of carbon/basalt fibers hybrid laminates, *Journal of Composite Materials* 48(9) 1121–1130.
- Fiorre, V., Bella, G.D., Valenza, A., 2011, Glass-Basalt/Epoxy hybrid composites for marine applications, *Materials and Design* 32, 2091-2099.
- Fiore, V., Scalici, T., Di Bella, G. ve Valenza, A., 2015, A review on basalt fibre and its composites, *Composites Part B: Engineering*, 74, 74-94.
- Fiore V., Scalici T., Calabrese L., Valenza A., Proverbio E.,2016, Effect of external basalt layers on durability behaviour of flax reinforced composites, *Composites Part B* 84 (2016) 258-265
- Guangyong Sun , Shaowei Tong , Dongdong Chen , Zhihui Gong , Qing Li , 2018, Mechanical properties of hybrid composites reinforced by carbon and basalt fibers, *International Journal of Mechanical Sciences* 148 (2018) 636–651
- Jamshaid, H. ve Mishra, R., 2016, A green material from rock: basalt fiber - a review, *The Journal of The Textile Institute*, 107 (7), 923-937.
- Kayıran H., 2018, Farklı Ortam Koşullarına Maruz Hibrit Kompozit Plakalarda Burkulma Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kazemi-Khasragh E., Bahari-Sambran F., Hossein Siadati M., and Eslami- Farsani R., 2018, High Velocity Impact Response of Basalt Fibers/Epoxy Composites Containing Graphene Nanoplatelets, *Fibers and Polymers* 2018, Vol.19, No.11, 2388-2393
- Kuilla, T., Bhadra, S., Yao, D., Kim, N. H., Bose, S. ve Lee, J. H., 2010, Recent advances in graphene based polymer composites, *Progress in Polymer Science*, 35 (11), 1350-1375.
- Kutay G.,2009, <https://www.guven-kutay.ch/mukavemet/05-1-gerilmeler.pdf/> İnternet[02,03,2021]

- Lagashetty, A. ve Venkataraman, A., 2005, Polymer nanocomposites, *Resonance*, 10 (7), 49-57
- Lopresto, V., Leone, C. ve De Iorio, I., 2011, Mechanical characterisation of basalt fibre reinforced plastic, *Composites Part B: Engineering*, 42 (4), 717-723.
- Lu, C. ve Mai, Y.-W., 2005, Influence of aspect ratio on barrier properties of Polymerclay nanocomposites, *Physical review letters*, 95 (8), 088303.
- Luo, J. J. ve Daniel, I. M., 2003, Characterization and modeling of mechanical behavior of polymer/clay
- Ma, J., Meng, Q., Zaman, I., Zhu, S., Michelmores, A., Kawashima, N., Wang, C. H. Ve Kuan, H.-C., 2014, Development of polymer composites using modified, highstructural integrity graphene platelets, *Composites Science and Technology*, 91,82-90.
- Mehmet Bulut, 2017,Mechanical characterization of Basalt/epoxy composite laminates containing graphene nanopellets, *Composites Part B* 122 (2017) 71-78
- Militky, J., Kovacic, V. ve Rubnerová, J., 2002, Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers,
- Mitchell, B. S., 2004, An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineers, John Wiley & Sons,
- Mohammad T. Bashar , Uttandaraman Sundararaj , Pierre Mertiny , 2012, Mode-I interlaminar fracture behaviour of nanoparticle modified epoxy/basalt fibre-reinforced laminates ,*Polymer Testing* 32 (2013) 402–412.
- Muzoglu M., 2018, Farklı ortam koşullarında bekletilen doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Nadiv, R., Vasilyev, G., Shtein, M., Peled, A., Zussman, E. ve Regev, O., 2016, The multiple roles of a dispersant in nanocomposite systems, *Composites Science and Technology*, 133, 192-199.
- Novitskii, A. G. ve V. Sudakov, V., 2004, An Unwoven Basalt-Fiber Material for the Encasing of Fibrous Insulation: an Alternative to Glass Cloth,
- Omer Yavuz Bozkurt, Ahmet Erkli_g, Mehmet Bulut,2018, Hybridization Effects on Charpy Impact Behavior of Basalt/Aramid Fiber Reinforced Hybrid Composite Laminates, *POLYM. COMPOS.*, 39:467–475,
- Park, S. ve Ruoff, R. S., 2009, Chemical methods for the production of graphenes, *Nature Nanotechnology*, 4, 217.
- Parnas, R., Shaw, M. ve Liu, Q., 2006, Basalt fiber reinforced polymer composites,

