

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ORTAM KOŞULLARINDA BEKLETİLEN DOĞAL LİF
TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN BURKULMA
DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mustafa MUZOĞLU

**Danışman
Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



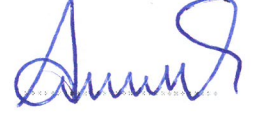
© 2018 [Mustafa MUZOĞLU]

TEZ ONAYI

Mustafa MUZOĞLU tarafından hazırlanan "**Farklı Ortam Koşullarında Bekletilen Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Burkulma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ümran ESENDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Hasan ÇALLIOĞLU
Pamukkale Üniversitesi



Enstitü Müdürü

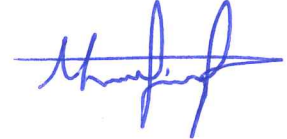
Prof. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mustafa MUZOĞLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları.....	3
1.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları.....	4
1.1.2. Kompozit malzemelerin deavantajları.....	5
1.1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları	5
1.2. Doğal Lifler	9
1.2.1. Jüt lifleri	10
1.3. Burkulma.....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
2.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları.....	15
2.2. Jüt Takviyeli Kompozit Malzemeler Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları.....	17
2.3. Farklı Ortam Koşullarına Maruz Kompozit Malzemeler İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları	21
2.4. Kompozit Malzemelerin Burkulma Davranışları İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler ..	28
3.1.1. Jüt dokuma kumaş	28
3.1.2. Cam dokuma kumaş.....	29
3.1.3. Epoksi reçine	30
3.2. Kompozit Malzemenin Üretim Aşamaları	30
3.2.1. Yüzey modifikasyonu	30
3.2.2. Jüt kumaşlar için alkali işlem.....	30
3.2.3. El yatırma yöntemi ile kompozit plakaların üretimi.....	32
3.3. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Burkulma Testleri.....	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Burkulma Testi Sonuçları.....	43
4.1.1. Oda koşullarında bekletilen numunelerin burkulma davranışları	44
4.1.2. Deniz suyunda bekletilen numunelerin burkulma davranışları.....	50
4.1.3. Soğuk ortamda bekletilen numunelerin burkulma davranışları.....	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI ORTAM KOŞULLARINDA BEKLETİLEN DOĞAL LİF TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN BURKULMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa MUZOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ

Bu çalışmada, doğal lif ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışı üzerine farklı ortam koşullarının ve farklı fiber oryantasyon açılarının etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Fiber olarak dokuma jüt ve dokuma E-cam kumaşlar, matris olarak da epoksi reçinesi kullanılarak $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(30_c/-60_j)_{2s}$, $(45_c/-45_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$, $(0_c/90_j)_{2as}$, $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ oryantasyon açılara sahip 8 tabakalı simetrik ve antisimetrik hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. Üretilen hibrit kompozit plakalar oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam olmak üzere 3 farklı ortam koşulunda 60 gün boyunca bekletilmişlerdir. 60 gün sonunda hibrit kompozitler bekletildikleri ortamlardan alınarak burkulma testlerine tabi tutulmuşlardır. Testlerden elde edilen veriler doğrultusunda, her bir ortam koşulu için hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışları incelenmiştir.

Burkulma deneyleri sonucunda bütün ortam koşulları için, en yüksek kritik burkulma yükünün $(0_c/30_j)_{2s}$ dizilimli hibrit kompozit numunelerde olduğu, en düşük kritik burkulma yükünün ise $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip hibrit kompozit numunelerde olduğu belirlenmiştir. Deniz suyunda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin, oda koşullarında bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerine göre azaldığı görülmüştür. Soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin ise oda koşullarına göre arttığı gözlemlenmiştir.

Simetrik istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitler ile antisimetrik istifleme dizilimli hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri karşılaştırıldığında; simetrik dizilimli hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükü değerlerinin antisimetrik dizilimli hibrit kompozitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Simetrik dizilimli hibrit konfigürasyonlar kendi içinde karşılaştırıldığında, $(30_c/-60_j)_{2s}$ ve $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitlerin burkulma dayanımlarının $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$ istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitlerin burkulma dayanımlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, farklı ortam koşullarının, farklı istifleme dizilimlerinin ve farklı oryantasyon açılarının doğal lif ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yuklerine doğrudan etki ettiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit kompozit, burkulma davranışı, jt lifi, cam elyaf, deniz suyu, soğuk ortam.

2018, 89 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON BUCKLING BEHAVIOR OF NATURAL FIBER REINFORCED HYBRID COMPOSITES EXPOSED TO DIFFERENT ENVIRONMENT CONDITIONS

Mustafa MUZOĞLU

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ

In this study, the effects of different environmental conditions and different fiber orientation angles on buckling behavior of natural fiber and glass fiber reinforced hybrid composites have been experimentally investigated. 8-layered hybrid composite plates with $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(30_c/-60_j)_{2s}$, $(45_c/-45_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$, $(0_c/90_j)_{2as}$, and $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ symmetric and antisymmetric orientation angles were produced using woven jute and woven E-glass fabrics as fiber and epoxy resin as matrix. Produced hybrid composite plates were kept in 3 different environment conditions (room conditions, sea water and cold environment). At the end of 60 days, hybrid composites were taken from the environment conditions and subjected to buckling tests. In light of the data obtained from the tests, the buckling behaviors of the hybrid composite plates were examined for each environment condition

As a result of buckling tests, it was determined that the highest critical buckling load was occurred in hybrid composite samples with the stacking sequence of $(0_c/30_j)_{2s}$ array, and the lowest critical buckling load was occurred in hybrid composite samples with the stacking sequence of $(45_c/-45_j)_{2s}$ for all environment conditions. It was observed that the critical buckling loads of the hybrid composites immersed in seawater decreased according to the critical buckling loads of the hybrid composite samples kept at room conditions. It was observed that the critical buckling loads of the hybrid composite samples kept in cold conditions increased with when compared to the critical buckling loads of the samples kept at room temperature.

When the critical buckling loads of hybrid composites with symmetric stacking arrangement and antisymmetric stacking sequence are compared, it is seen that the critical buckling load values of the symmetric array composites are higher than those of the antisymmetric array composites. Hybrid configurations with symmetrical sequences are compared within themselves, it has been observed that the the buckling strengths of the composites having the stacking sequence $(30_c/-60_j)_{2s}$ and $(45_c/-45_j)_2$ was lower than the buckling strengths of composites having the $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$ stacking sequence.

As a result of the experimental study, it has been concluded that different environmental conditions, different stacking sequences and different orientation angles have a direct effect on the critical buckling loads of natural fiber and glass fiber reinforced hybrid composite materials.

Keywords: Hybrid composite, buckling behavior, jute fiber, glass fiber, sea water, cold environment.

2018, 89 pages



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana daima yardımcı olan, her aŐamada bilgi ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ'ye sonsuz teŐekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deney çalıŐmalarımın sağlıklı ve eksiksiz yürütölmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Yusuf ARMAN'a ve ArŐ. Gör. Akar DOĞAN'a teşekkür ederim.

5060-YL1-17 no'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım süresince maddi ve manevi destekleri ile her daim yanımda olan aileme teŐekkürlerimi sunarım.

Mustafa MUZOĞLU
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin genel yapısı.....	4
Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	6
Şekil 1.3. Kompozit malzemelerin kullanıldığı yolcu uçağı.....	6
Şekil 1.4. Kompozit malzeme kullanılmış deniz araçları.....	7
Şekil 1.5. Kompozit malzeme kullanılan spor malzemeleri.....	7
Şekil 1.6. Kompozit malzemelerden üretilmiş kompozit bacaklar.....	8
Şekil 1.7. Kompozit malzemelerden üretilmiş otomobil ön paneli.....	9
Şekil 1.8. Doğal liflerin sınıflandırılması.....	10
Şekil 1.9. Jüt bitkisi.....	11
Şekil 1.10. Hasat edilmiş jüt demetleri.....	11
Şekil 1.11. Jüt lifleri.....	12
Şekil 1.12. Dokuma jüt kumaşları.....	13
Şekil 1.13. Tüm mesnetlenme durumunda kolonlar.....	14
Şekil 3.1. Dokuma jüt kumaş.....	28
Şekil 3.2. Dokuma cam kumaş.....	29
Şekil 3.3. Jüt kumaşların NaOH ile yüzey modifikasyon işlemi.....	31
Şekil 3.4. Kompozit plakaların üretim aşamaları.....	33
Şekil 3.5. Shimadzu AG-X üniversal test cihazı.....	35
Şekil 3.6. Elastisite modüllerinin belirlenmesinde kullanılan farklı konfigürasyonlara ait hibrit kompozit numuneler.....	35
Şekil 3.7. Burkulma testi uygulanacak farklı konfigürasyonlara sahip kompozit numuneler.....	36
Şekil 3.8. İki ucu ankastre mesnet.....	37
Şekil 3.9. Burkulmaya maruz kalan hibrit kompozit numunede meydana gelen deformasyon.....	37
Şekil 3.10. Burkulma testi sonrası deformasyona uğramış kompozit numuneler..	38
Şekil 3.11. Burkulma testi sonrası numunede meydana gelen deformasyon.....	38
Şekil 4.1. Farklı ortamlarda bekletilen kompozit malzemelerin nem tutma oranları.....	41
Şekil 4.2. Farklı ortam koşullarında bekletilen C konfigürasyonuna ait numunelerin E_1 elastisite modülleri.....	42
Şekil 4.3. Kritik burkulma yükünün belirlenme yöntemi.....	44
Şekil 4.4. Oda koşullarında bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri.....	45
Şekil 4.5. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	46
Şekil 4.6. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	46
Şekil 4.7. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	47
Şekil 4.8. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	47
Şekil 4.9. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	48
Şekil 4.10. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	48
Şekil 4.11. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	49
Şekil 4.12. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (oda koşulları).....	49
Şekil 4.13. Deniz suyunda bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri.....	50
Şekil 4.14. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (deniz suyu).....	51
Şekil 4.15. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (deniz suyu).....	51
Şekil 4.16. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (deniz suyu).....	52
Şekil 4.17. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı (deniz suyu).....	52

Şekil 4.18. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu).....	53
Şekil 4.19. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu).....	53
Şekil 4.20. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)	54
Şekil 4.21. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)	54
Şekil 4.22. Soğuk ortamda bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri	55
Şekil 4.23. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	56
Şekil 4.24. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	56
Şekil 4.25. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	57
Şekil 4.26. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	57
Şekil 4.27. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)	58
Şekil 4.28. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)	58
Şekil 4.29. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	59
Şekil 4.30. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam).....	59
Şekil 4.31. Farklı ortamlarda bekletilen A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	65
Şekil 4.32. Farklı ortamlarda bekletilen B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	65
Şekil 4.33. Farklı ortamlarda bekletilen C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	66
Şekil 4.34. Farklı ortamlarda bekletilen D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	66
Şekil 4.35. Farklı ortamlarda bekletilen E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	67
Şekil 4.36. Farklı ortamlarda bekletilen F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	67
Şekil 4.37. Farklı ortamlarda bekletilen G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	68
Şekil 4.38. Farklı ortamlarda bekletilen H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği.....	68
Şekil 4.39. Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri	69
Şekil 4.40. C ve D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri.....	70
Şekil 4.41. E ve F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri	71
Şekil 4.42. Tüm kompozit numunelerde burkulma testi sonrası meydana gelen deformasyonlar	73
Şekil 4.43. Burkulma testi sonrası oluşan deformasyon	74
Şekil 4.44. B ve H grubu kompozit numunelerinde meydana gelen deformasyonlar	74
Şekil 4.45. Üç farklı ortam koşulu için H grubu hibrit kompozit numunelerinde meydana gelen deformasyonlar	75
Şekil 4.46. Burkulma testi sonucu elde edilen P_{kr}/t oranları.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Kompozitlerin matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılması.....	4
Çizelge 3.1. Jüt lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 3.2. Jüt lifinin kimyasal özellikleri	29
Çizelge 3.3. Cam liflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	30
Çizelge 3.4. Kompozit numune konfigürasyonları ve kalınlıkları.....	34
Çizelge 4.1. Hibrit kompozit numunelerin nem tutma oranları	40
Çizelge 4.2. Oda koşullarında bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri ...	44
Çizelge 4.3. Deniz suyunda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri	50
Çizelge 4.4. Soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri	55
Çizelge 4.5. Farklı ortamlarda bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yükleri.....	60
Çizelge 4.6. Simetrik ve antisimetrik diziliimli C ve D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri.....	70
Çizelge 4.7. Simetrik ve antisimetrik diziliimli E ve F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri.....	71
Çizelge 4.8. Burkulma testi sonucu elde edilen P_{kr}/t değerleri.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan
as	Antisimetrik
c	Cam fiber
E	Elastisite modülü
I	Atalet momenti
j	Jüt fiber
L	Uzunluk
M	Eğilme momenti
M	Nem tutma oranını
m_k	Kuru haldeki ağırlığı
m_y	Yaş haldeki ağırlığı
P	Yük
P_{kr}	Kritik burkulma yükü
s	Simetrik
t	Numune kalınlığı
θ	Oryantasyon açısı
ϵ	Birim şekil değiştirme
σ	Normal gerilme

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında ve günlük yaşamda hızla gelişen teknoloji, insanoğlunun artan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla her geçen gün yeni çalışmalar yapmaya neden olmaktadır. Düşük maliyetli, uzun ömürlü, çevreye duyarlı, dayanıklı, geri dönüştürülebilir özellikte ürünler elde etmek amacıyla yapılan çalışmaların önemli bir kısmı da kompozit malzemeler üzerine yapılmaktadır. Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla sayıdaki aynı veya farklı grup malzemelerin en iyi özelliklerini bir araya getirmek ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin makro seviyede birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Başka bir deyişle birbirlerinin zayıf yönünü iyileştirerek üstün özellikler elde etmek amacı ile bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzemeler olarakta adlandırılabilir. Kompozit malzemeler; havacılık ve uzay sanayi, kara ve deniz taşıtları, savunma sanayi, spor malzemeleri, inşaat, alt yapı ve enerji sektörü ve benzeri gibi birçok geniş alanlarda kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler takviye elemanı, matris malzemesi ve ara yüz fazından oluşmaktadır. Takviye elemanı kompozitte yükü taşıyan, yapıya mukavemet sağlayan 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 (Şahin, 2015).

Çeşitli takviye ve matris malzemelerinden oluşturulan kompozit malzemelerden kullanım amacına göre mukavemet, darbe dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma ve korozyona karşı direnç, kırılma tokluğu, estetik görünüm, çeşitli ortam şartlarına dayanıklılık, hafiflik, rijitlik, ısı iletkenliği ve ısı direnci gibi özellikler beklenebilir. Bu gibi özelliklerden birkaçının bir arada sağlanması için uygun takviye ve matris malzemesinin seçilmesi gerekmektedir.

20. yüzyılın başlarında geliştirilmeye başlanan plastik malzemeler düşük yoğunluklu ve hafif olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri, iyi yüzey kalitesi ve korozyona karşı dayanımlarının iyi olması gibi özelliklerinden dolayı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Ancak tek başlarına kullanıldıklarında iyi mekanik özellikler sağlayamayan plastik malzemelerin yerine kompozit malzemelerin 1940'lı yıllarda İkinci Dünya Savaşı sırasında savaş uçaklarında ve ilk yolcu uçaklarında kuyruk yüzeyi ve dümen gibi kontrol ünitelerinde kullanılmasıyla ilerlemiştir. Kompozitlerde en çok kullanılan takviye malzemesi cam elyaf iken en yaygın kullanılan matris ve takviye malzemesi ise cam elyaf/polyester, karbon elyaf/epoksi ve aramid elyaf/epoksi şeklindedir (Arıcasoy, 2006).

Kullanım ömrünü tamamlayan kompozit malzemelerin geri dönüştürülmeleri zor ve pahalıdır. Bu nedenle bazen gömülerek bazen de yakılarak imha edilmektedirler. İmha edilen malzemelerin yaratmış olduğu kirlilik ve hızla azalmakta olan doğal kaynaklar gelecek için büyük sorun oluşturmaktadır. Son yıllarda cam, karbon ve aramid gibi yüksek performanslı liflerle takviye edilen kompozit malzemelerin yüksek maliyeti ve çevresel zararları konusunda artan kaygılar bu kompozitlerin yerine jüt, keten, kenevir gibi sert doğal liflerle takviye edilmiş düşük maliyetli, doğada biyolojik olarak indirgenebilen, yenilenebilir, sürdürülebilir ve hafif kompozitlere olan ilgiyi artırmıştır. Bu kapsamda doğal lif takviyeli kompozitlerin otomotiv, inşaat, mobilya ve paketlenme gibi sektörlerde kullanım oranı gittikçe artmaktadır (Bulut ve Erdoğan, 2011; Yan vd., 2014).

Ancak doğal fiber takviyeli termoplastik polimerik malzemelerde, hidrofilik doğal fiber yüzeyleri ve hidrofobik termoplastik polimer arasındaki uyumluluk çok zayıftır. Bu uyumsuzluk doğal fiber ve termoplastik polimer arasındaki ara yüzeyel yapışmanın yetersiz olmasına neden olacak ve mekanik özellikleri de zayıflatacaktır (Karnani vd.,1992).

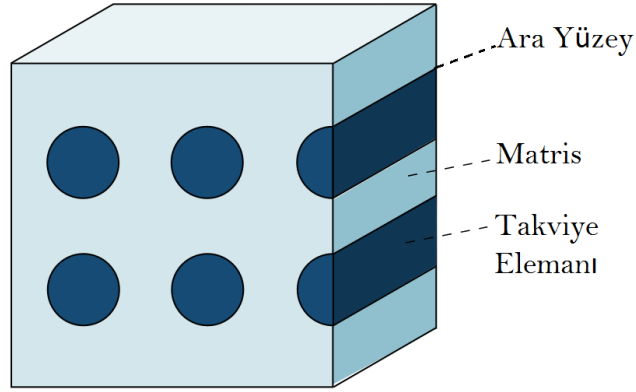
Kompozitlerin mekanik performansı yalnızca matris tipine, fiber tipine, fiber hacimsel oranına ve fiber oryantasyonuna bağlı olmayıp, ayrıca fiber-matris ara yüzey yapışmasına da bağlıdır. Doğal fiber yüzeyleri ve matris arasındaki

uyumluluğu geliştirmek için fiber yüzeyine çeşitli yüzey modifikasyon işlemleri uygulanmaktadır. Kullanılan modifikasyon işlemleri genel olarak alkali işlem, silan uyumlaştırıcı ajanı ile kimyasal işlem, asetik anhidrid ile kimyasal işlem, polimetilen, polifenil, izosiyanat ile kimyasal işlem ve plazma modifikasyon işlemleridir. Bu yüzey modifikasyon işlemleriyle fiber ile kimyasal maddeler etkileştirilerek fiber yüzeyinin matris ile uyumu arttırılmaktadır (Tserki vd., 2005).

1.1. Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler, genel anlamıyla birbirinden farklı iki ya da daha fazla sayıda malzemenin bir araya getirilmesi ile oluşan malzeme türüdür. Kompozitler kendisini oluşturan malzemelerin her birinden farklı özelliklere sahip karma malzemelerdir ve takviye ve matris olmak üzere en az iki materyalden oluşmaktadır (şekil 1.1.). Kompozit malzemelerin kullanıldığı yapılar da hafiflik, mukavemet, rijitlik, yorulma mukavemeti, elektrik ve ısı iletkenliği, ekonomiklik gibi kriterler takviye materyalinin seçiminde rol oynamaktadır. Lifler arasında gerilim transferini sağlamak, lifleri korozyona, oksidasyona, ortam şartlarına ve darbelere karşı korumak ise matris malzeme seçiminde önemli kriterlerdir.

Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik istenilen ihtiyaçların neler olduğunun iyi bilinmesi gereklidir. Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, ham malzeme özellikleri, evre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir. Tasarımda en büyük zorluklardan birisi de kompozit malzemelerin anizotropik özellikler göstermesidir. Bu yüzden tasarımcılar, parçaya tüm yönlerden ne kadar büyüklükte yk geleceğini ve parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyaç olduğunu iyi anlayıp, fiberlerin yerleşim alarını ona göre hesaplamalıdırlar.



Şekil 1.1. Kompozit malzemelerin genel yapısı (Materiale Composito, 2018)

Matris, takviye fazı ve ara fazın malzemenin mekanik karakteristiğini belirlediği bilinmektedir. Kompozit malzemeler matris malzemelerine ve takviye elemanlarına göre sınıflandırılması Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Kompozitlerin matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılması (Kaw, 2014)

Matris Malzemeleri	Takviye Malzemeleri	Kompozit Yapı Şekilleri
-Polimerler -Metaller -Seramikler	-Lifler -Whiskers -Pudra -Yonga -Granül	-Tabakalar -Film - Folyo -Bal peteği (Honeycomb) -Sürekli elyaf sarma -Kaplama (Laminant)

1.1.1. Kompozit malzemelerin avantajları

Kompozit malzemelerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, hafif yapılarda büyük avantaj sağlar. Bunun yanında fiber takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik yalıtımı sağlamaları da ilgili kullanım alanları için önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Kompozit malzemelerin dezavantajlı yanlarını ortadan kaldırmaya yönelik teorik çalışmaların olumlu sonuçlanması halinde kompozit malzemeler, metalik malzemelerin yerini alabilecektir (Onat, 2015).

Kompozit malzemelerin oldukça fazla avantajları vardır. Bunlar: yüksek mukavemet, kolay şekillendirme, çok üstün elektriksel özelliklere sahip olma, ısıya ve ateşe dayanıklılık, titreşim sönümlenme, korozyona ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılıktır.

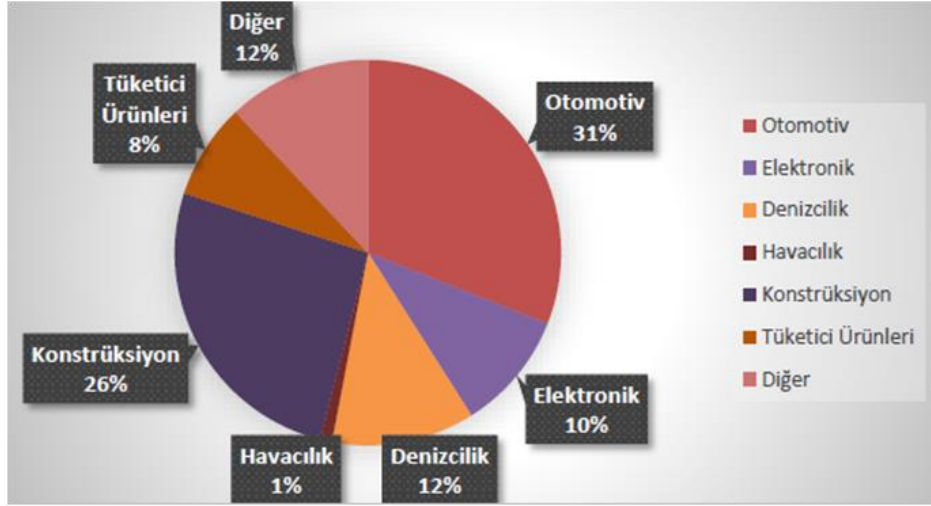
Kompozit malzemeler, aşağıda belirtilecek olan dezavantajlara rağmen çelik ve alüminyuma göre birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle kompozitler, kimyasal madde depolarında, karayolu tankerlerinde, bina cephe ve panolarında, otomobil gövde ve tamponlarında, deniz teknelerinde, komple banyo ünitelerinde, ev eşyalarında, tarım araçları gibi birçok sanayi alanında kullanılabilir bir malzemedir.

1.1.2. Kompozit malzemelerin dezavantajları

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise şöyledir: malzeme üretimi pahalıdır, lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanım özelliği bulunmaktadır. Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur. Kompozitler gevrek malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarımları yeni problemler yaratabilir. Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır. Bazı tür kompozitlerin soğutulmuş olarak saklanması gerekmektedir. Sıcak kurutma gerekmektedir. Kompozitler onarılmadan önce çok iyi olarak temizlenmeli ve kurutulmalıdır. Kompozit malzeme imalatında içeride kalan hava zerrecikleri malzemenin yorulma özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

1.1.3. Kompozit malzemelerin kullanım alanları

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı gittikçe artmış ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun süre uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimi son dönemlerde yeni sektörlerde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Şekil 1.2.'de kompozit malzemelerin kullanım alanları grafik halinde verilmiştir.



Şekil 1.2. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (Kaw, 2014)

Havacılık ve Savunma Sanayisi: Özellikle ileri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş uygulama alanları bulmaktadır. Kompozit malzemelerinin hafifliklerine oranla üstün mekanik özellikleri uçaklarda ve helikopterlerde sadece iç mekân değil yapısal parçaların da polimer esaslı kompozitlerle üretilmesini sağlamaktadır (Onat, 2015). Havacılık ve savunma sanayisinde kullanılan yerler şöyledir: bombardıman uçağı gövde panelleri, yolcu uçağı kanat panelleri ve flapler, yolcu uçağı burun bölümü, yolcu uçağı dikey stabilizer, savaş uçağı egzozları, zemin plakası, uçak eaps kapağı. Şekil 1.3.'te kompozit malzemelerin kullanıldığı yolcu uçağı görülmektedir.



Şekil 1.3. Kompozit malzemelerin kullanıldığı yolcu uçağı (Onat, 2015)

Denizcilik Sanayisi: Yelkenli gövdesi, yat ve tekne arkası platformları, basamaklar, yelken direkleri gibi yerlerde kullanılmaktadır. Şekil 1.4.'te kompozitler kullanılarak üretilen deniz araçları görülmektedir.



Şekil 1.4. Kompozit malzeme kullanılmış deniz araçları (Onat, 2015)

Spor Araçları Sektörü: Kompozit malzemelerin popüler olduğu yeni sektörler arasında spor araç ve gereçleri her geçen gün daha da öne çıkmaktadır. Düşük ağırlığından dolayı kompozitler hareket kabiliyetinin artmasına ve dayanıklılığın artmasına neden olmakta ve genellikle spor araçlarında cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitler kullanılmaktadır (Onat, 2015). Spor araçlarının kullanıldığı yerler ise şöyledir: su kayakları, kar kayakları, kano kürekleri, su kaydırakları, bisikletler, spor ayakkabıları, golf sopası, tenis raketleri, zıpkın gövdeleri ve paletlerdir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Kompozit malzeme kullanılan spor malzemeleri (Onat, 2015)

Sağlık Sektörü: Tekerlekli sandalyelerde, tıbbi tetkik cihazları dış muhafazalarında, protezlerde vb. gibi birçok sağlık sektöründe kompozitler oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Şekil 1.6.'da kompozit malzemelerden üretilmiş protez bacaklar görülmektedir.



Şekil 1.6. Kompozit malzemelerden üretilmiş protez bacaklar (Onat, 2015)

Ulaşım Sektörü: Kompozit malzemeler traktör kaportaları, kabinler, oturma yerleri, toplu taşıma araçları oturma yerleri, konteynır tabanları, otobüs havalandırma kanalları, bagaj parçaları, gösterge paneli, açık alan servis araçları (golf araçları) kaporta ve tavanları, teleferikler, trenler vb. gibi ulaşım sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Otomotiv Sektörü: Kompozit malzemeler otomotiv sektöründe cam silecekleri, filtre kutuları, pedallar, dikiz aynaları, far gövdeleri, hava giriş manifoldu, otomobil gösterge paneli, otomobil yan gövde iskeleti, otomobil kaportaları ve benzeri yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Şekil 1.7.'de kompozit malzemedan üretilmiş otomobil ön paneli görülmektedir.



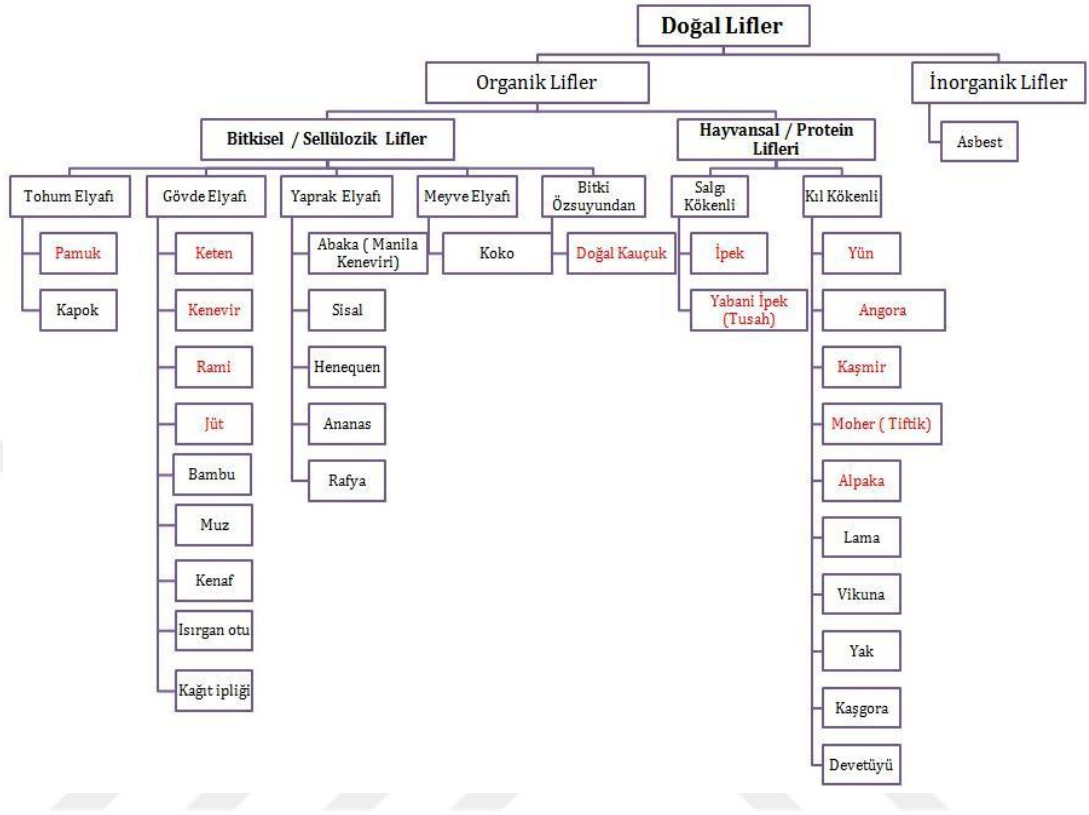
Şekil 1.7. Kompozit malzemelerden üretilmiş otomobil ön paneli (Onat, 2015)

Yapı ve İnşaat Sektörü: Köprü tabanları, tırabzanlar, yürüme yolları, bina balkon korkulukları, kapılar, taşıyıcı konstrüksiyonlar, yüzme havuzları, kapı saçakları, yer karoları, bina kaplama panelleri, küvetler, lavabolar, sokak lambaları, logar kapakları gibi yerlerde kullanılmaktadır.

1.2. Doğal Lifler

Kompozit malzemeler sağladıkları birçok avantajlar ile mühendislik uygulamalarında kullanılabilir olmuşlardır ve bu alandaki araştırmaların ve üretimin artmasını sağlamışlardır. Üretim oranındaki artışlar ise daha ucuz hammadde ihtiyacına sebep olmuştur. Tüm bunların yanı sıra kullanım ömrünü tamamlayan kompozit malzemelerin imha edilmesi veya geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Ancak aramid, karbon, cam gibi takviye malzemeleri ve epoksi, polyester, poliüretan gibi matris malzemeleriyle oluşturulan kompozitlerin birbirlerine kuvvetli şekilde bağlanmaları geri dönüşümlerini zorlaştırmakta ve pahalılaştırmaktadır. Bu takviye malzemelerinin üretim esnasında insan sağlığı açısından zararları olması, pahalı hammadde temini ve geri dönüşüm zorlukları nedeniyle onlara alternatif oluşturabilecek ucuz, çevreye dost ve sağlığa zararı olmayan takviye malzemeleri arayışını zorunlu kılmıştır. Bu sebeple polimer matris malzemelerinin pamuk, keten, kenevir, jüt, kenaf, rami, sisal gibi doğal

lifler ile takviyelendirilmesi günümüzde önemli bir noktaya ulaşmıştır. Şekil 1.8.'de doğal liflerin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.8. Doğal liflerin sınıflandırılması (Can, 2016)

1.2.1. Jüt lifleri

Doğal liflerin en ucuzu olan jüt bitkisi Corchorus familyasından yaklaşık 100 çeşidi olan bir bitkidir (Faruk vd., 2012). Ticari amaçla yetiştirilen çeşitleri ise beyaz jüt diye bilinen ve daha hafif Corchorus Capsularis ve daha yumuşak ve güçlü olan Corchorus Olitorius'tur. Jüt lifleri işlendikten sonra bile doğal parlaklığını koruduğundan altın elyaf olarak da adlandırılırlar. Bu bitkilerin boyu 2m ile 4m arası olabilir (Tekstil, 2013). Şekil 1.9.'da yetiştirilmekte olan jüt bitkileri görülmektedir.



Şekil 1.9. Jüt bitkisi (Anonim,2018)

Pamuktan sonra dünyada en fazla üretimi yapılan bitkidir. Tropik iklimde yetişen bu bitkinin anavatanı Hindistan'dır. Dünya çapında üretiminin %80'i Hindistan, Pakistan ve Bangladeş'de gerçekleştirilir (Başer, 1992). Üretimin bu bölgelerde fazla olmasının bir nedeni de işçiliğin çok ucuz olmasıdır. Bu bölgeler dışında Çin ve Malezya'da da yetiştirilmeye başlanmıştır. Ayrıca Akdeniz ülkelerinde de *Corchorus Olitorius* cinsi yetiştirilmektedir. Amerika'da ise Teksas ve Güney Karolina eyaletlerinde üretilmektedir. Şekil 1.10.'da hasat edilmiş jüt bitkileri görülmektedir.



Şekil 1.10. Hasat edilmiş jüt demetleri (Anonim, 2018)

Toplanması oldukça zor olan bitki yaklaşık üç ayda yetişkin hale gelir. Çiçek açtığı zaman toplanmalıdır. Tohum dönemine rastlayan mahsul ise ağır olur ancak elyafları kalınlaşmış ve sertleşmiştir. Toplanan jüt bitkisi balyalar halinde havuzlara atılır ve üzerleri orman bitkileri, hayvan gübresi ile örtülerek bekletilir. Kirli ve havasız su içinde jüt kabukları çürütülür. Çürütme sonunda elyaf demetleri kabuklarından elle soyularak ayrılır. Lifler daha sonra kurumaları için serilir (Saçak, 1994). Şekil 1.11.'de jüt bitkilerinden elde edilen lifler görülmektedir.



Şekil 1.11. Jüt lifleri (Anonim, 2018)

Elde edilen liflerin boyu 18-25cm'dir. İlk elde edildiğinde açık sarı olan lifler zamanla açık kahverengiye dönüşür. Kenevirden daha parlak elyaf elde edilir. Daha sonraki işlemler fabrikalarda makinelerle yapılır. Lifler taraklanarak temizlenir, bobinlere ip olarak sarılır. Jüt elyafının esnekliği azdır. Diğer selülozik liflerde olduğu gibi nem emiciliği fazladır. Mukavemeti keten ve kenevirden düşüktür. Dünyada üretilen jütün büyük bir kısmı çuval, örtü kumaşı, ip ve sicim yapımında kullanılır (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007). Şekil 1.12.'de jüt liflerinin dokunması sonucu oluşan jüt kumaşlar görülmektedir.



Şekil 1.12. Dokuma jüt kumaşları (Anonim, 2018)

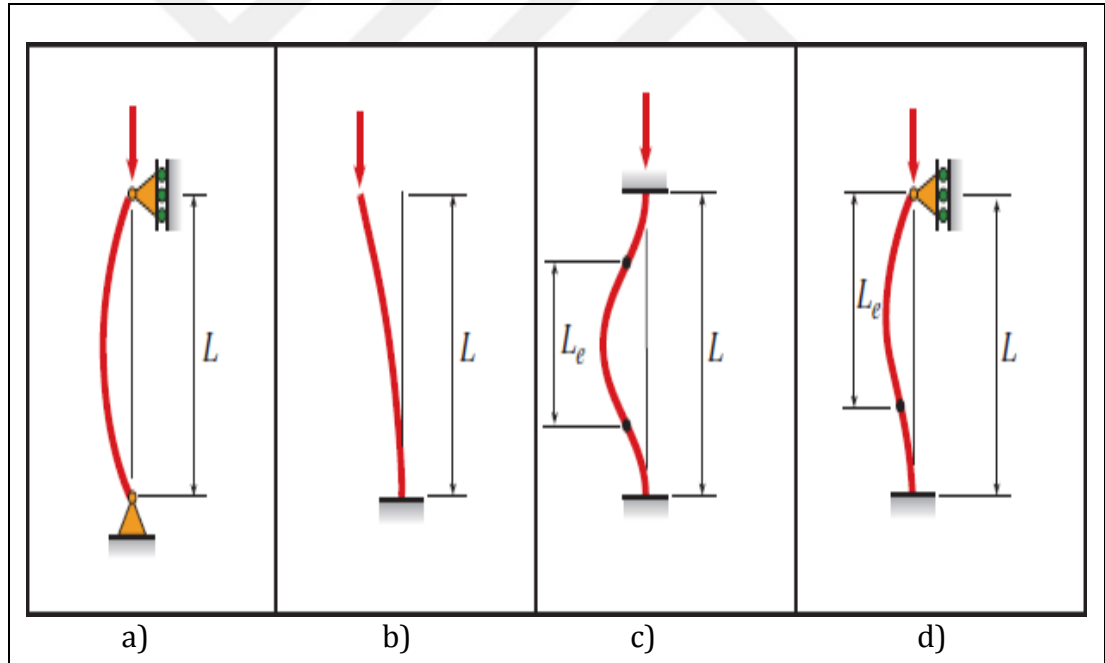
1.3. Burkulma

Mukavemet ve yapı elemanlarının boyutlandırılmasında üç temel karakteristik bulunmaktadır. Bunlar mukavemet (akma ve kırılma), rijitlik buna bağlı olarak deformasyon ve stablitedir. Stablitede kritik parametreler diğerlerinden çok daha farklıdır. Akma ve kopmada sistemdeki gerilmeler belirli bir değeri aşmışsa sistem emniyetsizdir denir. Bu tip problemlere gerilme problemi denir. Burkulmada ise denge problemi söz konusudur. Eğer denge konumu kararlı değilse sistemde doğabilecek en küçük bir farklılık sistemde çok büyük şekil değiştirmelere sebep olur ve sistemin tekrar ilk konumuna gelmesi imkânsızlaşır. Bu tip problemlere denge (stabilite) problemleri adı verilir.

Günümüzde yüksek mukavemetli malzemelerin kullanılması sebebiyle elemanların kesit alanları küçüldüğü için, yapı elemanlarında çok daha çabuk burkulma meydana gelmektedir. Bu nedenle, bir yapı veya makine elemanının seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli karakteristiklerden biri de stablitedir.

Yüklü elemanların burkulması veya burulması ani oluşan bir durumdur. Bundan dolayı birçok yapı elemanı ve malzeme stabilite bozukluğu nedeniyle çökme gibi büyük bir tehlike ile karşı karşıyadır. Dış kuvvetler veya sıcaklıktan dolayı meydana gelen termal kuvvetlerin etkisiyle burkulma olayı meydana gelebilir. Bu nedenle burkulma olayı incelenirken dış kuvvetlerin etkisi, sıcaklık ve malzemenin özellikleri dikkate alınmalıdır (İnan, 2015; Beer vd., 2003; Gere ve Goodno, 2014; Callister ve Rethwisch, 2014).

Kompozit malzemelerin burkulma dayanımının test edilmesi, bir ucunda sabit mesnet diğer ucunda hareketli mesnet bulunan bir çubuğa etki eden aksel kuvvetin değerinin artırılmasıyla oluşan elastik eğri şekil değişimi temeline dayanır. Burkulma deneylerinde çeşitli mesnet türleri bulunmaktadır (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Tüm mesnetlenme durumlarında kolonlar (Gere ve Goodno, 2014)

Şekil 1.13'te

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

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde kompozit malzeme üretiminde karbon, cam ve aramid gibi sentetik liflerin yerine doğal liflerin kullanılması, araştırmacılar için ilgi çekici bir alan olmuştur. Yapılan çalışmalar keten, kenevir, jüt, sisal, kenaf ve benzeri doğal liflerin kompozit malzeme üretimi için etkili bir takviye elemanı olabileceğini göstermiştir. Doğal liflere artan ilginin sebepleri doğada bolca bulunmaları, çevreye zarar vermemesi ve yenilenebilir hammadde olmalarıdır. Doğal lifler çok iyi termal özelliklere ve çok iyi akustik performansa sahiptir. Ancak doğal liflerden yapılan ürünlerin sentetik liflere nazaran düşük mekanik özellikler göstermesi, onların uygulamalardaki kullanımlarını sınırlandırmıştır. Literatürde matrisin, elyafın veya her iki bileşenin birlikte kimyasal veya fiziksel olarak modifiye edilmesi gibi farklı işlemlerle doğal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır (Zhang vd., 2013; Chouw vd., 2014).

2.1. Doğal Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları

Doğal liflerin takviye elemanı olarak kullanıldığı kompozit malzemeler üzerine yapılan literatür taraması sonucunda, çalışmaların çoğunun doğal liflerin ara yüzey yapışmasının arttırılması veya mekanik özelliklerin araştırılması üzerine olduğu gözlenmiştir. Ayrıca keten-cam elyaf, kenevir-cam elyaf, bazalt-cam elyaf, jüt-cam elyaf, keçe-cam elyaf ve benzeri doğal ve sentetik liflerin bir arada kullanıldığı çalışmalar da dikkat çekmektedir (Mishra vd., 2003; Dhakal vd., 2006; Sağbaş, 2009; Zhu vd., 2013).

Bulut ve Erdoğan (2011), doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılan selüloz esaslı lifleri, liflerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde en çok uygulanan ara yüzey modifikasyon tekniklerini detaylarıyla açıklamışlardır.

Yan vd. (2012), doğal lif takviyeli epoksi kompozitlerin alkali işlemleri ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Alkali işlemleri sonrası çekme ve bükülme özelliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda, alkali işlemleri yapılmış keten-epoksi kompozit malzemelerin çekme ve bükülme mukavemetlerinde alkali işlemleri yapılmayan malzemelere göre % 21,9 ve % 16,1 artış tespit edilmiştir.

Zhang vd. (2013), tek yönlü keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitlerin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Keten ve cam elyafın istiflenme sırasının malzemenin mukavemetini ve deformasyonunu etkilediği görülmüştür.

Ramnath vd. (2014), jüt, keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitin mekanik özelliklerini inceleyip jüt ve cam elyaf takviyeli kompozit ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre jüt, keten ve cam elyaf takviyeli karma doğal kompozitin daha iyi çekme ve eğilme özellikleri olduğu rapor edilmiştir.

Tütüncü (2016), selüloz esaslı jüt ve keten dokuma kumaşlarla takviye edilmiş epoksi matrisli karma kompozitlerin çevresel şartlar altındaki mekanik özelliklerini incelemiştir. Yüzey yapışma özelliğini arttırmak amacıyla, jüt ve keten dokuma kumaşlar alkali işleme tabi tutulmuştur. Üretilen kompozitler 168 saat asit ve bazlı ortamlarda bekletilmiştir. Daha sonra çevresel şartların kompozitlerin mukavemeti üzerine etkilerini belirlemek amacıyla çekme ve darbe testleri uygulanmış ve hidroklorik asit çözeltisi içinde bekletilen numunelerin dayanımlarının, sodyum hidroksit çözeltisi içinde bekletilen numunelerden daha az olduğu görülmüştür.

Can (2016), selüloz esaslı jüt lifinden dokunmuş jüt kumaş, protein esaslı yün lifinden dokusuz kumaş keçe ve cam dokuma kumaş kullanarak karma kompozitlerin üretimini yaparak mekanik özelliklerini incelemiştir. Çekme ve üç nokta eğme testleri sonucunda, kompozitlerin fiber yönündeki çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

2.2. Jüt Takviyeli Kompozit Malzemeler Üzerine Yapılan Literatür Çalışmaları

Ahmed vd. (2007), jüt/cam takviyeli polyester karma kompozitlerin düşük hızlı darbe hasar karakteristiğini inceleyerek, jüt tabakalarının daha fazla enerji absorbe edebilme kabiliyeti olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber, jüt tabakalarının jüt/cam karma tabakalarına göre daha az hasar toleransı kabiliyeti olduğunu rapor etmişlerdir.

Yeşildal (2010), farklı kalınlıklara sahip jüt-epoksi kompozit malzemelerin darbe davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Takviye elemanı olarak jüt bitkisinden elde edilen örme kumaş kullanmıştır. Sonuç olarak, kalınlık arttıkça numunenin hasara uğraması için gerekli enerjinin de arttığı görülmüştür.

Sever vd. (2011), ısı çevrimin alkali ve siloksan yüzey işlemi uygulanmış jüt elyaf takviyeli yüksek yoğunluklu polietilen kompozitlerin tabakalar arası kayma dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapışma miktarı arttıkça ısı çevrimin etkisinin azaldığı görülmüştür. Alkali işlem uygulanan jüt ile takviyelendirilmiş kompozitler hiç işlem yapılmamış jüt elyafı ile üretilen kompozitlere göre ısı çevrimden daha az etkilenmiştir.

Dhakal vd. (2013), düşük hızlı darbe yükü altında jüt takviyeli biyo kompozitlerin darbe davranışını inceledikleri çalışmalarında lif dizilişi ve kalınlık değişiminin darbe dayanımında büyük bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Kalınlıktaki artışla toplam absorbe edilen enerji ve maksimum pik yükünün lineer olarak arttığını tespit etmişlerdir.

Hossain vd. (2013), jütleri (0/0/0/0), (0/+45/-45/0) ve (0/90/90/0) şeklinde istifleyerek jüt takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlere çekme ve üç nokta eğilme testleri yapılarak deneysel sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Üretilen tüm kompozitler için deneysel sonuçlar göstermiştir ki gerilme özellikleri büyük oranda jüt elyafın gerilme mukavemetine ve jüt elyafın yapısındaki kusurlara bağlıdır.

Karabulut ve Aktaş (2014), dokuma jüt/polyester kompozit malzemelerin NaOH ile yüzey modifikasyon işlemi sonrası mekanik özelliklerini araştırmıştır. Jüt kumaşlar, %2 oranındaki NaOH çözeltisinde 20 saat yapılan işlemden sonra %5, %10 ve %15 oranında NaOH çözeltisinde 4 saat bekletilmişlerdir. Deney sonuçları NaOH miktarı arttıkça dokuma jüt kumaşların yapışma kabiliyetinin arttığını ve dokuma tipi jüt/polyester tabakalı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermiştir.