- Peretz Damari, S., Cullari, L., Nativ, R., Nir, Y., Laredo, D., Grunlan, J. ve Regev, O., 2018, Graphene-induced enhancement of water vapor barrier in polymer nanocomposites, *Composites Part B: Engineering*, 134, 218-224.
- Qin, W., Vautard, F., Drzal, L. T. ve Yu, J., 2015, Mechanical and electrical properties of carbon fiber composites with incorporation of graphene nanoplatelets at the fiber matrix interphase, *Composites Part B: Engineering*, 69, 335-341.
- Rashad, M., Pan, F., Yu, Z., Asif, M., Lin, H. ve Pan, R., 2015, Investigation on microstructural, mechanical and electrochemical properties of aluminum composites reinforced with graphene nanoplatelets,
- Saravanan, D., 2006, Spinning the rocks - Basalt fibres,
- Seong Hwang Kim, Young-Jung Heo, Mira Park, Byung-Gak Min, Kyong Yop Rhee, Soo-Jin Park, 2018, Effect of hydrophilic graphite flake on thermal conductivity and fracture toughness of basalt fibers/epoxy composites, *Composites Part B* 153 (2018) 9–16
- Sfarra, S., Ibana-Castanedo, C., Santalli, C., Paoletti, A., Paoletti, D., Sarasini, I. Bendada, A., Maldague, X., 2013, Falling weight impacted glass and basalt fibre woven composites inspected using nondestructive techniques, *Composites: Part B Engineering* 45, 601-608.
- ShaofengZhou, JunjieWang, ShuzhanWang, XiaozhouMa ,JinHuang ,Guizhe Zhao Yaqing Liu, 2018, Facile preparation of multiscale graphene-basalt fiber reinforcements and their enhanced mechanical and tribological properties for polyamide 6 composites, *Materials Chemistry and Physics* 217 (2018) 315-322
- Shi, J-W, Wu, H., Wu, G., Wu, Z-S, 2014, Tensile behavior of FRP and hybrid FRP sheets in freeze-thaw cycling environments, *Composites:Part B* 60, 239-247.
- Su Kim, H., Sung Bae, H., Yu, J. ve Kim, S. Y., 2016, Thermal conductivity of polymer composites with the geometrical characteristics of graphene nanoplatelets,
- Subagia, I.D.G., Tijing, L.D., Kim, Y., Kim, C.S., Vista, F.P., Shan, K.H., 2014, Mechanical performance of multiscale basalt fiber-epoxy laminates containing tourmaline micro/nano particles, *Composites:Part B* 58, 611-617.
- Subramanian, R. V. ve Austin, H. F., 1980, Silane coupling agents in basalt-reinforced polyester composites, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1 (1), 50-54.
- Şükür E., 2019 Korozif Ortamın Grafen Katkılı Bazalt/Epoksi Nanokompozitlerin Mekanik Ve Aşınma Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Wei, B., Cao H., Song, S., 2011, Degradation of basalt fiber and glass fibre/epoxy resin composites in seawater, *Corrosion Science* 53, 426-431.

- Wei, B., Cao, H., Song, S., 2010, Tensile behavior contrast of basalt and glass fibers after chemical treatment, *Materials and Design* 31, 4244- 4250.
- Wu, Z., Wang,X., Iwashita, K., Sasaki, T., Yasumasa, H.2010, Tensile fatigue behaviour of FRP and hybrid FRP sheets, *Composites Part B: Engineering* 41(5), 396-402.
- Yoo, B. M., Shin, H. J., Yoon, H. W. ve Park, H. B., 2014, Graphene and graphene oxide and their uses in barrier polymers, *Journal of Applied Polymer Science*, 131 (1).
- Zhang, Y., Fei, D., Xin, G. ve Cho, U.-R., 2016, Surface modification of novel rice bran carbon functionalized with (3-Mercaptopropyl) trimethoxysilane and its influence on the properties of styrene-butadiene rubber composites, *Journal of Composite Materials*, 50 (21), 2987-2999.
- Zhu, L., Sun, B., Gu, B., 2011, Frequency features of basalt filament tows under quasi static and high strain rate tension, *Journal of Composite Materials* 46(11), 1285-1293.