Hazizan vd. (2014), tarafından yapılan çalışmada jüt ve cam lifi ile güçlendirilmiş karma kompozitlerin nem tutma kapasitelerini incelemiştir. Artan nem miktarı ile çekme ve eğilme mukavemetini düşürdüğü belirlenmiştir.

Pandita vd. (2014), dokuma jüt kumaş ve onunla yapılan karma kompozitlerin mekanik özelliklerini ve yaşam döngüsü değerlendirmesini incelemiştir. Dokuma jüt/cam kompozitlerin eğilme ve darbe özelliklerinin sadece dokuma jüt kompozite göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Jüt kompozitlerin ve jüt içeren karma kompozitlerin üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir. Buna göre jüt/cam elyaf kompozitlerin üretiminin sadece jüt elyafli kompozitlere göre daha olumsuz çevresel etkilerinin olduğu vurgulanmıştır.

Dhakal vd. (2014), el yatırma ve vakum paketleme yöntemiyle üretilmiş jüt elyaf takviyeli doymamış polyester (UP) matrisli kompozitlerin darbe davranışına sıcaklık ve darbe hızının etkisi incelemiştir. Test sıcaklığı artışının darbe sonrası eğilme mukavemetini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Karaduman (2014), doğal lif takviyeli sandviç kompozitler üreterek mekanik özelliklerini karakterize etmiştir. Sandviç kompozitlerin üretiminde yüzey elemanı olarak farklı oranlarda jüt lifi içeren jüt/polipropilen (PP) karışımını dokusuz yüzey kumaşla takviye ederek kullanmıştır. Sandviç kompozitlerde merkez elemanı olarak farklı kalınlıklarda balsa odunu, polyester (PET) köpük ve polipropilen (PP) bal peteği yapılarını kullanmıştır. Üretilen sandviç kompozitlerin mekanik özelliklerini deneysel olarak incelemiş, aynı zamanda analitik ve nümerik olarak modellemiştir.

Braga ve Magalhaes (2015), ham jüt ve cam elyaf ile takviyelendirilmiş epoksi matrisli karma kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre jüt ve cam elyafın bir arada kullanılması yoğunluğu, darbe enerjisini, çekme mukavemetini ve eğilme mukavemetini artırmış ancak sıcaklığın fonksiyonu olarak kütle kaybını ve su emilimini azaltmıştır.

Taşkın (2015), selüloz esaslı jüt lifinden dokunmuş jüt kumaş ve protein esaslı yün lifinden dokusuz keçe kumaş kullanılarak üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini ve darbe dayanımlarını araştırmıştır. Sadece jüt kumaş takviyeli, sadece keçe takviyeli ve karma, hem jüt kumaş hem de keçe takviyeli olmak üzere üç farklı tipte kompozit imal etmiştir. Keçe ve jüt kumaştan hazırlanan karma kompozitin darbe dayanımı her iki yüzey içinde test edilmiş ve keçe yüzün darbeyi karşıladığı durumda meydana gelen hasarın daha az olduğunu belirtmiştir.

Özes ve Taşkın (2016), jüt kumaş ve yün keçe takviyeli iki ayrı doğal kompozitlerin darbe davranışlarını araştırmışlardır. Jüt kumaşları yüzey yapışma özelliğinin artırılması için %10 NaOH çözeltisinde 4 saat bekleterek yüzey modifikasyon işlemi uygulamışlardır. Yün keçeyi hiçbir işleme tabi tutmamışlardır. Darbe dayanımlarını belirlemek amacıyla kompozit numunelere üç enerji seviyesinde testler uygulanmıştır. Sonuç olarak aynı darbe yükü uygulanan yün keçe takviyeli kompozitlerde hasarın daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Göz (2016), çalışmasında vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile üretilen jüt ve keten dokuma kumaş takviyeli, epoksi matrisli, farklı elyaf dizilişine sahip kompozit plakaları çekme ve darbe testlerine tabi tutarak elyaf dizilişinin karma kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda farklı elyaf dizilişlerinin karma kompozit malzemelerde çekme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerinde farklılığa neden olduğunu belirtmiştir.

Sağır (2016), jüt ve keten dokuma kumaşlarla takviye edilmiş, epoksi matrisli karma kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Üretilen kompozit plakalardan hazırlanan numunelere çekme testleri yapmıştır. Ardından plakalara darbe testleri uygulamıştır. İlk plaka için yapılan testlerde hem jüt hem de keten yüzeyden darbe uygulanarak, darbeyi ilk karşılayan yüzeydeki malzemenin farklı olmasının etkilerini araştırmıştır.

Padmaraj vd (2017), yaptıkları çalışmada gerilim yüklemesi altındaki tabakalı jüt-epoksi kompozitlerin yorulma davranışını ve ömür değerlendirmesini araştırmışlardır. Jüt kumaşlar 6 saat süreyle %1'lik NaOH ile yüzey modifikasyon işlemine tabii utulmuştur. Vakum infüzyon yöntemiyle jüt-epoksi kompozit malzemeleri üretmişlerdir. Deney sonucunda alkali işlem uygulanan fiberlerin yorulma dayanımının daha iyi olduğunu görmüşlerdir.

Jawaid vd. (2017), palmiye yağı/jüt elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin termal iletkenlik davranışını araştırmışlardır. Matris olarak epoksi, takviye malzemesi olarak palmiye yağı, boş meyve lifleri ve jüt lifleri kullanarak farklı tabaka sayılarında el yatırma tekniği ile hibrit kompozit malzeme üretmişlerdir. Sonuç olarak palmiye yağı takviyeli hibrit kompozitlerin, jüt lifi takviyeli kompozitlerden daha düşük termal iletkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

Gupta (2018), jüt elyaf takviyeli epoksi kompozitlerde değişen frekansların dinamik mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri araştırmıştır. Bu çalışmada, jüt elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemeler, el yatırma tekniği ile hazırlanmış, ardından jüt liflerin ağırlık yüzdeleri (10, 20, 30 ve 40) şeklinde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kompozitlerde lif yükünün artmasıyla termal stabilitenin ve yük taşıma kapasitesinin arttığını, buna ek olarak, frekanslardaki değişimlerin jüt kompozitlerin dinamik mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

Chaudhari vd. (2018), yaptıkları çalışmada kimyasal işlem görmüş jüt-polyester kompozitlerin termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, kimyasal işlem görmemiş jüt-polyester kompozitlere göre NaOH ile kimyasal

işlem görmüş jüt-polyester kompozitlerde daha iyi mekanik özellikleri, daha yüksek gerilme mukavemeti ve elastisite modülü görmüşlerdir.

Boccardi vd. (2018), jüt esaslı kompozitlerin karakterizasyonun da kızılötesi termografinin etkisini incelemişlerdir. Jüt takviyeli kompozitler darbe ve yarı statik eğilme testlerine tabii tutmuşlardır. Her test altındaki numunelerin hat içinin izlenmesi için kızılötesi görüntüleme cihazı kullanmışlardır.

2.3. Farklı Ortam Koşullarına Maruz Kompozit Malzemeler İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları

Yapılan çalışmalarda uzun süre çevresel koşullara maruz kalan kompozitlerin mekanik özelliklerinde değişimler meydana geldiği gözlenmiştir. Malzemelerdeki bu değişiklik kritik görevi olan yapılarda gerçekleşerek büyük bir yıkıma neden olabilir. Bu nedenle çevresel koşullara maruz kompozit malzemelerin özelliklerindeki değişim iyi bilinmelidir. Başlıca çevresel yaşlanma faktörleri olan sıcaklık, nem, ultraviyole ışık (UV), tuzlu su, dış yükler ve bunların birleşimi gibi durumlar altında kompozit malzemeler bozulabilir ve mekanik özelliklerinde bir değişim meydana gelebilir (Deroine vd., 2014; Mula vd., 2006; Sharma vd. 2008).

Kim vd. (2007), yaptıkları çalışmada T700/epoksi tabakalı kompozit malzemelerin -50°C, -100°C ve -150°C sıcaklık değerlerindeki mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Sıcaklık düşüşleri ile birlikte malzemenin mekanik özelliklerinde ve dayanımlarında önemli derecede artışların olduğunu belirtmişlerdir.

Mouzakis vd. (2008), sıcaklık, nem ve ultraviyole radyasyonun polimer kompozitler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada çevresel yaşlanma döngüsü kurulmuş ve test edilmiştir. Bu çevrim sonunda çekme, üç nokta eğilme ve dinamik analizler yapılmıştır. Sonuç olarak çevresel yaşlanmanın süresi arttığında çekme mukavemetinin ve kopma uzamasının düştüğü, elastisite modülünde ise artışların meydana geldiği görülmüştür.

Belevi ve İnançer (2008), çalışmalarında kompozitlerin mekanik özellikleri ve darbe dayanımı üzerine sıcaklık, nem ve tuz gibi ortam şartlarının etkileri incelenmiştir. Çevresel faktörlerin ve darbe yüklerinin birçok kompozit malzemenin fiziksel özellikleri ve darbe sonrası dayanımları üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Akgün (2010), onarılmış cam/epoksi kompozit plakların darbe davranışlarının deneysel yolla incelemiştir. Bu çalışmada, çeşitli parametrelerin onarılmış kompozit plakların darbe davranışına etkilerini araştırmıştır. İlk olarak onarım, yama derinliği, son olarak da test sıcaklığının (-50°C, 20°C, 90°C) etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, sıcaklığın yamalı kompozitleri yamasızlara oranla daha fazla etkilediği görülmüştür.

Boubakri vd. (2010), çevresel yaşlanma koşulların termoplastik poliüretanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Saf su içinde 25°C, 70°C ve 90°C'de bekletilen numunelerin çekme ve dinamik mekanik termal analiz testleri yapmışlardır. Bu testler sonunda, mekanik özelliklerin bozulduğu ve bu bozulmanın büyük oranda sıcaklık ve yaşlandırma süresine bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Rashdi vd. (2010), tarafından yapılan çalışmada kompozit malzemeler farklı ortamlara maruz bırakılarak, oda koşulları ile nemli ortam koşulları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, nemli veya sulu ortamlarda bekletilen malzemelerin çekme mukavemetinde düşüşler olduğu rapor edilmiştir.

Öndürücü (2012) tarafından yapılan çalışmada, örgü cam epoksi prepreglerin pim yükü altındaki bağlantı davranışı üzerine deniz suyunun etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Laboratuvar koşullarında bir yıl boyunca deniz suyunda bekletilen pim bağlantılı prepreglerde bağlantı bölgesinde oluşan yatak dayanımları ve hasar modları belirlenmiştir. Deniz suyunda bekletilen kompozit numunelerin yatak dayanımlarının, kuru numunelerin yatak dayanımlarına göre önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir.

Vieille vd. (2012), çevresel koşullara maruz kalmış termoplastik ve termoset kompozitlerin mekanik özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Numuneler 120°C de hidrotermal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. Yaptıkları bu araştırma sonucunda hidrotermal yaşlanmanın ve sıcaklığın kompozit malzemelerin servis ömrü üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu gözlemlemiştir.

Torabizadeh (2013), statik yük altındaki farklı oryantasyon açlarına sahip tek yönlü cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki (25°C, -20°C ve -60°C) mekanik davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonucu olarak, düşük sıcaklıkların kompozitin hasar moduna önemli etkisi olduğu belirtilmiştir. Sıcaklığın düşmesiyle kompozitin çekme, basma ve kayma dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

Aydın (2014), çevresel koşulların yapıştırılmış kompozitlerin mekanik performanslarına etkisi isimli çalışmada, yapıştırma yöntemiyle birleştirilmiş sabit kalınlıktaki kompozit malzemelerin çeşitli sıcaklık değerlerindeki mekanik performansları incelenmiştir. Sonuç olarak sıcaklığın ve yapıştırma boyunun yapıştırma bağlantısının dayanımına yoğun etkisinin olduğu görülmüştür.

Sayman ve Esendemir (2016), örgü cam-epoksi pimli bağlantılarda meydana gelen hasar şekilleri ve yatak dayanımları üzerine yağmur suyunun etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar ortamında 20 ay süre ile yağmur suyunda bekletilen numunelerin yatak dayanımlarının kuru numunelerin yatak dayanımlarına göre düştüğü rapor edilmiştir.

2.4. Kompozit Malzemelerin Burkulma Davranışları İle İlgili Yapılan Literatür Çalışmaları

Arman (2003), dairesel bir delik etrafındaki dairesel bir delaminasyonun dokuma kumaştan üretilmiş bir kompozit plakanın kritik burkulma yüküne etkisini nümerik ve deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışmada delaminasyonsuz ve delaminasyonlu numuneler üretilip burkulma testine tabi

tutmuş ve elde ettikleri deneysel sonuçları nümerik analiz sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Cappello ve Tumino (2006), çok sayıda delaminasyona sahip tek yönlü ve çapraz katlı tabakalı kompozit plakaların burkulma ve burkulma sonrası davranışını çalışmışlardır. Delaminasyonun uzunluğu, konumu ve tabaka diziliminin kritik burkulma yüküne olan etkisini bulmuşlardır.

Pekbey (2008), üst ve alt ucu ankastreli, kayıcı mesnetli ağırlığı dikkate alınan sudaki çubuk için çözüm yapılmıştır. Küçük çubuk uzunlukları için, hem hava hem de su içerisinde yer alan çubukta, boyutsuz kritik burkulma kuvvetinin oldukça birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Yapıcı ve Metin (2009), E-cam lifi/epoksi tabakalı panellerin darbe sonrası kritik burkulma yükünü deneysel olarak bulmuşlardır. (+45/-45/90/0)_{2s} fiber oryantasyonuna sahip kompozit numuneleri farklı darbe enerji seviyelerinde özel olarak geliştirilen düşey ağırlık düşürme test makinesiyle düşük hızlı darbe yüklemesine maruz bırakmışlardır.

Altan (2010), farklı darbe enerji seviyelerinde darbeye maruz kalmış E-cam lifi/epoksi tabakalı kompozitin burkulma yükünü deneysel olarak çalışmıştır. Darbeli numunenin burkulma yükü darbesiz numunenin burkulma yükünden yaklaşık % 20 daha düşük çıkmıştır.

Erkliğ ve Yeter (2012), kompozit plakaların burkulma davranışlarını teorik ve nümerik olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre kompozit plakaların fiber yönlendirme açılarının burkulma yükleri üzerinde önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir. 45°'lik açı kullanıldığında minimum burkulma yüküne ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

Yeter vd. (2014), simetrik ve antisimetrik dizilime sahip hibrit kompozit plakaların burkulma davranışını nümerik olarak incelemişlerdir. Plakaların üretiminde, fiber olarak karbon, S-cam ve aramid lifleri, matris olarak da epoksi

reçine kullanılmıştır. Farklı delik geometrilerine sahip kompozit plakaların burkulma davranışı üzerine plaka kalınlığının, plaka en/boy oranının, delik geometrilerinin tipi ve yerinin ve istifleme dizilimlerinin etkileri araştırılmıştır.

Behrooz vd. (2017), kompozit malzemelerden üretilen silindirlerin kesme ve burkulma davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Geometrik şekillerin delikli kompozit silindirlerin burkulma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. $[90/+23/-23/90]$ istifleme dizilimine sahip cam/epoksi kompozit silindirler, filaman sarım tekniği kullanılarak imal edilmiş ve aksel yük altında test etmişlerdir. Test edilen delikli silindirlerin burkulma yükünün ve sertliğinin oldukça iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Jiao vd. (2017), ahşap kompozit I-kirişlerin sinüzoidal oluklu ağ ile kritik burkulma yükünü belirlemişlerdir. Sinüzoidal ağ şekli konfigürasyonunun değiştirilmesi ile kompozit I kirişlerinin burkulma yüklerinin önemli ölçüde değiştiğini ve sinüzoidal oluklu I kirişlerin ağ kalınlığı ve kiriş uzunluğun kritik burkulma yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Han vd. (2018), yaptıkları çalışmada gövde kuvveti ve uç yüklere maruz kalan oluklu sandviç tabakaların burkulma davranışını dört farklı sınır koşulu altında analiz etmişlerdir. Tabakalardaki kesme deformasyonunun kritik burkulma yükleri üzerindeki etkisi, zig-zag kesme deformasyon teorisi kullanılarak geliştirilmiştir.

Rafiee vd. (2018), çok katlı fiber takviyeli grafen kompozitlerin modellenmesini ve mekanik incelemelerini yapmışlardır. Kompozitlerin lineer olmayan eğilmelerini, termal burkulmalarını ve büyük genlikli titreşimini analiz etmişlerdir. Grafen nanopartikülleri, epoksi reçineye dağılmış ve rastgele yönlendirilmiş şekilde eklemişlerdir. Sonuç olarak, merkezi defleksiyon ve doğal frekansın grafenlerin eklenmesiyle önemli ölçüde iyileştiğini belirtmişlerdir. Ancak grafenlerin eklenmesiyle, daha düşük kritik burkulma sıcaklıkları görülmüştür.

Kayıran (2018), farklı ortam koşullarında bekletilen farklı oryantasyon açlarına sahip hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışı araştırılmıştır. Hibrit kompozitler soğuk ortamda ve deniz suyunda farklı sürelerde bekletilmiştir. Sonuç olarak soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yükünün arttığını, deniz suyunda bekletilen malzemelerin ise kritik burkulma yükünün azaldığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada; takviye elemanı olarak jüt liflerinden dokunmuş jüt kumaşlar ve cam liflerinden dokunmuş cam kumaşlar, matris malzemesi olarak Huntsman marka Araldite LY 1564 epoksi reçine ve sertleştirici olarak da Aradur 3487 sertleştirici kullanılarak doğal lif takviyeli hibrit kompozit malzemeler üretilmiştir. Burkulma deneyi uygulanacak olan farklı istifleme dizilimlerine sahip simetrik ve antisimetrik hibrit kompozit plakaların üretimi el yatırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Üretim esnasında yüzey yapışma özelliklerinin artırılması amacıyla jüt kumaşlara alkali işlem uygulanmıştır. 8 tabakalı olarak üretimi yapılan doğal lif takviyeli hibrit kompozitler üç farklı ortamda (oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam) 60 gün boyunca bekletilmişlerdir. Bekleme süreleri dolan hibrit kompozit malzemeler buldukları ortamdan alınır alınmaz burkulma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Hibrit kompozitlerin mekanik özellikleri ve burkulma davranışları Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan 100 kN yük kapasiteli Shimadzu AG-X çekme-basma universal test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Burkulma testlerinden elde edilen veriler yardımıyla hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri belirlenerek, farklı ortamların ve farklı istifleme dizilimlerinin bu kompozitlerin burkulma davranışları üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

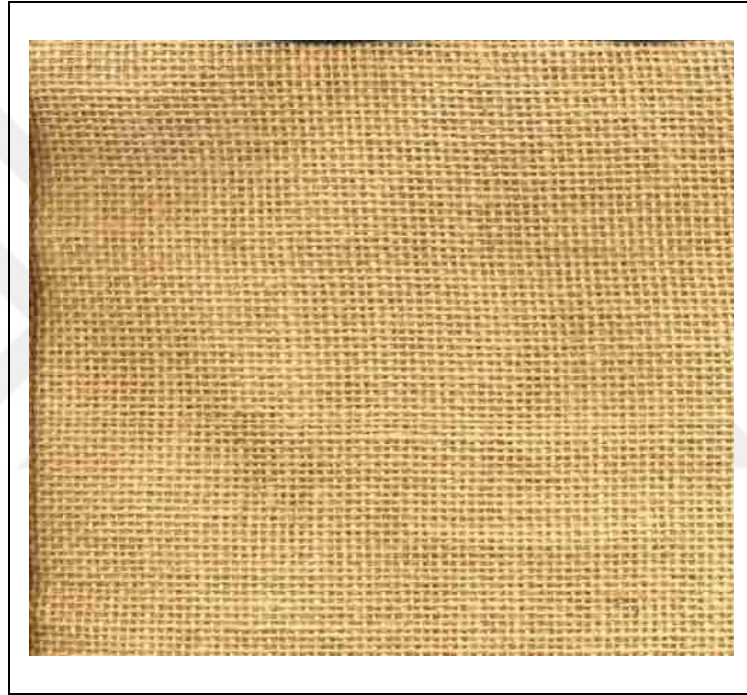
Bu çalışmada, jüt kumaşı ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışları üzerine farklı istifleme dizilimlerinin ve farklı ortam koşullarının etkileri araştırılmıştır. Ortam koşulu olarak oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam olmak üzere üç farklı ortam ve bekleme süresi olarak da 60 gün (iki ay) süre belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan hibrit kompozit plakaların üretimi Fibermak Mühendislik firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemeler, simetrik $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$, $(30_c/-60_j)_{2s}$, $(45_c/-45_j)_{2s}$ ve antisimetrik $(0_c/90_j)_{2as}$, $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ yönlendirme açılarında üretilmiştir. 400mmx400mm boyutlarında üretilen kompozit plakalardan burkulma deneyinde kullanılmak üzere 20mmx200mm ölçülerinde numune kesimi yapılmıştır. Kompozit numunelerin kalınlıkları 4,3mm ile 5,2mm arasında değişkenlik göstermektedir.

Kompozit numunelerin burkulma davranışlarına farklı ortam şartlarının etkisini araştırmak amacıyla numuneler üç gruba ayrılmıştır. Her bir grup hibrit kompozit numune üç farklı ortamda ağzı kapalı plastik kaplarda iki ay (60 gün) boyunca bekletilmiştir. 1. grup deney numuneleri laboratuvar ortamında oda sıcaklığında 60 gün boyunca bekletilmiştir. 2. grup deney numuneleri yine laboratuvar ortamında ağzı kapalı plastik kaplarda %3,8 tuzluluk oranına sahip Akdenizden temin edilen deniz suyunda bekletilmiştir. 3. grup deney numuneleri de soğuk ortamda (-18°C) bekletilmişlerdir. Bekleme süreleri tamamlanan numuneler daha sonra buldukları ortamdaki ortamdan alınarak hiç bekletilmeden burkulma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Hibrit kompozitlerin burkulma deneyleri Dokuz Eylül Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan 100 kN yük kapasiteli Shimadzu AG-X çekme-basma universal test cihazı yardımıyla yapılmıştır. Burkulma deneyleri sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda her bir ortam koşulu için doğal lif takviyeli hibrit kompozit numunelerin burkulma yükü-deplasman grafikleri çizilmiş ve kritik burkulma yükleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda jüt lifi takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışı üzerine farklı ortamların ve farklı istifleme dizilimlerinin nasıl bir etki oluşturduğu araştırılmıştır.

3.1. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Jüt dokuma kumaş

Bu çalışmada kullanılacak hibrit kompozitlerin üretimi için takviye malzemesi olarak kullanılan dokuma tip jüt kumaşların ölçüleri 100cmx100cm, gramajı 320gr/m²'dir. Şekil 3.1.'de jüt liflerinden elde edilen dokuma jüt kumaşının görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.1. Dokuma jüt kumaş (Anonim, 2018)

Jüt liflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1.'de, kimyasal özellikleri ise Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Jüt lifinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Bulut ve Erdoğan, 2011)

Lif	Yoğunluk (gr/cm ³)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Çap (µm)	Polimerizasyon Derecesi	Nem İçeriği (%)
Jüt	1,3-1,45	393-773	13-26,5	1,16-1,5	25-200	1920-4700	12,6

Çizelge 3.2. Jüt lifinin kimyasal özellikleri (Bulut ve Erdoğan, 2011)

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)	Vaks (%)	Nem İçeriği (%)
Jüt	61-71,5	12-13	13,6-20,4	0,2	0,5	12,6

3.1.2. Cam dokuma kumaş

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak jüt kumaşın yanısıra 300 gr/m² ağırlığındaki cam dokuma kumaş kullanılmıştır. Cam dokuma kumaş, hammaddesi cam olup yapay elyaf olan cam lifinin dokunması ile elde edilir. Maliyeti düşük, mekanik özelliği ve darbe dayanımı oldukça iyidir. Bükülmüş yapıda değildir, kolay ıslanır ve örtmesi-sermesi oldukça pratiktir. Özel takviye kumaşlarına göre daha düşük maliyette olduğundan dolayı çok geniş kullanım alanına sahiptir. Şekil 3.2.'de dokuma cam kumaş görülmektedir.



Şekil 3.2. Dokuma cam kumaş (Anonim, 2018)

Çizelge 3.3.'te dokuma cam liflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Cam liflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Mohanty vd., 2000)

Lif	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Çap (µm)
Cam	2,5	2000-3500	70	2,5	<17

3.1.3. Epoksi reçine

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak Huntsman marka Araldite LY 1564 epoksi reçine ve sertleştirici olarak da Aradur 3487 sertleştirici kullanılmıştır.

3.2. Kompozit Malzemenin Üretim Aşamaları

3.2.1. Yüzey modifikasyonu

Kompozit malzemelerde ara yüz fazı oldukça önemli bir yere sahiptir. Malzemelerde oluşan ara yüz fazı takviye ve matris elemanlarının arasındaki bağlarla oluşur. Ara yüz fazında oluşan bu bağların sahip olduğu bağ kuvvetleri, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemektedir. Kompozit yapılara uygulanan yüklemeler ara yüz fazı sayesinde takviye malzemelerine iletilir. Bu nedenle çok iyi mekanik özelliklere sahip bir kompozit malzeme elde edebilmek için ara yüzeyler boyunca iyi bir yapışma sağlanmalıdır. Bu amaçla doğal fiber yüzeyleri ve matris arasındaki uyumluluğu geliştirmek için fiber yüzeyine çeşitli yüzey modifikasyon işlemleri uygulanmaktadır. Kullanılan modifikasyon işlemleri genel olarak alkali işlem, silan uyumlaştırıcı ajanı ile kimyasal işlem, asetik anhidrid ile kimyasal işlem, polimetilen, polifenil, izosiyanat ile kimyasal işlem ve plazma modifikasyon işlemleridir (Tserki vd., 2005).

3.2.2. Jüt kumaşlar için alkali işlem

Alkali işlem, termoset ve termoplastik matris malzemelerin doğal elyafla takviyelendirileceği uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kimyasal yüzey modifikasyon işlemidir (Faruk vd., 2012). Alkali işlem çeşitli oranlarda ve

sıcaklıklarda hazırlanan NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisiyle yapılabilir. Değişen sıcaklık ve NaOH miktarına bağlı olarak da işlemin etkinliği değişmektedir. Aşırı miktarda yapılan alkali işlem sonucunda ise elyaflar zarar görebilir. Bu nedenle optimum değerlere ulaşmak gerekmektedir.

Bu çalışmada, hibrit kompozit plaka üretimi için 100cmx100cm boyutlarında kesilen jüt kumaşlar NaOH(kostik) ile yüzey modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Modifikasyon işlemi yapılmadan önce pektin, lignin, selüloz ve vaks gibi yabancı materyallerden temizlemek için kumaşlar çeşme suyunda yıkanmış ve gölge bir yerde 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalara dayanarak jüt kumaşın NaOH ile yüzey modifikasyonunda derişim oranı %10, bekleme süresi 4 saat olarak seçilmiştir.

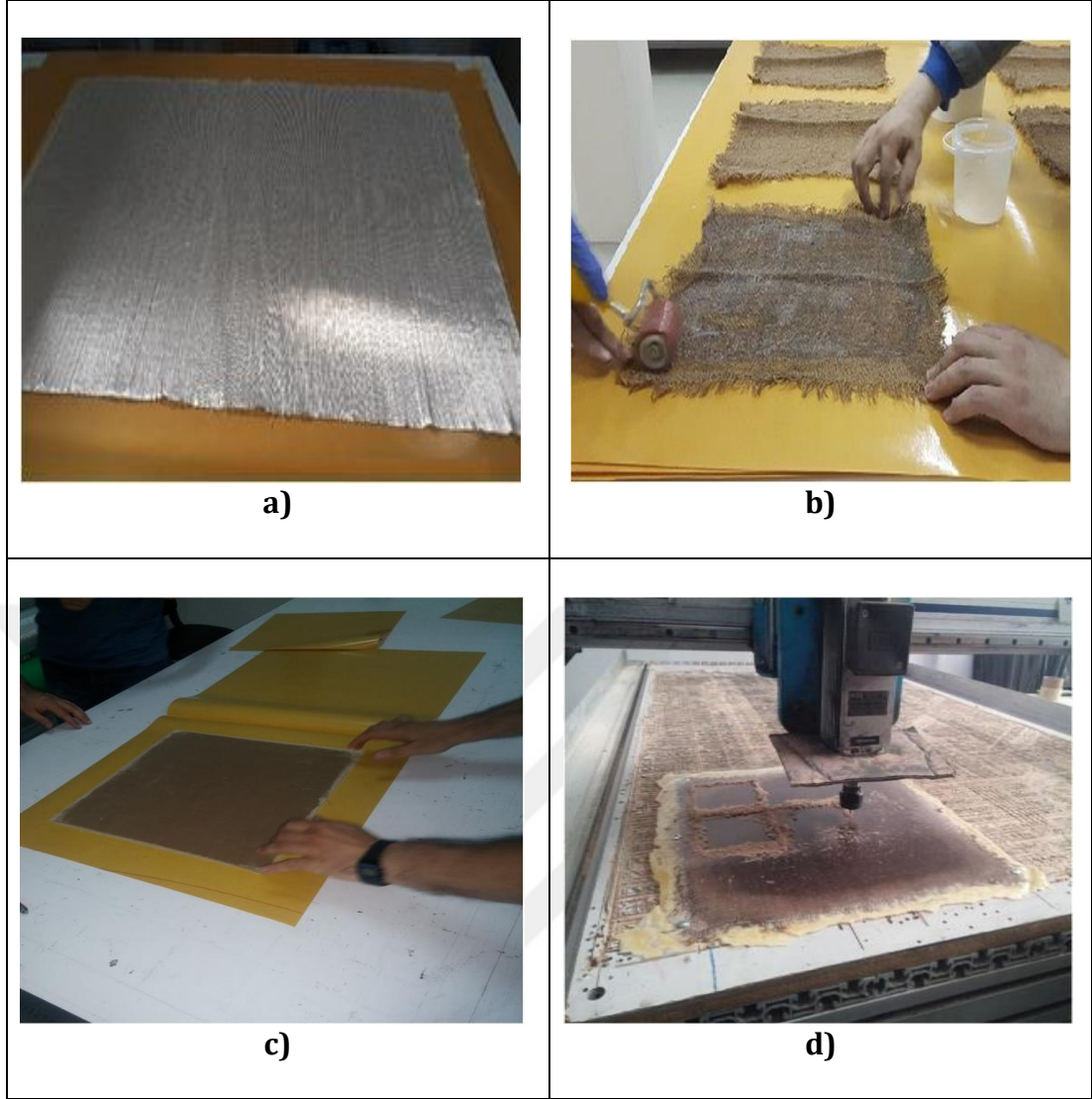


Şekil 3.3. Jüt kumaşların NaOH ile yüzey modifikasyon işlemi

Oda sıcaklığında 50 litre çeşme suyuna 5 kg NaOH atılıp karıştırılarak alkali derişim hazırlanmıştır. Şekil 3.3.'te jüt kumaşlara uygulanan alkali işlem aşamaları görölmektedir. Bu şekilden göröldüğü üzere kumaşlar karışıma dikkatli bir şekilde nüfuz etmesi sağlanarak, yavaş bir şekilde yatırılmış ve beklemeye bırakılmıştır. Kostiğe yatırılan kumaşlar 4 saat %10'luk NaOH içerisinde bekletilmişlerdir. Daha sonra derişimden arındırılan kumaşlar 12 saat süreyle güneş ışığı almayacak şekilde açık havada kurumaya bırakılmıştır.

3.2.3. El yatırma yöntemi ile kompozit plakaların üretimi

Burkulma deneyi uygulanacak olan hibrit kompozit plakaların üretimi el yatırma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Hibrit kompozit malzemelerin üretiminde, fiber olarak dokuma jüt ve cam kumaş olmak üzere iki farklı fiber, matris malzemesi olarak da Huntsman marka Araldite LY 1564 epoksi reçine ve Aradur 3487 sertleştirici kullanılmıştır. El yatırma yöntemiyle simetrik $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$, $(30_c/-60_j)_{2s}$, $(45_c/-45_j)_{2s}$ ve antisimetrik $(0_c/90_j)_{2as}$, $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ yönlenme açlarına sahip 8 tabakalı hibrit kompozit plakalar üretilmiştir. El yatırma yönteminde ilk olarak kullanılacak kalıp silinip, kumaşların kalıba yapışmasını engellemek için kalıp ayırıcılar sürölür. Sonra kumaşlara renk vermesi için renklendirilmiş bir reçine olan jelkot yani yüzey kaplama reçinesi kalıba sürölür. Üretimden önce kumaşlarda bulunabilecek nemin giderilmesi amacıyla kumaşlar etüvde 2 saat boyunca 60°C'de bekletilerek kurumaları sağlanır. Cam ve jüt kumaşlar istenilen boyutlarda kesilerek istenilen kombinasyonlara göre yerleştirilir ve üzerlerine Araldite LY 1564 epoksi reçine ile Aradur 3487 sertleştirici karışımı sürölür. Sekiz tabakalı plakalar elde edilinceye kadar kumaşlar üst üste yerleştirilir. Reçine emdirilmiş kumaşlar 120°C sıcaklıkta, 8 MPa basınçta ısı ve zaman kontrollü hidrolik preste 2 saat boyunca kürlenme işlemine tabi tutulur. Kürlenme işlemi tamamlanan plakalar oda sıcaklığına ulaşınca kadar tezgâh üzerinde soğumaya bırakılır. Şekil 3.4.'te doğal lif takviyeli hibrit kompozit plakaların üretim aşamaları görölmektedir.



Şekil 3.4. Kompozit plakaların üretim aşamaları

Çizelge 3.4.'te üretilen kompozitlerin kısa gösterimleri ve oryantasyon açıları ve üç farklı ortamda 60 gün boyunca bekletildikten sonraki numune kalınlıkları verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere kompozit numuneler 8 farklı konfigürasyona ayrılmıştır. Bu konfigürasyonlar harflerle adlandırılmıştır. Üretim esnasında kompozit numunelerin eşit kalınlıkta olması mümkün olmadığından numunelerin kalınlıkları 4,3mm ile 5,2mm arasında değişkenlik göstermektedir. Ayrıca çizelgeden görüldüğü üzere her bir grup numune deniz suyu ve soğuk ortamda kaldığı süre boyunca da ortam koşullarının etkisi nedeniyle numune kalınlıklarında değişim gözlenmiştir. Deniz suyunda bekletilen numunelerin kalınlığı oda koşullarına göre artmış, soğuk ortamda bekletilen numunelerin kalınlığı ise oda koşullarına göre azalmıştır.

Çizelge 3.4. Kompozit numune konfigürasyonları ve kalınlıkları

Konfi- gürasyon	Kısa Gösterimi	Oryantasyon Açısı	Kalınlık (mm)		
			Oda Koşuları	Deniz Suyu	Soğuk Ortam
A	(0 _c /30 _j) _{2s}	[0 _c °/30 _j °/0 _c °/30 _j °/30 _j °/0 _c °/30 _j °/0 _c °]	4,98	5,25	4,91
B	(0 _c /45 _j) _{2s}	[0 _c °/45 _j °/0 _c °/45 _j °/45 _j °/0 _c °/45 _j °/0 _c °]	5,08	5,38	5,03
C	(0 _c /90 _j) _{2s}	[0 _c °/90 _j °/0 _c °/90 _j °/90 _j °/0 _c °/90 _j °/0 _c °]	4,63	4,86	4,52
D	(0 _c /90 _j) _{2as}	[0 _c °/90 _j °/0 _c °/90 _j °/0 _c °/90 _j °/0 _c °/90 _j °]	4,53	4,66	4,31
E	(0 _{2c} /90 _{2j}) _s	[0 _c °/0 _c °/90 _j °/90 _j °/90 _j °/90 _j °/0 _c °/0 _c °]	4,30	4,40	4,27
F	(0 _{2c} /90 _{2j}) _{as}	[0 _c °/0 _c °/90 _j °/90 _j °/0 _c °/0 _c °/90 _j °/90 _j °]	4,50	4,60	4,41
G	(30 _c /-60 _j) _{2s}	[30 _c °/-60 _j °/30 _c °/-60 _j °/-60 _j °/30 _c °/- 60 _j °/30 _c °]	4,95	5,01	4,92
H	(45 _c /-45 _j) _{2s}	[45 _c °/-45 _j °/45 _c °/-45 _j °/-45 _j °/45 _c °/- 45 _j °/45 _c °]	5,20	5,38	5,17

c: cam fiber, j: jüt fiber, s: simetrik, as: antisimetrik

Kompozit numunelerin mekanik özellikleri belirlenmeden önce hassas terazi ile tüm numunelerin kuru ve yaş ağırlıkları tartılmış ve ortalama nem tutma oranları yüzde (%) olarak belirlenmiştir. Nem tutma oranları aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır;

$$M(\%) = \frac{m_y - m_k}{m_k} * 100 \quad (1)$$

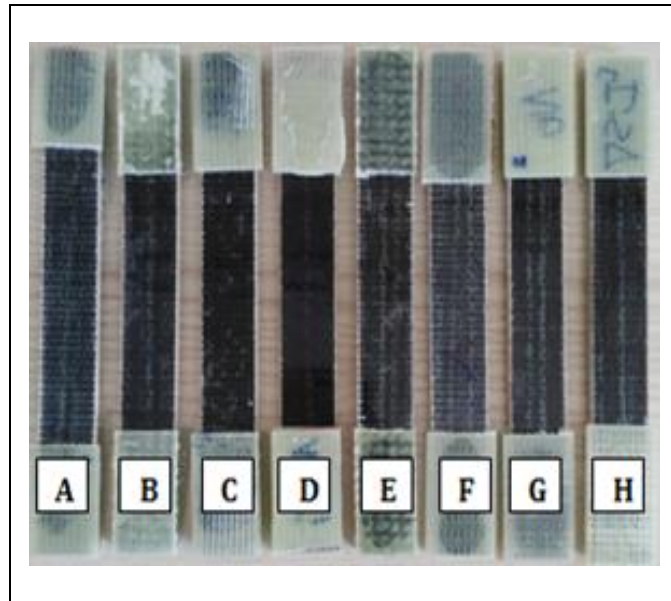
Burada; m_k: kuru haldeki ağırlığını, m_y: yaş haldeki ağırlığını; M: yüzde olarak nem tutma oranını göstermektedir.

Hibrit kompozitler 3 farklı ortamda 60 gün bekletildikten sonra Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma Laboratuvarında bulunan 100 kN yük kapasiteli Shimadzu AG-X çekme-basma üniversal test cihazı (Şekil 3.5.) kullanılarak malzemelerin elastisite modülleri belirlenmiştir. Testler ASTM D3039 standardına göre yapılmıştır. Testler 2mm/dakika hızı ile yapılmıştır. Cihazdan uzama ve kuvvet verileri okunurken video ekstansometre ile hassas bir şekilde uzama değerleri elde edilmektedir. Ekstansometre cihazı hassas bir şekilde kamera üzerinden piksel takibi yaparak çekme testi sırasında belirtilen bölge için uzama miktarını ölçmektedir.



Şekil 3.5. Shimadzu AG-X üniversal test cihazı

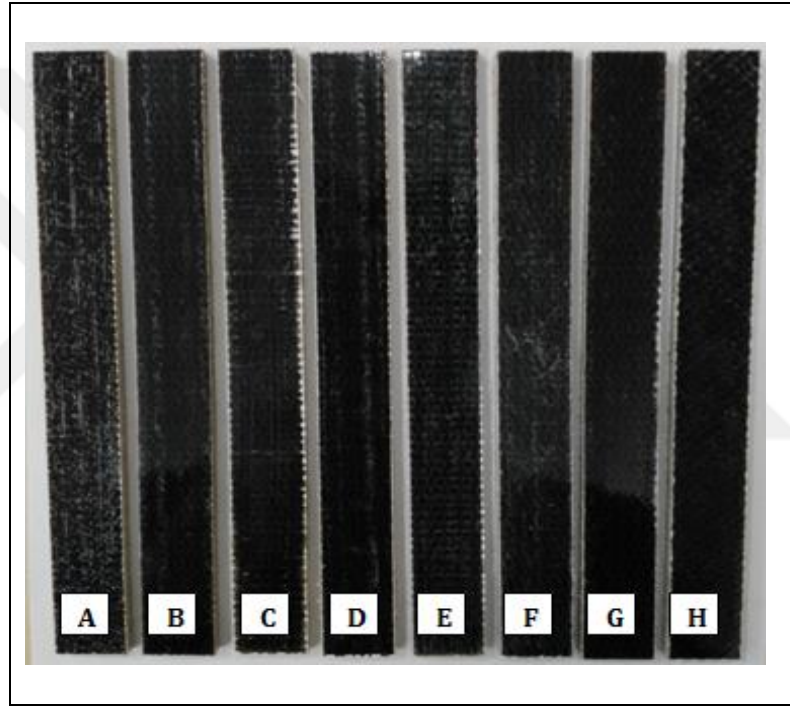
Şekil 3.6.'da elastisite modüllerinin belirlenmesinde kullanılan farklı konfigürasyonlara ait hibrit kompozit numuneler görülmektedir. Daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek ve numunelerin çenelerden kaymaması için her bir numunenin uç kısımlarına kompozit başlıklar yapıştırılmıştır.



Şekil 3.6. Elastisite modüllerinin belirlenmesinde kullanılan farklı konfigürasyonlara ait hibrit kompozit numuneler

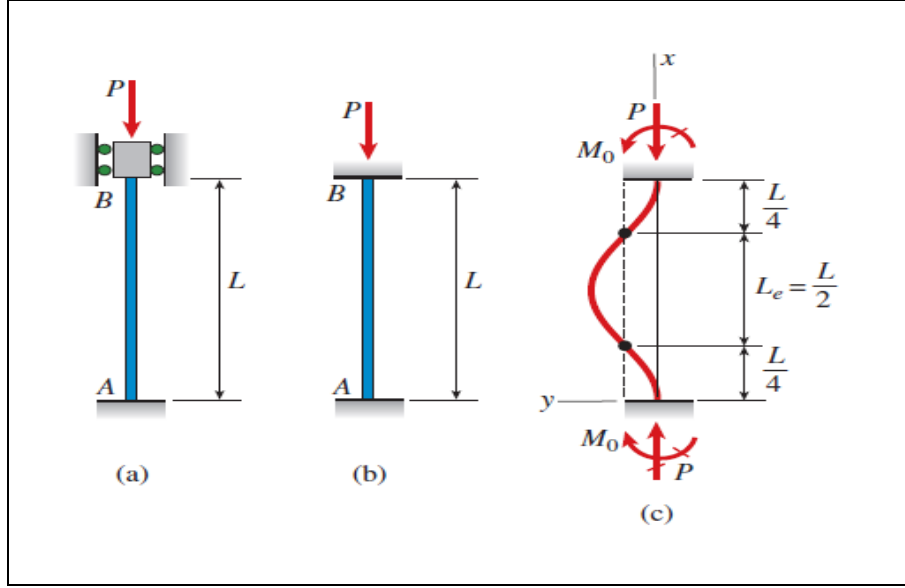
3.3. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Burkulma Testleri

Kompozit numunelerin burkulma testleri Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Kompozit Araştırma Laboratuvarında mevcut olan 100 kN yük kapasiteli Shimadzu AG-X çekme-basma üniversal test cihazının basma modülü kullanılarak yapılmıştır. Testler 2 mm/dk basma hızı ile gerçekleştirilmiştir. Test esnasında elde edilen veriler bir veri aktarım cihazı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 3.7.'de burkulma testi uygulanacak kompozit numuneler görülmektedir.



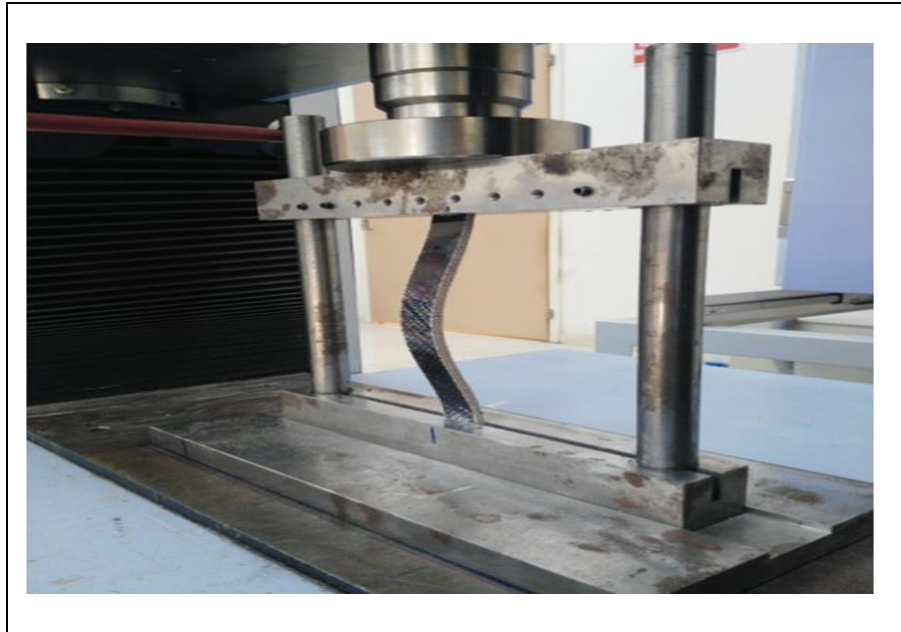
Şekil 3.7. Burkulma testi uygulanacak farklı konfigürasyonlara sahip kompozit numuneler

Bu çalışmada kullanılan mesnet çeşidi iki ucu ankastre mesnettir. Bu mesnet çeşidinde iki uç dönmeye karşı korumalıdır. Kolonlar dönme ve yanal yer değiştirmeye karşı engellenmiş yalnızca düşey doğrultuda hareket edebilmektedir. Şekil 3.8.'de düşey burkulma sırasında iki ucu ankastre kolonda meydana şekil değişimi görülmektedir.



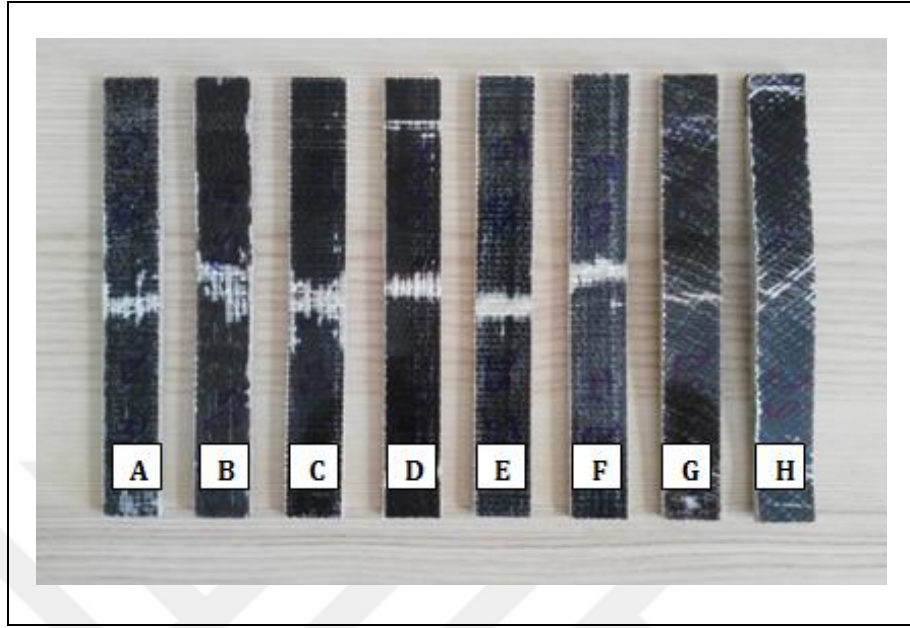
Şekil 3.8. İki ucu ankastre mesnet (Gere ve Goodno, 2014)

Şekil 3.9.'da burkulma testi uygulanan doğal lif takviyeli hibrit kompozit numunede oluşan deformasyon görülmektedir. İki ucu ankastre şekilde mesnetlenmiş kompozit numune dönmeye ve yanal burkulmaya karşı engellenmiş olup sadece dikey yönde hareket kabiliyetine sahiptir.

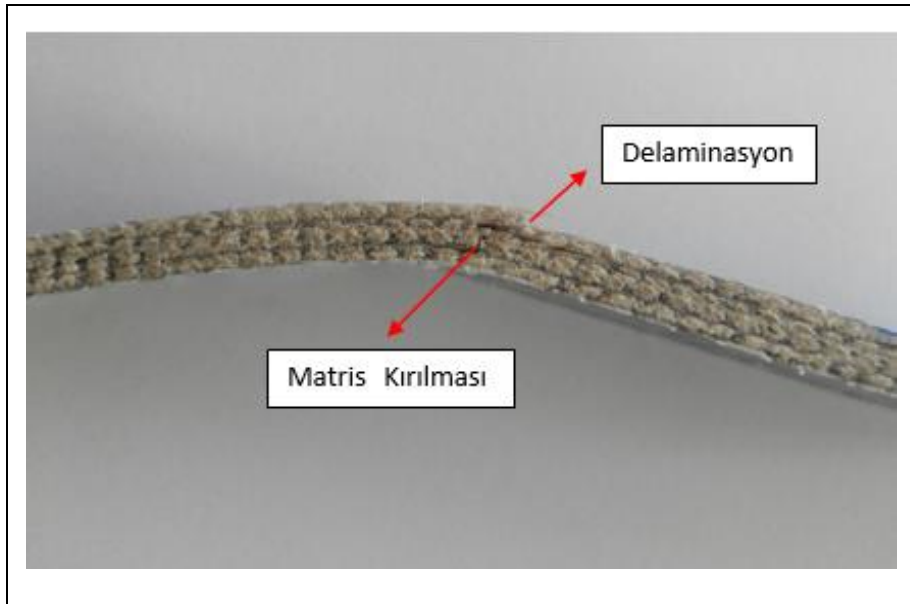


Şekil 3.9. Burkulmaya maruz kalan hibrit kompozit numunede meydana gelen deformasyon

Şekil 3.10.'da tüm konfigürasyonlara ait hibrit kompozit numunelerinde burkulma testi sonrası meydana gelen deformasyonlar verilmiştir.



Şekil 3.10. Burkulma testi sonrası deformasyona uğramış kompozit numuneler
Tüm numunelerde burkulma testi sonrası deformasyonlar ve kalıcı şekil değişiklikleri meydana gelmiştir. Meydana gelen deformasyonlar tabakalar arası ayrılmalar (delaminasyon), matriste bozunmalar, matris ve fiber kırılmaları şeklinde hasar modlarından oluşmaktadır (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Burkulma testi sonrası numunede meydana gelen deformasyon

Kompozit plakaların burkulma davranışlarının belirlenmesindeki asıl amaç, kritik burkulma yükünün belirlenmesidir. Tabakalı kompozit malzemelerin kritik burkulma yükünü belirlemede üç farklı yöntem kullanılmaktadır (Parlapalli, 2007). Bu yöntemler şöyledir;

- Southwell yöntemi,
- Dikey yer değiştirme yöntemi,
- Membran şekil değiştirme yöntemidir.

Bu çalışmada, hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yükünün belirlenmesinde Southwell yönteminden yararlanılmıştır.

Doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma testlerinden elde edilen veriler yardımıyla öncelikle üç farklı ortamda bekletilen tüm konfigürasyonlara ait hibrit kompozitlerin burkulma yükü - deplasman grafikleri çizilmiştir. Daha sonra çizilen bu grafiklerden malzemelerin kritik burkulma yükleri belirlenerek farklı ortamların ve farklı istifleme dizilimlerinin jüt lifi takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışları üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, jüt ve cam elyaf takviyelerinden oluşan hibrit kompozit malzemelerin burkulma davranışları üzerine farklı ortam (oda sıcaklığı, deniz suyu ve soğuk ortam) koşullarının ve farklı istifleme dizilimlerinin etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. 60 gün boyunca oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam olmak üzere 3 farklı ortamda bekletildikten sonra hibrit kompozit numunelerin burkulma testleri yapılmıştır. Testlerden elde edilen veriler doğrultusunda her bir hibrit kompozit konfigürasyonuna ait burkulma yükü-deplasman grafikleri çizilmiştir. Daha sonra Southwell yöntemi yardımıyla bütün hibrit konfigürasyonlara ait kritik burkulma yükleri belirlenmiş ve farklı ortam koşullarının kompozitlerin burkulma davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır.

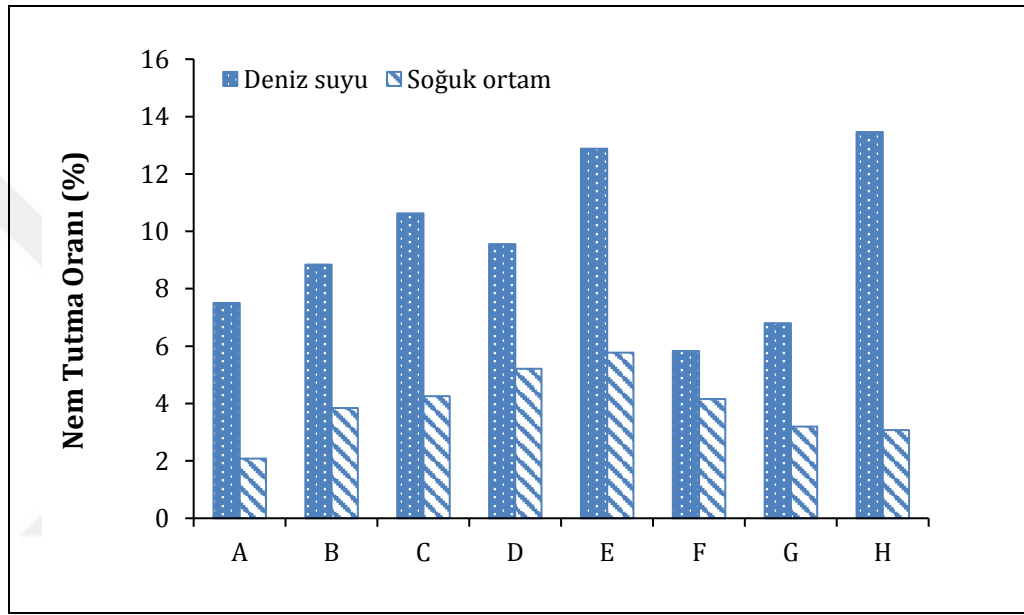
Çizelge 4.1.de deniz suyu ve soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit numunelerin nem tutma oranları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Hibrit kompozit numunelerin nem tutma oranları

Ortam Koşulları	Nem Tutma Oranları (%)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Deniz Suyu	7,50	8,84	10,63	9,56	12,88	5,83	6,80	13,46
Soğuk Ortam	2,08	3,84	4,25	5,21	5,77	4,16	3,20	3,07

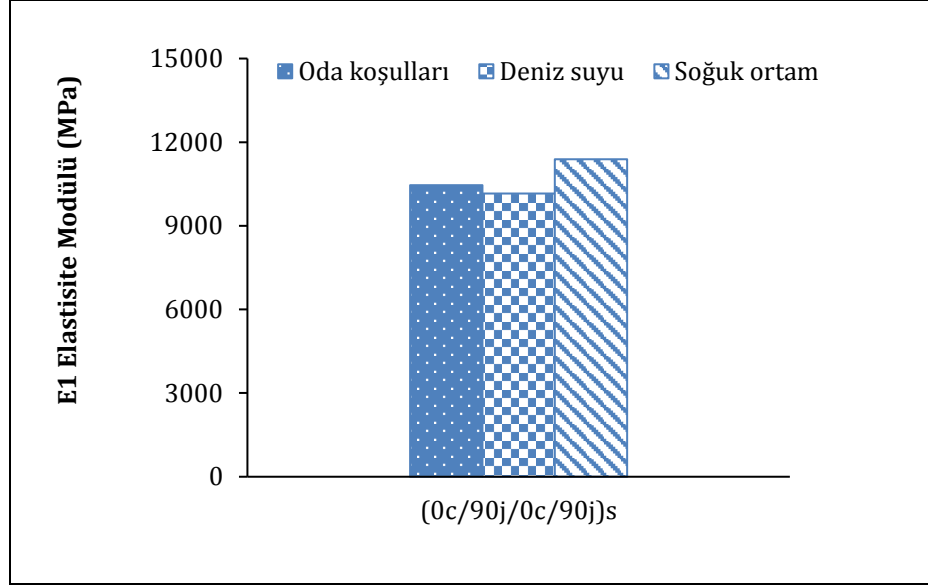
Kompozitleri oluşturan matris ve takviye yapıların lifli yapıda olmasından dolayı oluşan malzemeler nemli ortamlardan etkilendiği bilinmektedir. Aynı zamanda kompozit malzemelerin nem tutmasından dolayı ağırlıklarının arttığı ve şiştiği daha önce yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir. Malzemelerin yapısında oluşan bu değişiklikler kompozit yapılarda istenilmeyen bir durumdur. Çünkü bu gibi durumlar malzemelerin mekanik özellikleri ve dayanımlarının önemli bir şekilde etkilemektedir. Literatüre bakıldığında Hazizan vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, jüt ve cam lifi ile güçlendirilmiş karma kompozitlerin nem tutma kapasiteleri incelenmiştir. Artan nem miktarı ile

çekme ve eğilme mukavemetinde azalmaların olduğunu belirlenmiştir. Literatürde bulunan diğer çalışmalarda da fiber takviyeli kompozitlerin sulu ortamlarda kullanımlarında nemin, suyun ve deniz suyunun önemli bir etken olduğu ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir (Kanlıoğlu, 2009; Belevi ve İnançer, 2008; Doğan, 2014). Şekil 4.1.'den görüldüğü üzere $(45_c/-45_j)_{2s}$ oryantasyon açılı olan H grubu kompozit numunelerin daha fazla nem tuttuğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı ortamlarda bekletilen kompozit malzemelerin nem tutma oranları

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için her bir konfigürasyona ait 3'er adet numune çekme testine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınmıştır. Şekil 4.2.'de örnek olarak $(0_c/90_j)_{2s}$ dizilimli C konfigürasyonuna ait hibrit kompozit numunelerin E_1 elastisite modülü değerleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı ortam koşullarında bekletilen C konfigürasyonuna ait numunelerin E₁ elastisite modülleri

Şekil 4.2.'de soğuk ortamda bekletilen C konfigürasyonuna ait numunelerin E₁ elastisite modülü değerlerinin, oda koşulları ve deniz suyunda bekletilen numunelerin elastisite modülü değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Deniz suyunda bekletilen numunelerin E₁ elastisite modülü değerleri ise diğer ortamlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm bu verilere dayanarak soğuk ortamın kompozitlerin dayanımını artırdığı, deniz suyunun ise dayanımın azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç literatürde bulunan diğer çalışmalar ile de örtüşmektedir. Birçok çalışmada, kompozit malzemelerin yüksek sıcaklıklardaki ve sulu ortamdaki davranışları incelenmiştir. Bası mukavemeti ve çekme mukavemeti gibi matris dominant özelliklerde düşüşler gözlemlenmiştir (Hale ve Gibson, 1997; Soutis ve Türkmen, 1997). Liao vd. (1999), çevresel koşulların cam-fiber takviyeli vinilester kompozitler üzerindeki etkisini incelemiştir. Numuneler oda sıcaklığındaki ve 75°C'deki su ve tuzlu su içinde çeşitli sürelerde bekletildikten sonra eğilme ve çekme testlerine tabi tutulmuşlardır. Yapılan testler sonucunda, tuzlu suyun ve sıcaklığın malzemenin hem mukavemet değerini hem de elastisite modüllerini düşürdüğü gözlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise Soykök vd. (2013), hidrotermal yaşlandırmanın cam-fiber epoksi kompozitlerin mekanik bağlantıları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Numunelerin 50, 70 ve 90°C'deki su içinde 1 ve 2 hafta süreyle bekletildikten sonra testlerini

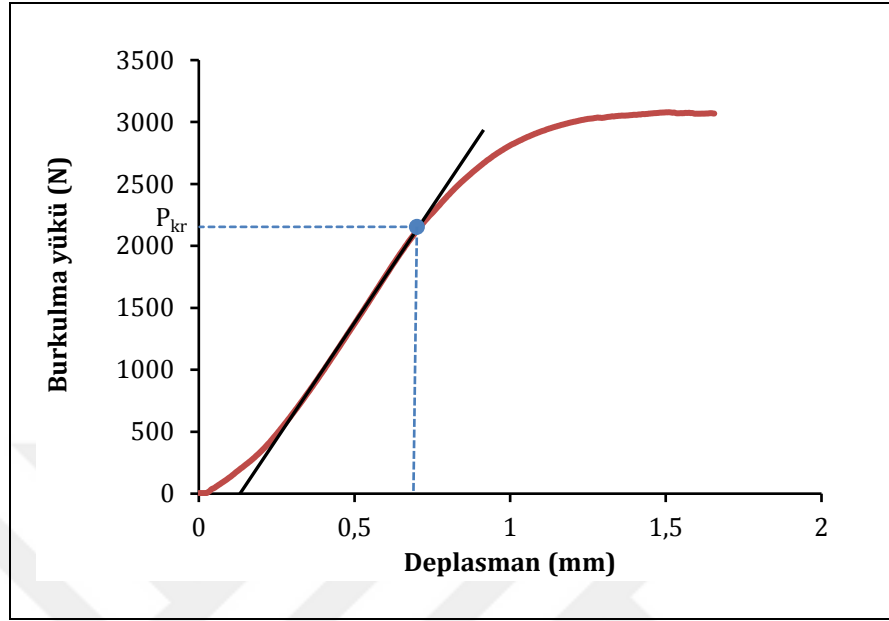
yapılmıştır. Yaptıkları bu araştırma sonucunda hem suda bekletilme süresinin hem de artan sıcaklığın kompozitlerin elastisite değerlerinin düştüğünü ve mekanik bağlantının dayanımını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Örçen ve Gür (2011), cam fiber takviyeli dokuma epoksi kompozit malzemelere çevre şartlarının etkisini araştırmışlardır. Numuneler deniz suyu içerisinde 3 ay ve 6 ay süre ile bekletmişlerdir. En iyi mekanik özellik değerleri kuru haldeki numunelerde elde edilirken, deniz suyu içerisinde kalma süreleri arttıkça mekanik özelliklerde genel olarak azalmaların olduğunu görmüşlerdir.

Doğal lif takviye edilmiş kompozit malzemelerde, kullanılan lif türüne göre elastisite modülleri değişkenlik göstermektedir. Literatürde bulunan çalışmalarda bu durum desteklenmektedir. Taşkın (2015), sadece jüt kumaş, sadece keçe kumaş, hem jüt kumaş hem de keçe kumaş takviyeli olmak üzere üç farklı tipte kompozit malzeme imal etmiş ve elastisite modüllerini belirlemiştir. Buna göre, sadece jüt kullanılarak üretilen kompozitin elastisite modülü değerleri diğerlerine göre düşük çıkmıştır. Can (2016), jüt kumaş, keçe kumaş ve cam dokuma kumaş kullanarak karma kompozitler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla çekme ve üç nokta eğme testlerini yapmıştır. Deneysel sonucunda sadece jüt kumaş takviyeli kompozitlerin elastisite modülü, diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Cam kumaş, keçe kumaş ve jüt kumaşla takviye edilmiş kompozitlerin elastisite modülünün ise daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde bulunan çalışmalardan görüleceği üzere jüt kumaşın yalnız halde kullanıldığı çalışmalarda düşük mekanik özellik gösterdiği, dayanımı yüksek farklı liflerle takviye edildiğinde ise mekanik özelliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Yapmış olduğumuz çalışmada, jüt kumaşları cam kumaşlarla takviyelendirerek oluşturulan hibrit kompozit malzemelerin elastisite modüllerinde iyi sonuçlar elde edilmiştir.

4.1. Doğal Lif Takviyeli Hibrit Kompozitlerin Burkulma Testi Sonuçları

Hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri Southwell metodu yardımıyla belirlenmiştir. Bu metoda göre burkulma yükü-deplasman grafiklerindeki eğriye çizilen teğetle eğrinin kesişim noktası kritik burkulma (P_{kr}) yükünü

vermektedir. Şekil 4.3.'de kritik burkulma yükünün belirlenme şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kritik burkulma yükünün belirlenme yöntemi

4.1.1. Oda koşullarında bekletilen numunelerin burkulma davranışları

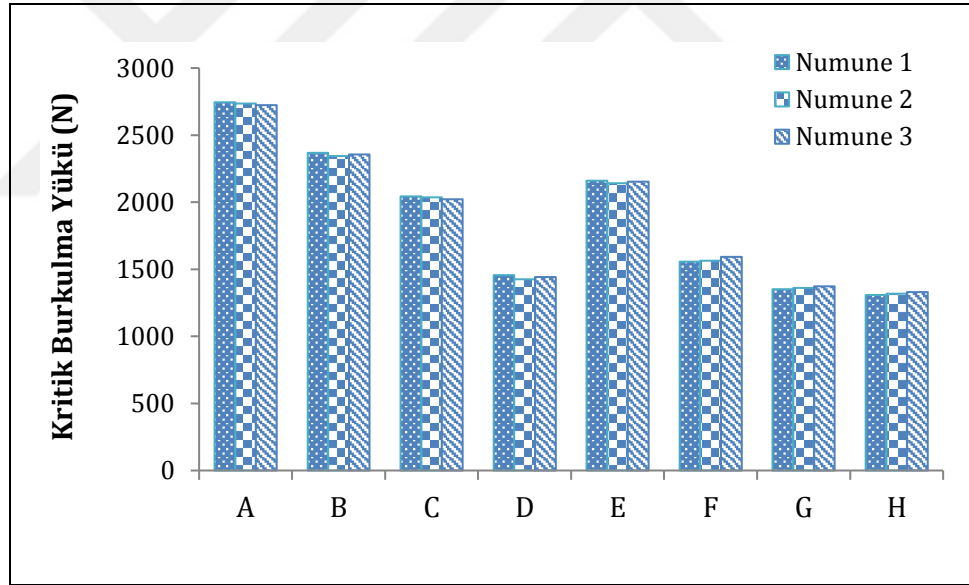
60 gün boyunca oda koşullarında bekletilen jüt kumaşı takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma analizleri sonucu elde edilen kritik burkulma yükü değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Testlerde her bir grup malzemedan 3'er adet numune kullanılmıştır ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 4.2. Oda koşullarında bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri

Konfigürasyonlar		Kritik Burkulma Yükü (N)			
		Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
A	(0 _c /30 _j) _{2s}	2745	2734	2723	2734
B	(0 _c /45 _j) _{2s}	2367	2344	2355	2355
C	(0 _c /90 _j) _{2s}	2042	2036	2020	2033
D	(0 _c /90 _j) _{2as}	1457	1426	1441	1441
E	(0 _{2c} /90 _{2j}) _s	2161	2140	2154	2152
F	(0 _{2c} /90 _{2j}) _{as}	1556	1564	1593	1571
G	(30 _c /-60 _j) _{2s}	1352	1360	1372	1361
H	(45 _c /-45 _j) _{2s}	1309	1318	1330	1319

Çizelge 4.2.'den görüldüğü üzere, 60 gün boyunca oda koşullarında bekletilen hibrit kompozit konfigürasyonları karşılaştırıldığında en yüksek kritik burkulma yükü $(0_c/30_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip A konfigürasyonunda, en düşük kritik burkulma yükü ise $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip H konfigürasyonuna ait numunelerde meydana gelmiştir. Simetrik ve antisimetrik dizilime sahip konfigürasyonlar karşılaştırıldığında, $(0_c/90_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip simetrik C konfigürasyonunun kritik burkulma yükünün, $(0_c/90_j)_{2as}$ istifleme dizilimine sahip antisimetrik D konfigürasyonuna ait numunelerin kritik burkulma yüküne nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

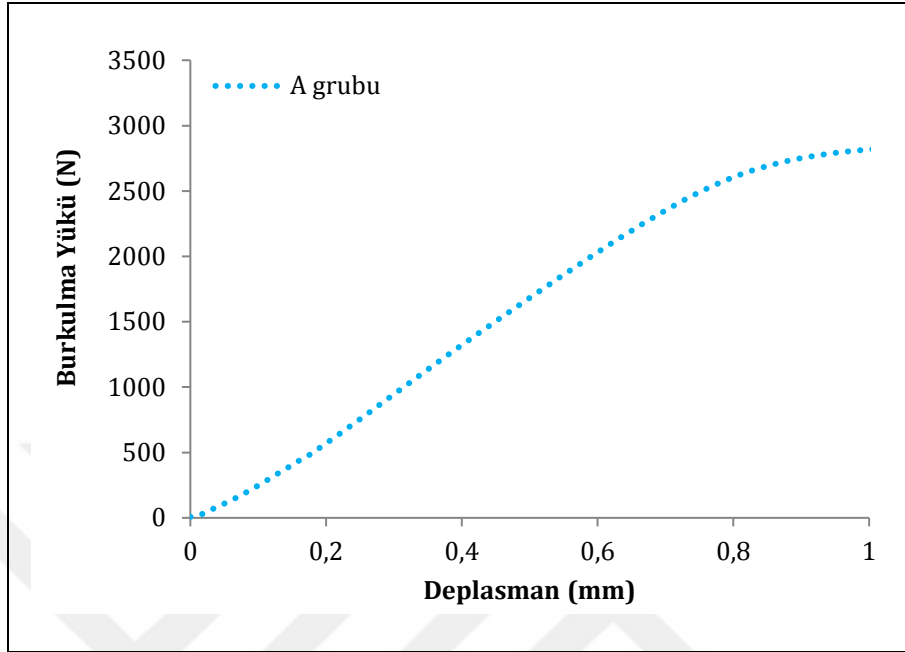
Şekil 4.4.'te oda koşullarında bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.4. Oda koşullarında bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri

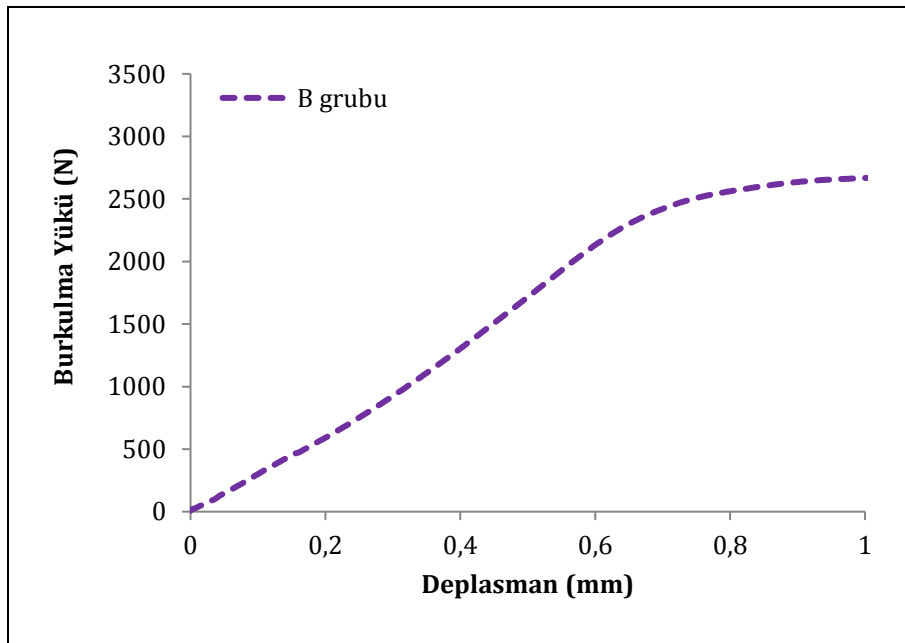
Bu şekilden görüldüğü üzere 60 gün boyunca oda koşullarında bekletilen hibrit kompozit numunelerde meydana gelen kritik burkulma yüklerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması A-B-E-C-F-D-G-H şeklindedir. Antisimetrik dizilime sahip $(0_c/90_j)$ istifleme dizilimli D ve F konfigürasyonlarının kritik burkulma yüklerinin, $(0_c/90_j)$ simetrik dizilimli C ve E konfigürasyonlarının kritik burkulma yüklerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.5.'de oda koşullarında bekletilen $[0_c/30_j/0_c/30_j/30_j/0_c/30_j/0_c]$ dizilimli A grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



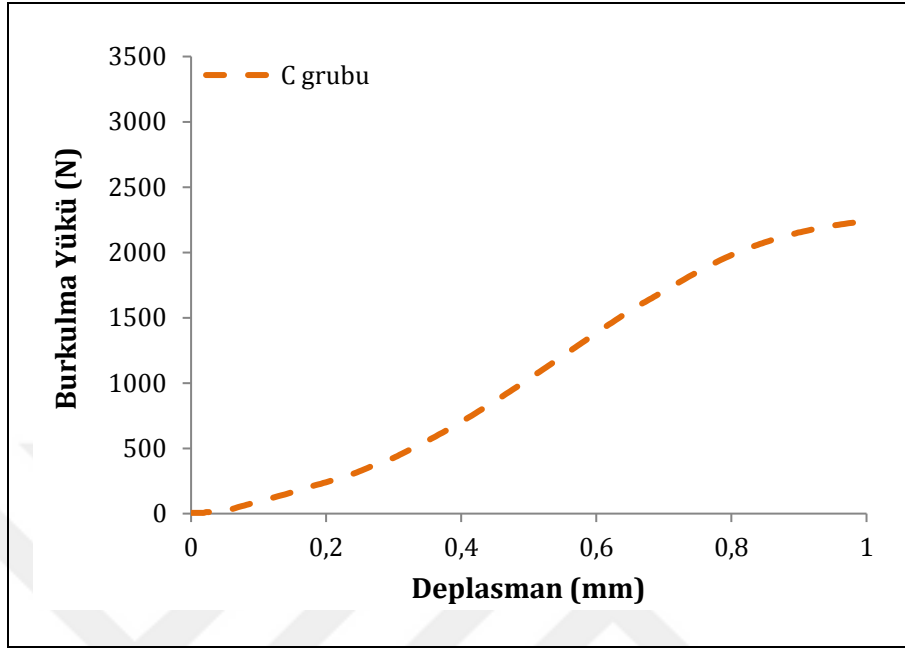
Şekil 4.5. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.6.'da oda koşullarında bekletilen $[0_c/45_j/0_c/45_j/45_j/0_c/45_j/0_c]$ dizilimli B grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



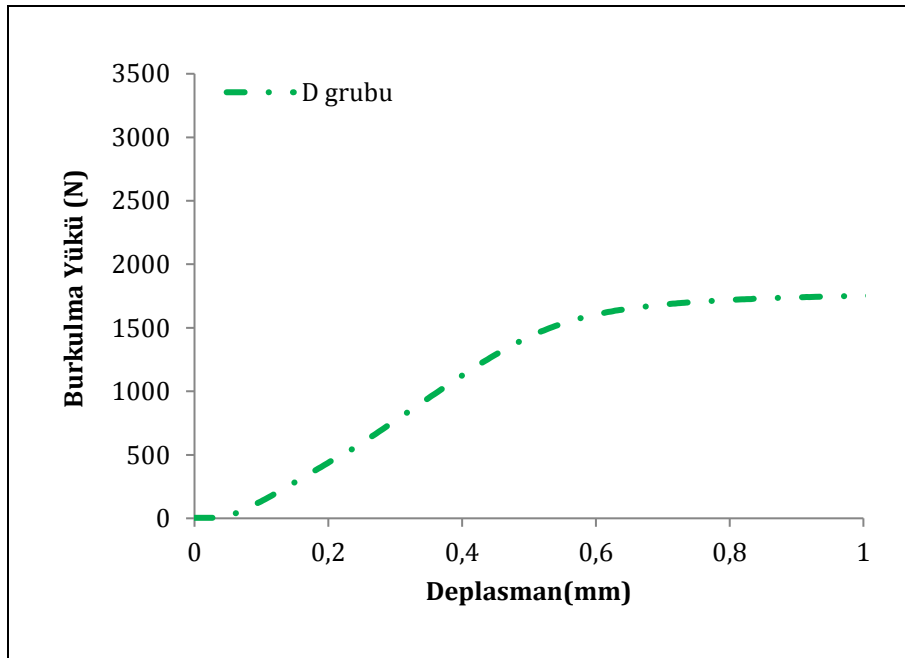
Şekil 4.6. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.7.'de oda koşullarında bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/90_j/0_c/90_j/0_c]$ dizilimli C grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



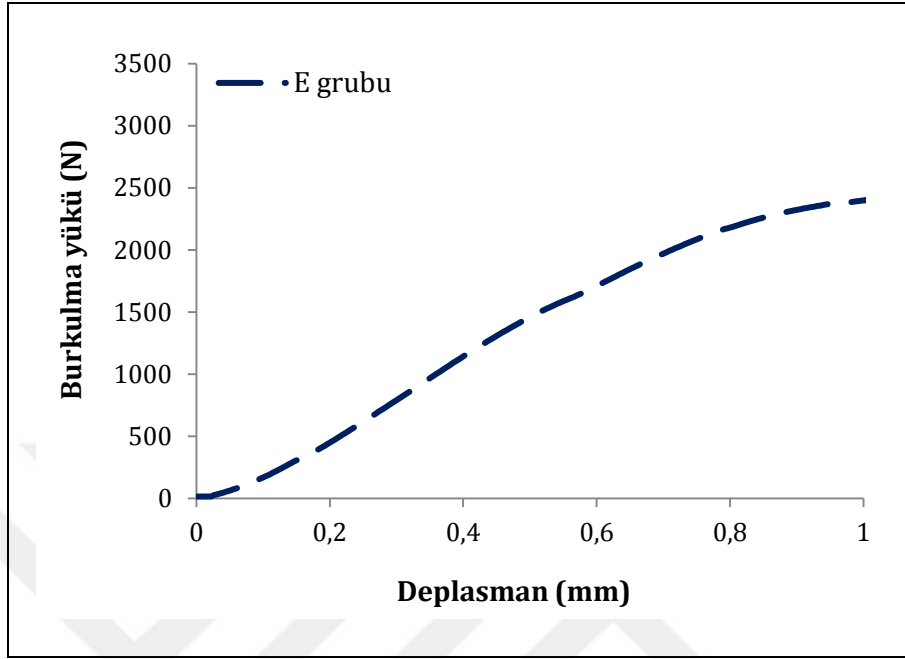
Şekil 4.7. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.8.'de oda koşullarında bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j]$ dizilimli D grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



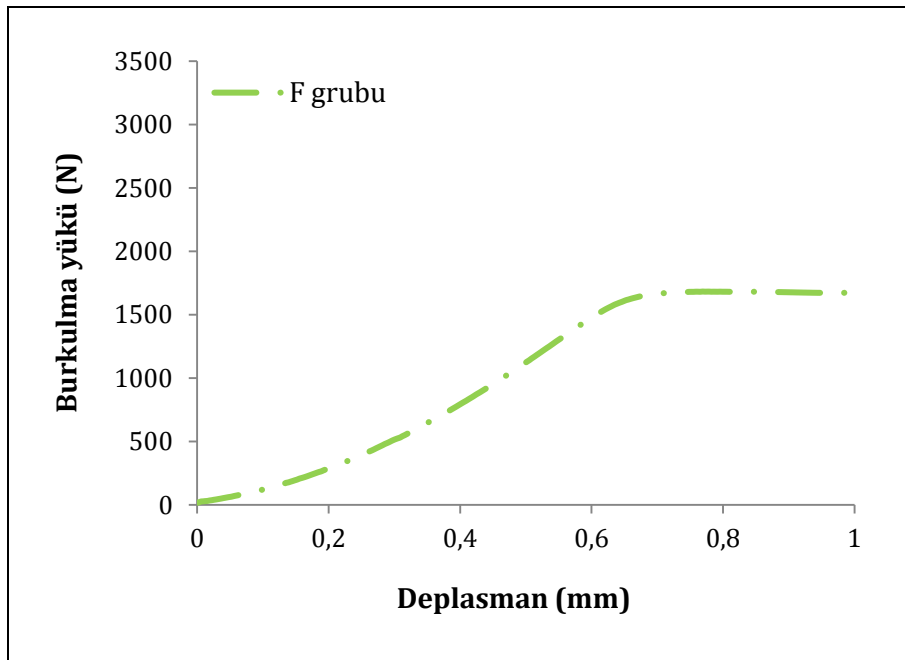
Şekil 4.8. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.9.'da oda koşullarında bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/90_j/90_j/0_c/0_c]$ dizilimli E grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



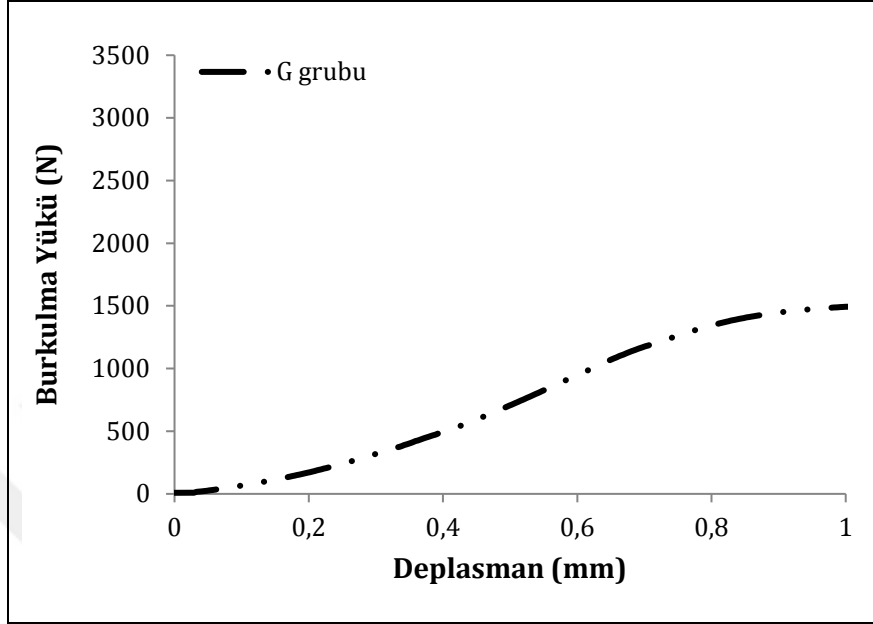
Şekil 4.9. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.10.'da oda koşullarında bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/0_c/0_c/90_j/90_j]$ dizilime sahip F grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



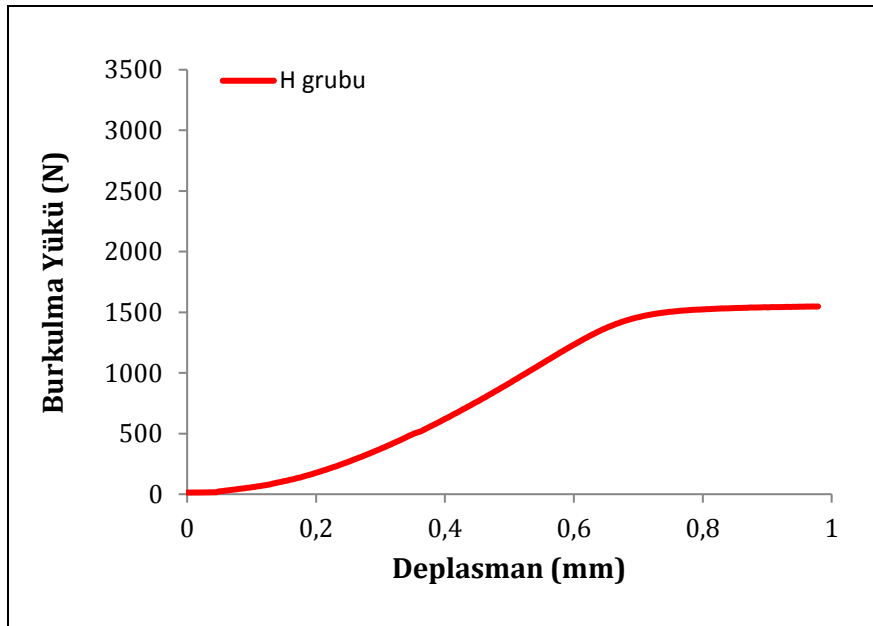
Şekil 4.10. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.11.'de oda koşullarında bekletilen [30_c/-60_j/30_c/-60_j/-60_j/30_c/-60_j/30_c] dizilime sahip G grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.11. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

Şekil 4.12.'de oda koşullarında bekletilen [45_c/-45_j/45_c/-45_j/-45_j/45_c/-45_j/45_c] dizilime sahip H grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.12. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (oda koşulları)

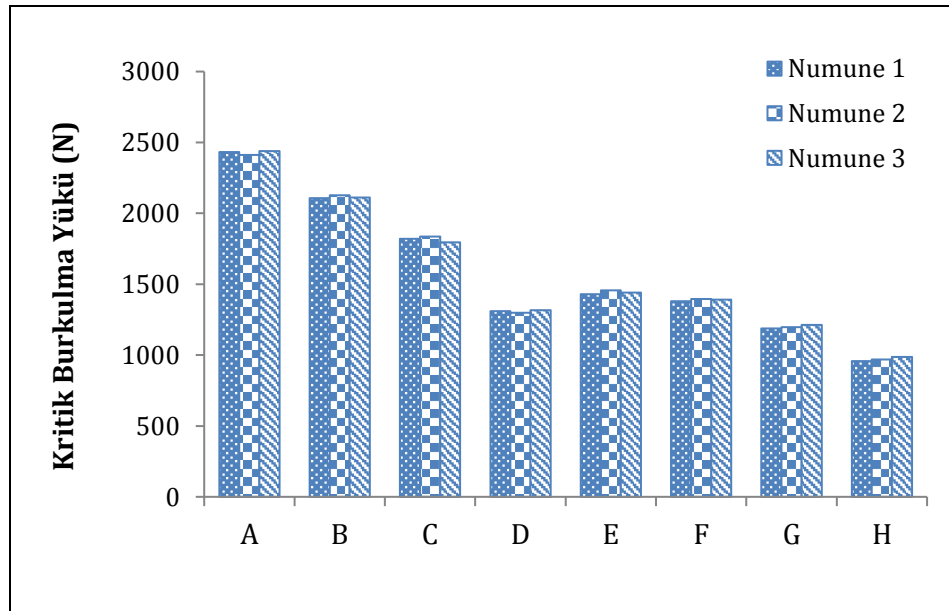
4.1.2. Deniz suyunda bekletilen numunelerin burkulma davranışları

60 gün boyunca Akdeniz suyunda bekletilen jüt ve cam takviyeden oluşan hibrit kompozitlerin burkulma deneyleri sonucu elde edilen kritik burkulma yükü değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deniz suyunda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri

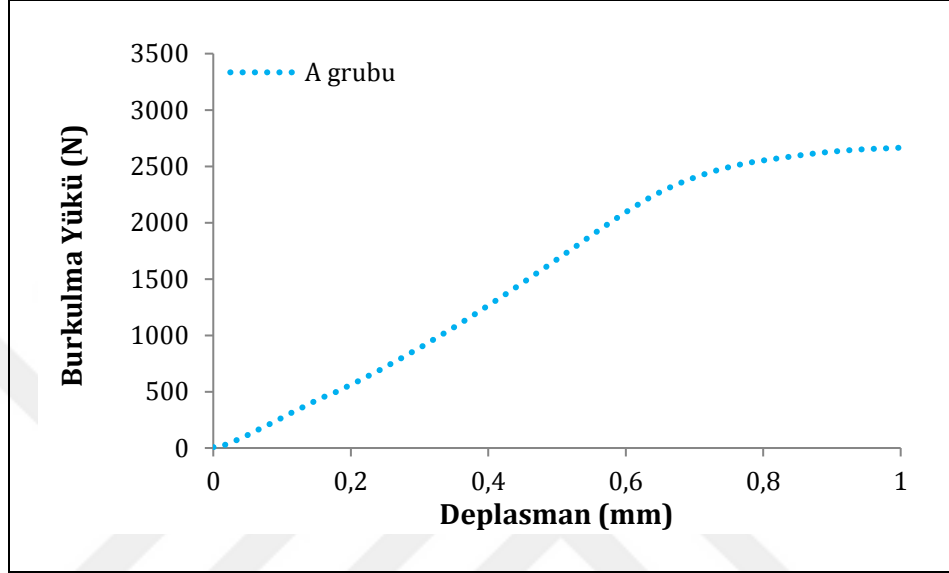
Konfigürasyonlar		Kritik Burkulma Yükü (N)			
		Numune-1	Numune-2	Numune-3	Ortalama
A	$(0_c/30_j)_{2s}$	2432	2412	2440	2428
B	$(0_c/45_j)_{2s}$	2106	2127	2112	2115
C	$(0_c/90_j)_{2s}$	1819	1836	1795	1817
D	$(0_c/90_j)_{2as}$	1309	1298	1316	1308
E	$(0_{2c}/90_{2j})_s$	1430	1455	1440	1442
F	$(0_{2c}/90_{2j})_{as}$	1379	1394	1390	1388
G	$(30_c/-60_j)_{2s}$	1188	1196	1212	1199
H	$(45_c/-45_j)_{2s}$	958	967	986	971

Şekil 4.13.'de deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



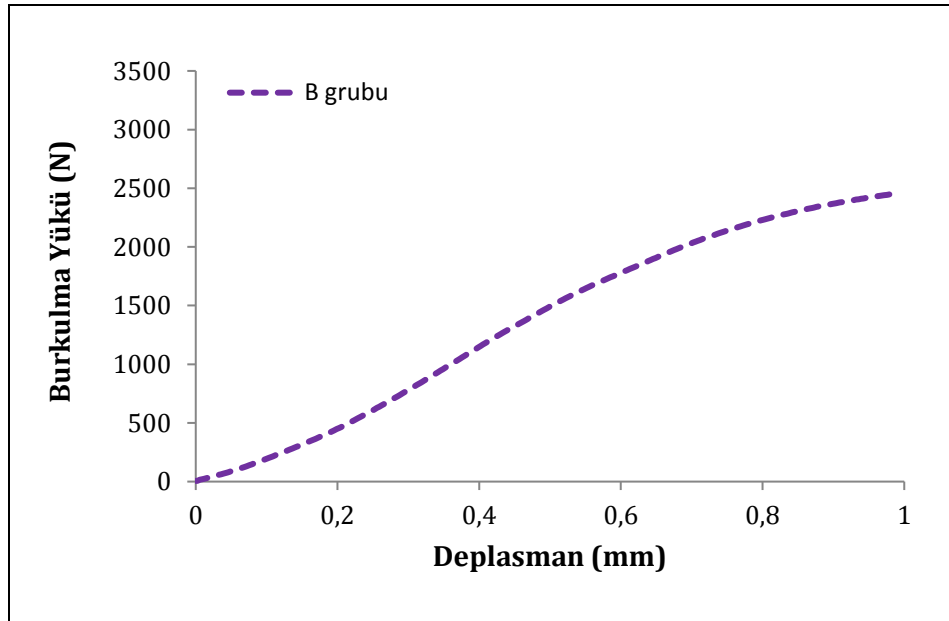
Şekil 4.13. Deniz suyunda bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri

Şekil 4.13.'den görüleceği üzere 60 gün boyunca deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit numunelerde meydana gelen kritik burkulma yüklerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması A-B-C-E-F-D-G-H şeklindedir. Şekil 4.14.'te deniz suyunda bekletilen $[0_c/30_j/0_c/30_j/30_j/0_c/30_j/0_c]$ dizilimli A grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



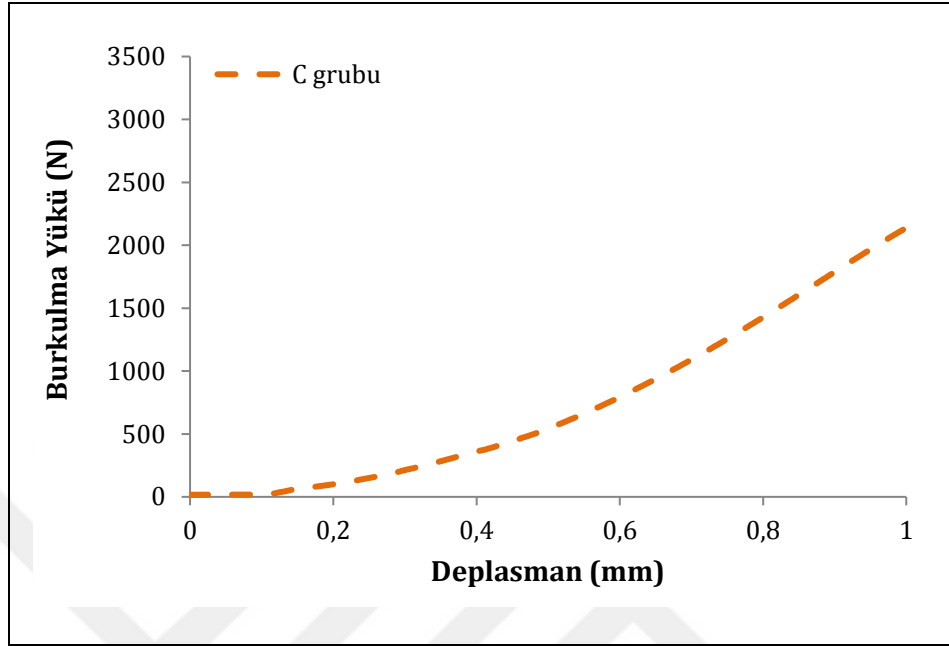
Şekil 4.14. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.15.'de deniz suyunda bekletilen $[0_c/45_j/0_c/45_j/45_j/0_c/45_j/0_c]$ dizilimli B grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



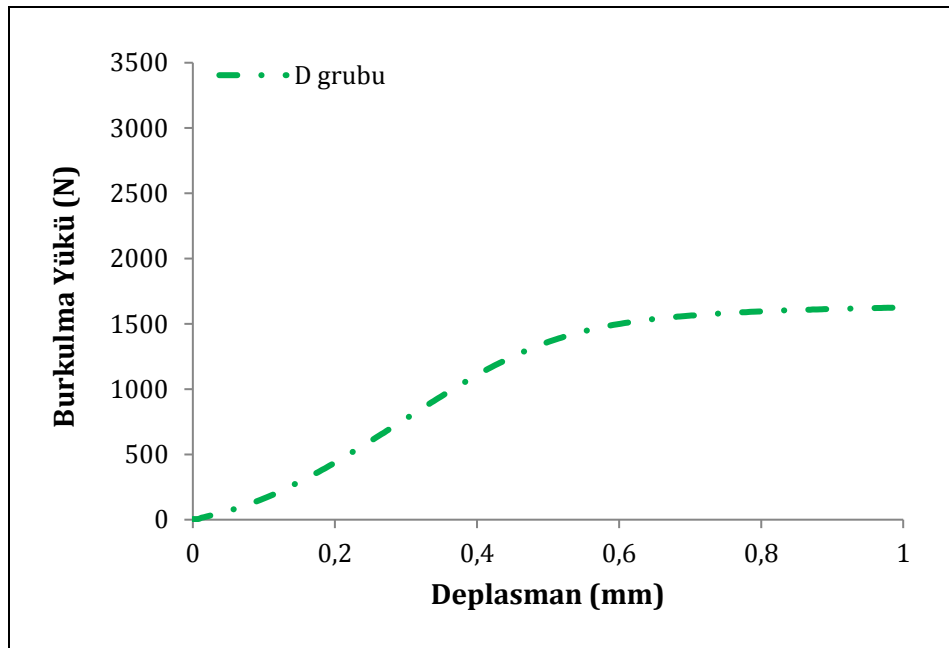
Şekil 4.15. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.16.'da deniz suyunda bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/90_j/0_c/90_j/0_c]$ dizilimli C grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



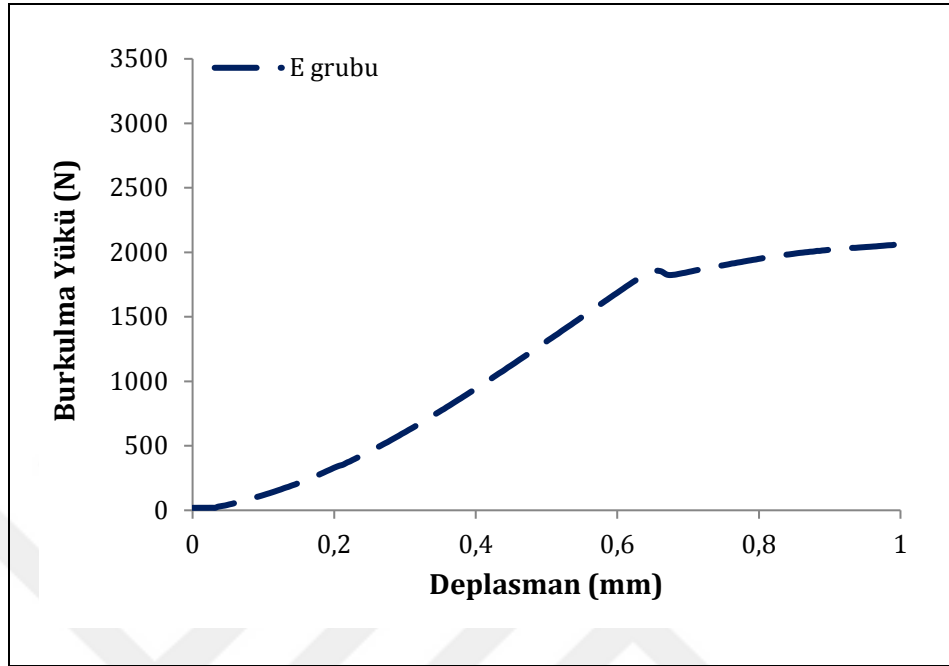
Şekil 4.16. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.17.'de deniz suyunda bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j]$ dizilimli D grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



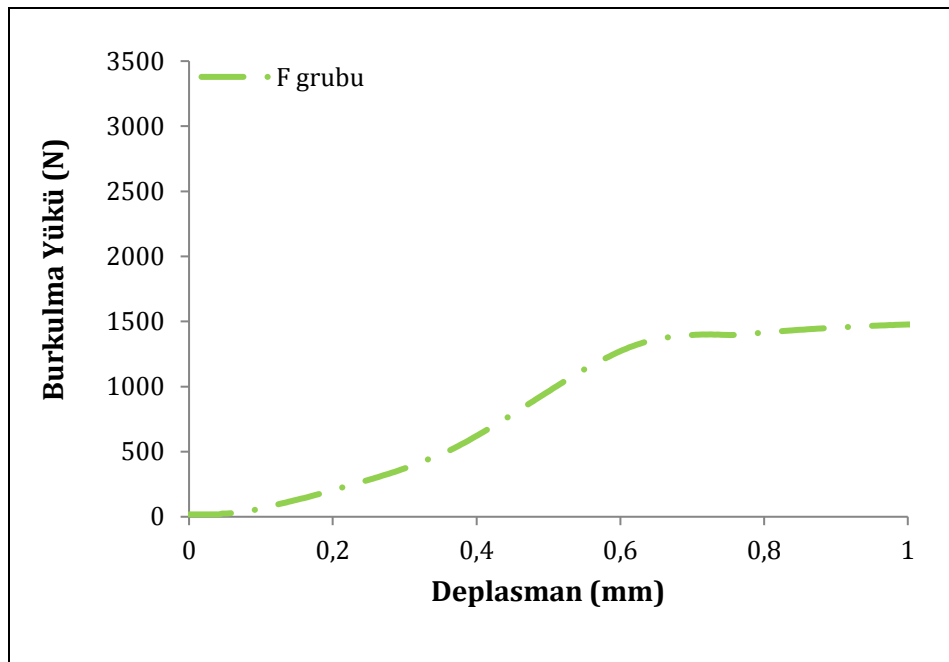
Şekil 4.17. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.18.'da deniz suyunda bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/90_j/0_c/0_c]$ dizilimli E grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



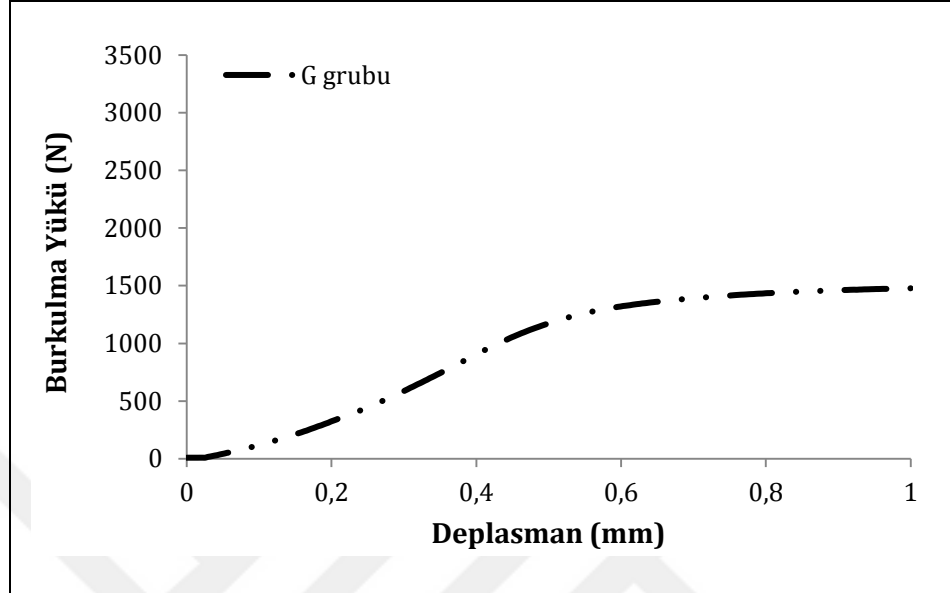
Şekil 4.18. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.19.'da deniz suyunda bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/0_c/0_c/90_j/90_j]$ dizilime sahip F grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



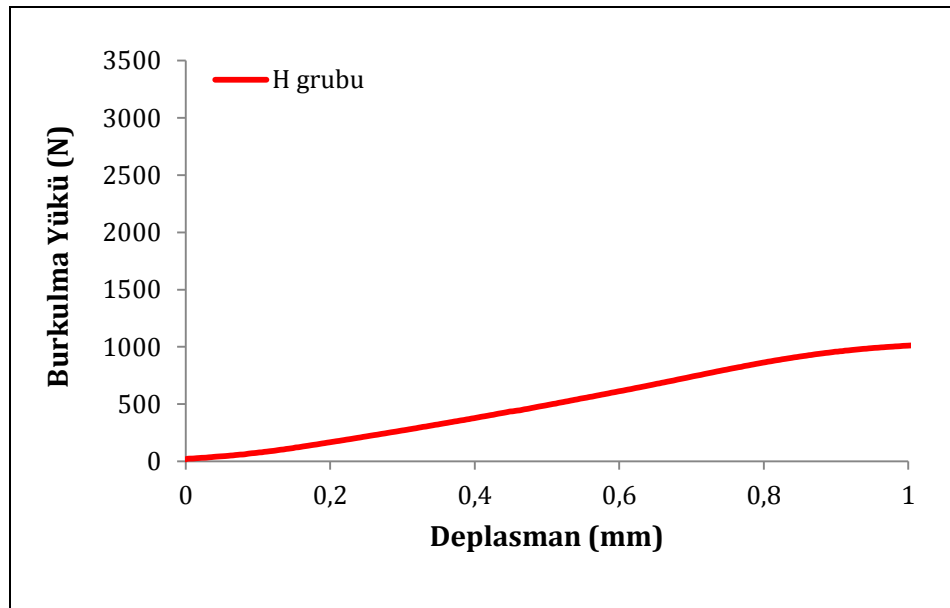
Şekil 4.19. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.20.'de deniz suyunda bekletilen $[30_c/-60_j/30_c/-60_j/-60_j/30_c/-60_j/30_c]$ dizilime sahip G grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.20. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

Şekil 4.21.'de deniz suyunda bekletilen $[45_c/-45_j/45_c/-45_j/-45_j/45_c/-45_j/45_c]$ dizilime sahip H grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.21. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (deniz suyu)

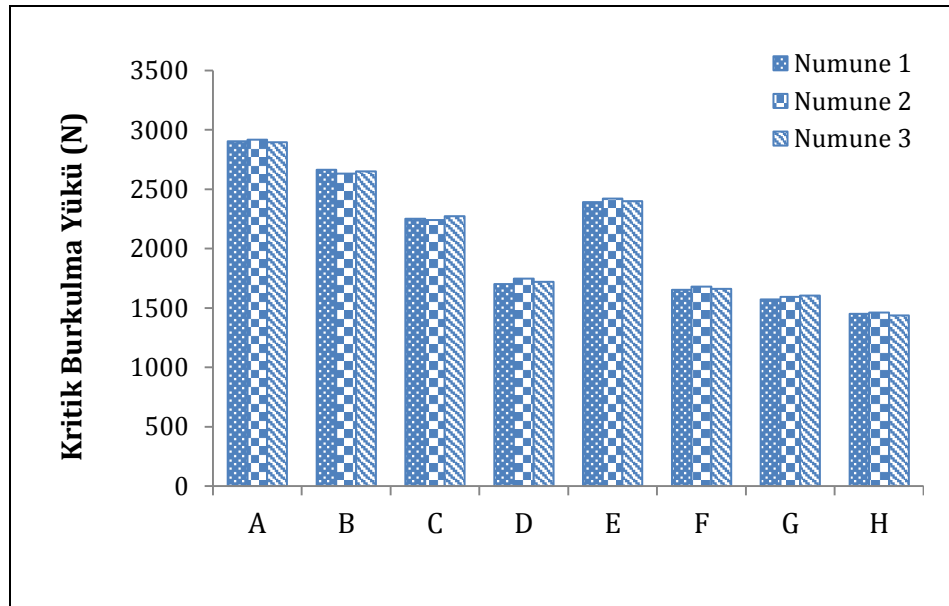
4.1.3. Soğuk ortamda bekletilen numunelerin burkulma davranışları

60 gün boyunca soğuk ortamda bekletilen jüt ve cam elyaf takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma deneyleri sonucu elde edilen kritik burkulma yükü değerleri Çizelge 4.4.'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yükleri

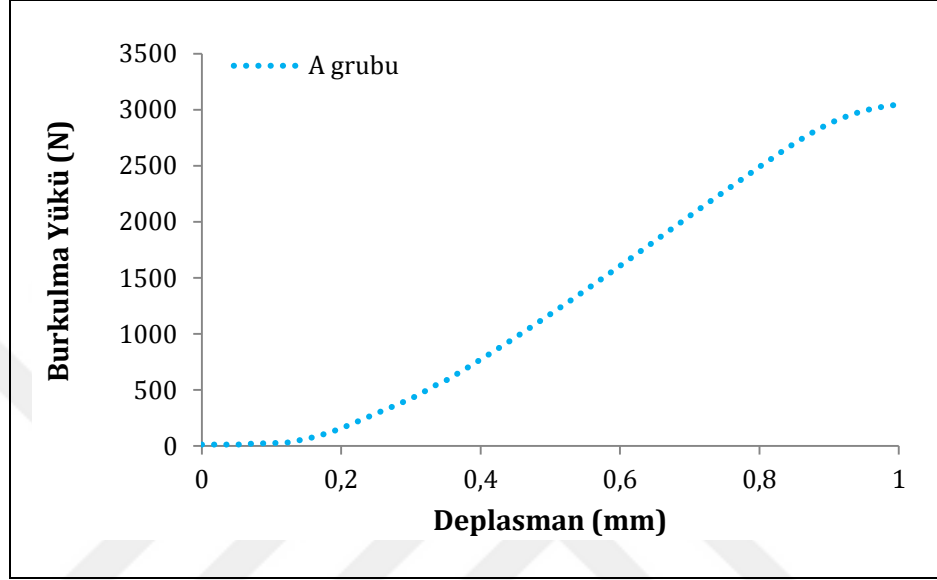
Konfigürasyonlar		Kritik Burkulma Yükü (N)			
		Numune - 1	Numune - 2	Numune - 3	Ortalama
A	(0 _c /30 _j) _{2s}	2904	2916	2896	2906
B	(0 _c /45 _j) _{2s}	2664	2632	2650	2648
C	(0 _c /90 _j) _{2s}	2250	2240	2274	2255
D	(0 _c /90 _j) _{2as}	1700	1746	1721	1722
E	(0 _{2c} /90 _{2j}) _s	2390	2420	2398	2403
F	(0 _{2c} /90 _{2j}) _{as}	1652	1680	1660	1664
G	(30 _c /-60 _j) _{2s}	1570	1594	1603	1589
H	(45 _c /-45 _j) _{2s}	1449	1462	1435	1449

Şekil 4.22.'de soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



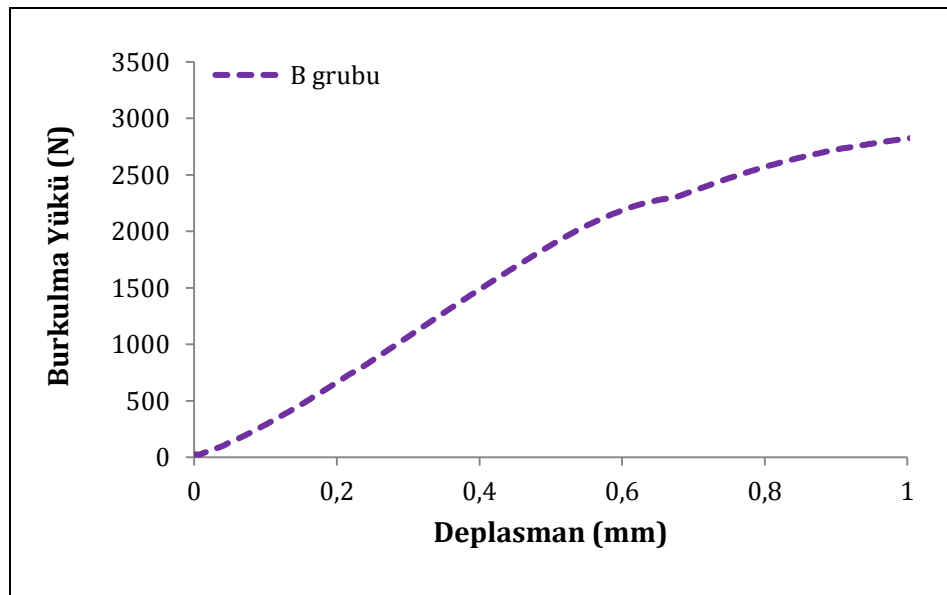
Şekil 4.22. Soğuk ortamda bekletilen numunelerin kritik burkulma yükleri

Şekil 4.22.'den görüldüğü üzere, 60 gün boyunca soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit numunelerde meydana gelen kritik burkulma yüklerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması A-B-E-C-D-F-G-H şeklindedir. Şekil 4.23.'te oda koşullarında bekletilen $[0_c/30_j/0_c/30_j/30_j/0_c/30_j/0_c]$ dizilimli A grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



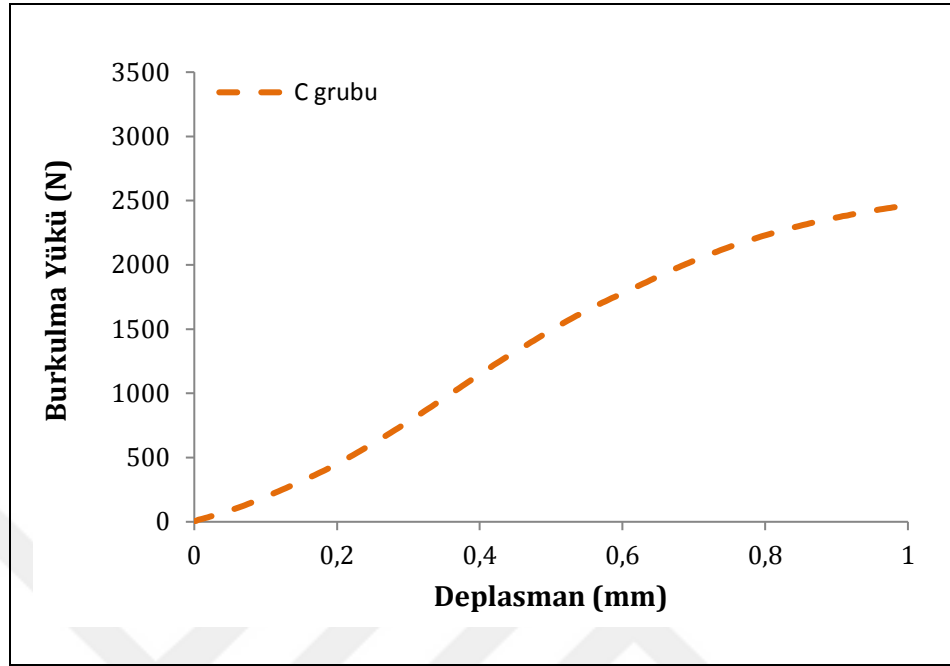
Şekil 4.23. A grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.24.'de soğuk ortamda bekletilen $[0_c/45_j/0_c/45_j/45_j/0_c/45_j/0_c]$ dizilimli B grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



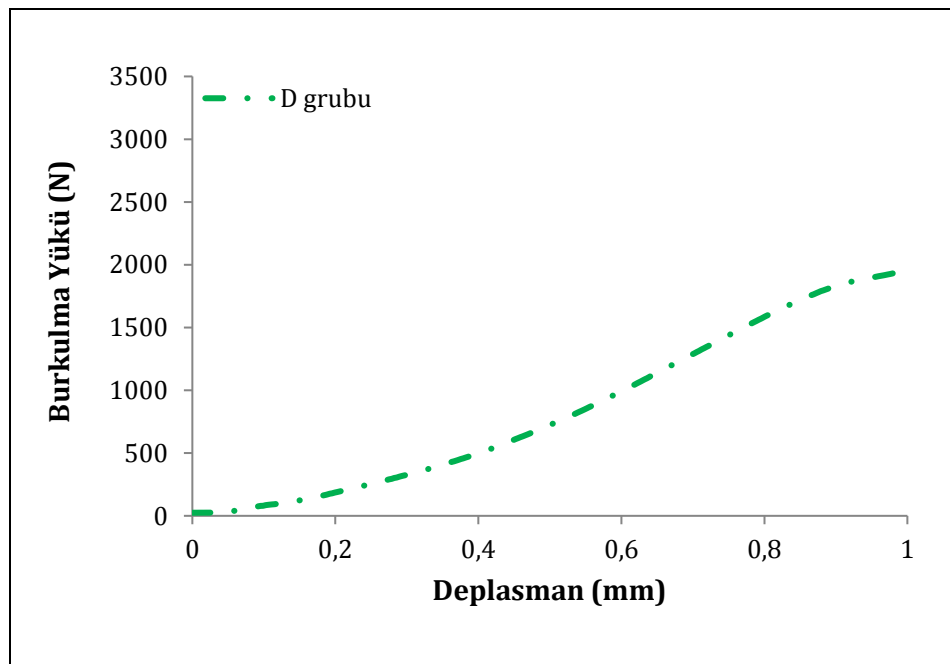
Şekil 4.24. B grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.25.'de soğuk ortamda bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/90_j/0_c/90_j/0_c]$ dizilimli C grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



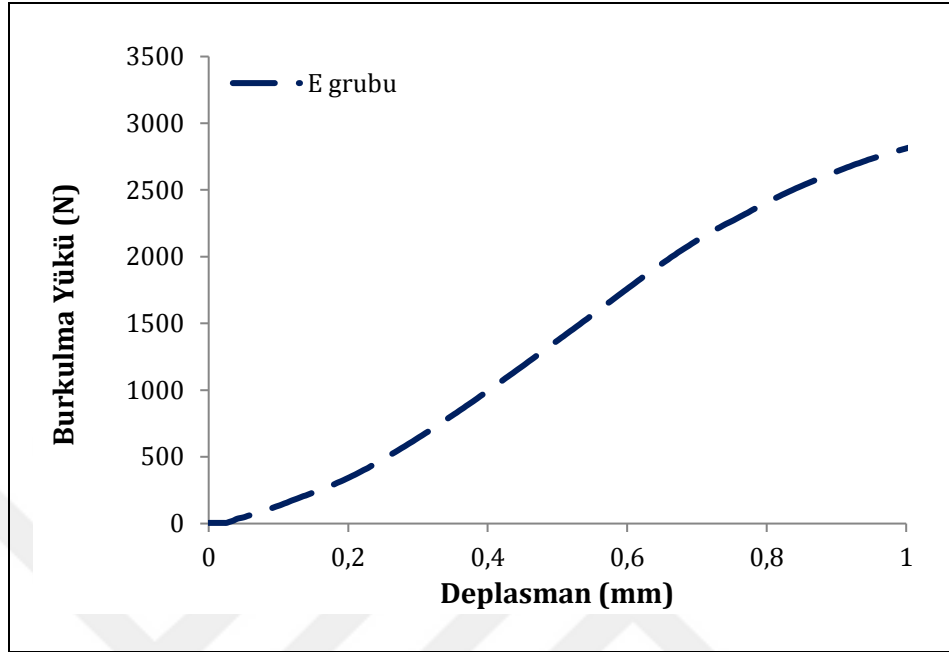
Şekil 4.25. C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.26.'da soğuk ortamda bekletilen $[0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j/0_c/90_j]$ dizilimli D grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



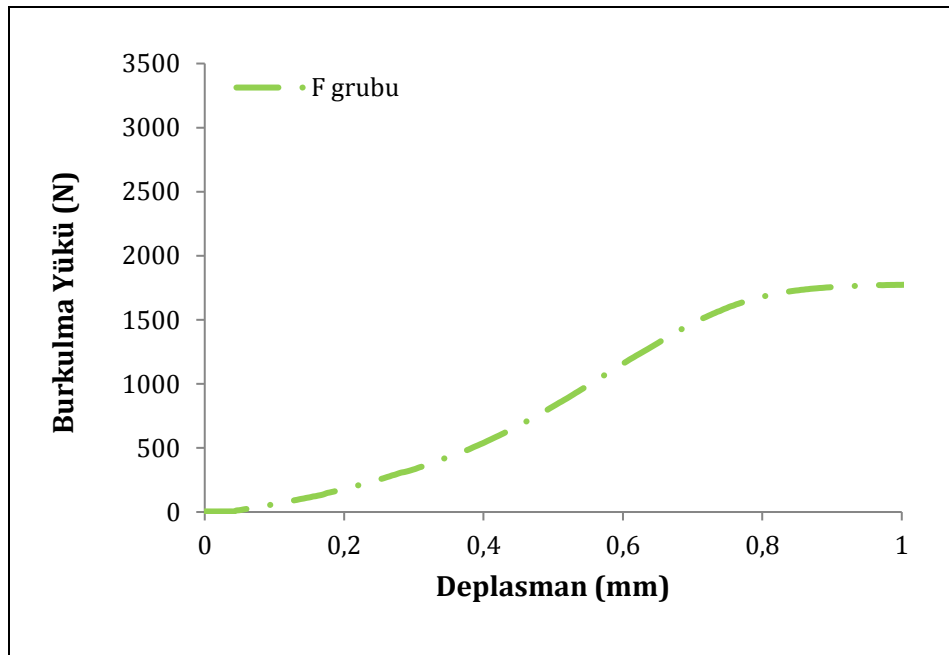
Şekil 4.26. D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.27.'de soğuk ortamda bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/90_j/0_c/0_c]$ dizilimli E grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



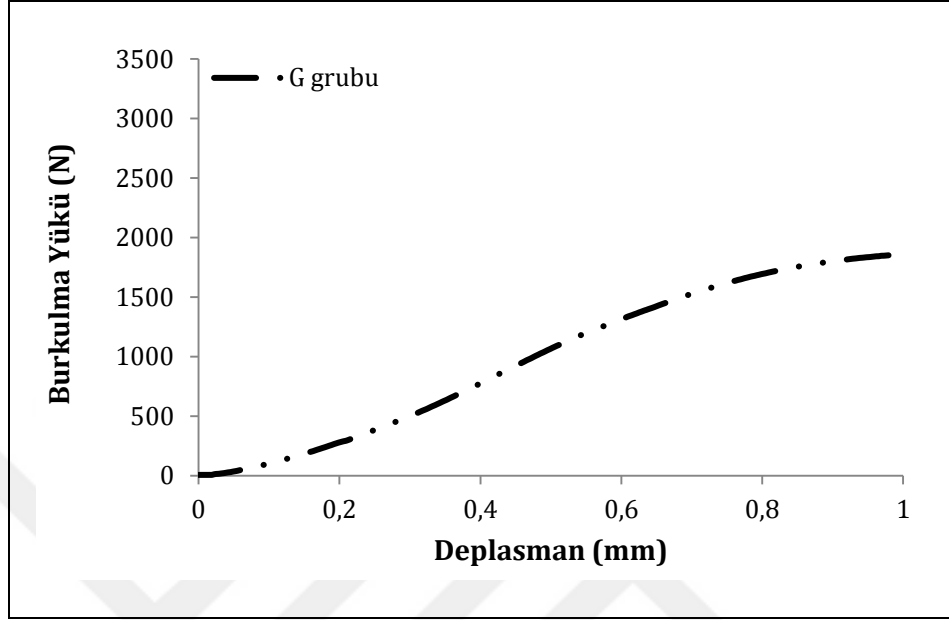
Şekil 4.27. E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.28.'de soğuk ortamda bekletilen $[0_c/0_c/90_j/90_j/0_c/0_c/90_j/90_j]$ dizilime sahip F grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



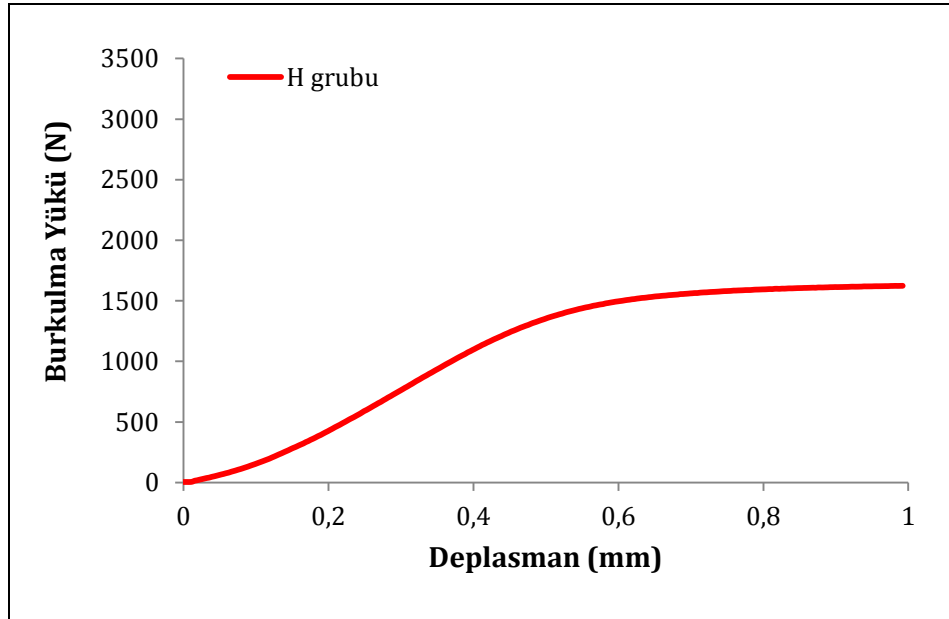
Şekil 4.28. F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.29.'da soğuk ortamda bekletilen $[30_c/-60_j/30_c/-60_j/-60_j/30_c/-60_j/30_c]$ dizilime sahip G grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.29. G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Şekil 4.30.'da soğuk ortamda bekletilen $[45_c/-45_j/45_c/-45_j/-45_j/45_c/-45_j/45_c]$ dizilime sahip H grubu numunelerin burkulma yükü-deplasman grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.30. H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği (soğuk ortam)

Çizelge 4.5'te üç farklı ortamda bekletilen tüm hibrit kompozit konfigürasyonlarına ait numunelerin ortalama kritik burkulma yükleri verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı ortamlarda bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yükleri

Konfigürasyonlar		Kritik Burkulma Yükleri (N)		
		Oda Koşulları	Deniz Suyu	Soğuk Ortam
A	$(0_c/30_j)_{2s}$	2734	2428	2906
B	$(0_c/45_j)_{2s}$	2355	2115	2648
C	$(0_c/90_j)_{2s}$	2033	1817	2255
D	$(0_c/90_j)_{2as}$	1441	1308	1722
E	$(0_{2c}/90_{2j})_s$	2152	1442	2403
F	$(0_{2c}/90_{2j})_{as}$	1571	1388	1664
G	$(30_c/-60_j)_{2s}$	1361	1199	1589
H	$(45_c/-45_j)_{2s}$	1319	971	1449

Tüm ortam koşulları için, farklı istifleme dizilimine sahip hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri karşılaştırıldığında; simetrik $(0_c/30_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip A grubu numunelerin kritik burkulma yüklerinin en yüksek olduğu, $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilime sahip H grubu kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin ise en düşük değerlere sahip oldukları Çizelge 4.5.'ten görülmektedir. Bu sonuçlar literatürde bulunan çalışmalarla da örtüşmektedir. Yapılan çalışmalarda tabakalı kompozit malzemelerin istifleme şekillerinin plakalardaki kritik burkulma yükünü doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır. Yeter (2013), tarafından yapılan çalışmada da, kompozit malzemelerin farklı fiber ve oryantasyon açılarının burkulma davranışlarına doğrudan etkisi olduğu sonucuna varmıştır. Diğer benzer literatür çalışmalarında da farklı dizilime sahip kompozit malzemelerin burkulma davranışlarında fiber istifleme dizilimine bağlı olarak değişiklikler meydana geldiği belirtilmiştir (Lee ve Hyer, 1993; Ramesh, 2013). Erklığ ve Yeter (2014), simetrik ve ansimetrik kompozit plakalarda, plaka uzunluğunun ve plaka kalınlığının kompozit burkulma davranışı üzerine etkisini araştırmışlar, kompozit plakaların burkulma davranışlarını teorik ve nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda

farklı fiber oryantasyon açılarının burkulma dayanımları üzerinde önemli etkisi olduğu belirtmişlerdir. 45°lik açı kullanıldığında minimum burkulma yüküne ulaşmışlardır.

Çizelge 4.5.'ten görüleceği üzere deniz suyu kompozitlerde olumsuz bir etki yaratmıştır. Deniz suyunda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin oda koşullarında ve soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 4.5.'e bakacak olursak 60 gün boyunca deniz suyunda bekletilen A grubu numunelerin kritik burkulma yükünün oda koşullarına göre %11,21 oranında, B grubu numunelerin kritik burkulma yükünün ise oda koşullarına göre % 10,19 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Deniz suyunda 60 gün bekletilen C grubu numunelerin kritik burkulma yükünde oda koşulları göre % 10,63 oranında, D grubu numunelerin kritik burkulma yükünde ise oda koşullarına göre % 9,25 oranında azalmalar görülmüştür. 60 gün deniz suyunda bekletilen E grubu numunelerin kritik burkulma yükü oda koşullarına göre % 32,98 oranında, F grubu numunelerin kritik burkulma yükü ise oda koşullarına göre % 11,65 oranında azalmıştır. Deniz suyunda 60 gün boyunca bekletilen G grubu numunelerin kritik burkulma yükünde oda koşullarına göre % 11,93 oranında, H grubu numunelerin kritik burkulma yükünde ise oda koşullarına göre % 26,40 oranında azalmalar görülmektedir. Tüm bu çalışmaların sonucunda, deniz suyunun tuzlu yapıda olması hibrit kompozitlerin burkulma dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir.

Literatürde bulunan diğer çalışmalarda bu sonucu desteklemektedirler. Çalık (2010), cam lifi-epoksi tabakalı kompozit plağın darbe davranışı üzerine deniz suyunun etkisini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlardan numunelerin deniz suyunda bekleme süresi arttıkça absorbe ettiği enerji miktarı azalmış ve dayanımında azalmalar görülmüştür. Benzer şekilde Aktaş ve Uzun (2008), örgü cam lifi esaslı kompozitler plakaların yatak dayanımı üzerine deniz suyunun etkisini incelemişler ve deniz suyunda bekletilen numunelerin yatak dayanımlarında önemli ölçüde azalmalar olduğunu rapor etmişlerdir. Karakuzu vd. (2017), cam lifi – epoksi esaslı kompozit plakların darbe davranışı üzerine

deniz suyunun etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, deniz suyundaki tuzun, darbe enerjisinin ve darbe ucu kütlesinin kompozit plakların darbe davranışı üzerine önemli etkisi olduğu belirtilmiştir. Gu (2009), deniz suyu içerisine maruz bırakılan cam/polyester kompozitlerin mekanik analizleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Sonuç olarak deniz suyunda bekletilen numunelerin deniz suyunda kalma sürelerinin artması ile hem matris hem de ara yüzeylerinde bozunmaların görüldüğünü rapor edilmiştir.

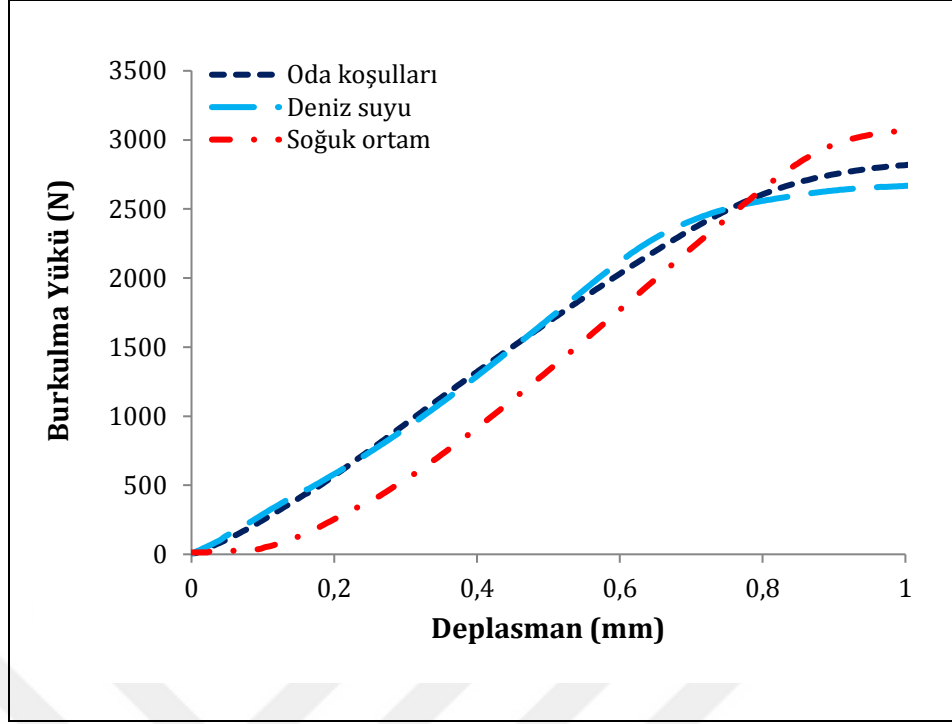
Çizelge 4.5.'e göre, soğuk ortamın hibrit kompozitlerin burkulma davranışına etkisi olumlu yönde olmuştur. 60 gün boyunca soğuk ortamda bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin oda koşullarında bekletilen kompozitlerin kritik burkulma yüklerine göre arttığı görülmektedir. Soğuk ortamda 60 gün bekletilen A grubu numunelerin kritik burkulma yükü oda koşullarına göre % 6,26 oranında, B grubu numunelerin kritik burkulma yükü ise oda koşullarına göre % 12,45 oranında artış göstermiştir. 60 gün soğuk ortamda bekletilen C grubu numunelerin kritik burkulma yükünün oda koşullarına göre % 10,90 oranında, D grubu numunelerin kritik burkulma yükünün ise oda koşullarına göre % 19,49 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Soğuk ortamda 60 gün bekletilen E grubu numunelerin kritik burkulma yükü oda koşullarına göre % 11,67 oranında, 60 gün soğuk ortamda bekletilen F grubu numunelerin kritik burkulma yükü ise oda koşullarına göre % 5,92 oranında artış göstermiştir. 60 gün soğuk ortamda bekletilen G grubu numunelerin kritik burkulma yükünün oda koşullarına göre % 16,70 oranında arttığı, H grubu numunelerin kritik burkulma yükünün ise oda koşullarına göre % 8,92 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm bu çalışmaların sonucunda, hibrit kompozitlerin burkulma dayanımının soğuk ortamlarda arttığı yönünde genel bir yargıya varılmıştır. Literatürde bulunan çalışmalarda da benzer sonuçlara rastlanılmıştır. Boubakri vd. (2010), çevresel yaşlanma koşullarının termoplastik poliüretanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu testler sonunda, mekanik özelliklerin bozulduğu ve bu bozulmanın büyük oranda sıcaklık artışına ve yaşlandırma süresine bağlı olduğu gösterilmiştir. Akgün (2010), yapmış olduğu çalışmada sıcaklığın onarılmış cam/epoksi kompozit plakların darbe davranışlarının deneysel yolla

incelemiştir. Test sıcaklığı olarak -50°C , 20°C , 90°C değerleri kullanılmış ve farklı sıcaklıkların etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, artan sıcaklığın kompozitlerin darbe davranışında olumsuz etkilendiği görülmüştür. Torabizadeh (2013), çalışmasında statik yük altındaki farklı oryantasyon açılarına sahip tek yönlü cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin farklı sıcaklıklardaki (25°C , -20°C ve -60°C) mekanik davranışları incelenmiş ve basma yükleri altında sıcaklığın azalmasıyla enine ve boyuna basma dayanımlarının önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir. Dhakal vd. (2014), el yatırma ve vakum paketlenme yöntemiyle üretilmiş jüt elyaf takviyeli doymamış polyester matrisli kompozitlerin darbe davranışına sıcaklık ve darbe hızının etkisi incelemiştir. Test sıcaklığı artışının darbe sonrası eğilme mukavemetini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

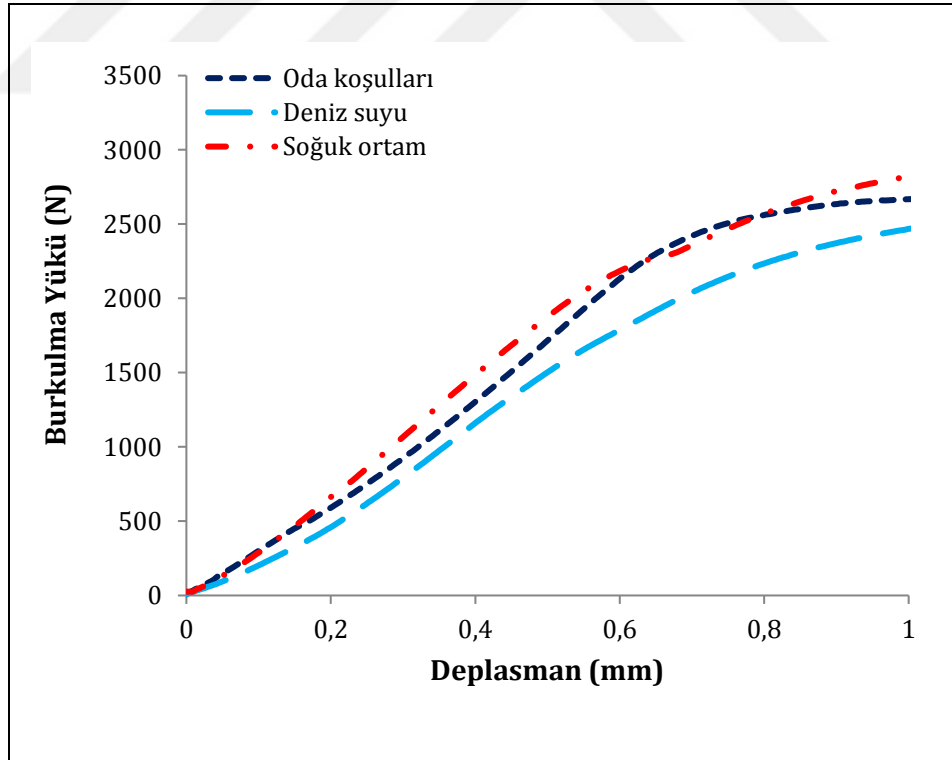
Doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin farklı dizilimlere ve farklı oryantasyon açılarına sahip olması, mekanik özelliklerinde ve dayanımlarında değişikliklere sebep olmaktadır. Literatürde bulunan çalışmalar bu durumu desteklemektedir. Hossain vd. (2013), jüt kumaşları $(0/0)_{2s}$, $(0/+45)_{2s}$ ve $(0/90)_{2s}$ şeklinde olmak üzere istifleyerek jüt takviyeli kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlere çekme ve üç nokta eğilme testleri yapılarak deneysel sonuçlar elde etmişlerdir. Tüm çalışmaların sonunda en iyi mekanik özellikleri ve dayanım değerlerine $(0/90)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip kompozitlerde ulaşılmıştır. Göz (2016), çalışmasında jüt ve keten dokuma kumaş takviyeli, epoksi matrisli, farklı elyaf dizilişine sahip kompozit plakaları çekme ve darbe testlerine tabi tutarak elyaf dizilişinin karma kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda farklı elyaf dizilişlerinin karma kompozit malzemelerde çekme ve darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerinde farklılığa neden olduğu belirtmiştir. Ramnath vd. (2014), yaptıkları çalışmada jüt, keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitin mekanik özelliklerini inceleyip jüt ve cam elyaf takviyeli kompozit ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre karma doğal kompozitin çok iyi çekme ve eğilme özellikleri olduğunu rapor etmişlerdir. Ahmed vd. (2007), jüt/cam takviyeli karma kompozitlerin düşük hızlı darbe hasar karakteristiğini inceledikleri çalışmada jüt tabakalarının daha fazla enerji absorbe edebilme kabiliyeti olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak jüt

tabakalarının jüt/cam karma tabakalarına göre daha az hasar toleransı kabiliyeti olduğunu tespit etmişlerdir. Dhakal vd. (2013), düşük hızlı darbe yükü altında jüt takviyeli kompozitlerin darbe davranışını inceledikleri çalışmalarında lif dizilişi ve kalınlık değişiminin darbe dayanımında büyük bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Farklı istifleme dizilişleriyle darbe hasarında değişikliklerin meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Pandita vd. (2014), dokuma jüt kumaş ve jüt-cam takviyeli karma kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Dokuma jüt/cam kompozitlerin eğilme ve darbe özelliklerinin sadece dokuma jüt kompozite göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Braga ve Magalhaes (2015), sadece jüt kumaş ve jüt-cam kumaş ile takviyelendirilmiş epoksi matrisli karma kompozitlerin mekanik ve termal özelliklerini incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre jüt ve cam elyafın bir arada kullanılması yoğunluğu, darbe enerjisini, çekme mukavemetini ve eğilme mukavemetini artırmıştır. Zhang vd. (2013), tek yönlü keten ve cam elyaf takviyeli karma kompozitin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Karma kompozitlerin gerilme özellikleri cam elyaf içeriğinin artırılmasıyla geliştirilmiştir. Keten ve cam elyafın istiflenme sırasının gerilme mukavemetini ve deformasyonunu etkilediği görülmüştür. Karma kompozitlerin kırılma tokluğu ve katlar arası kayma mukavemeti cam elyaf takviyeli kompozitlerden daha yüksektir.

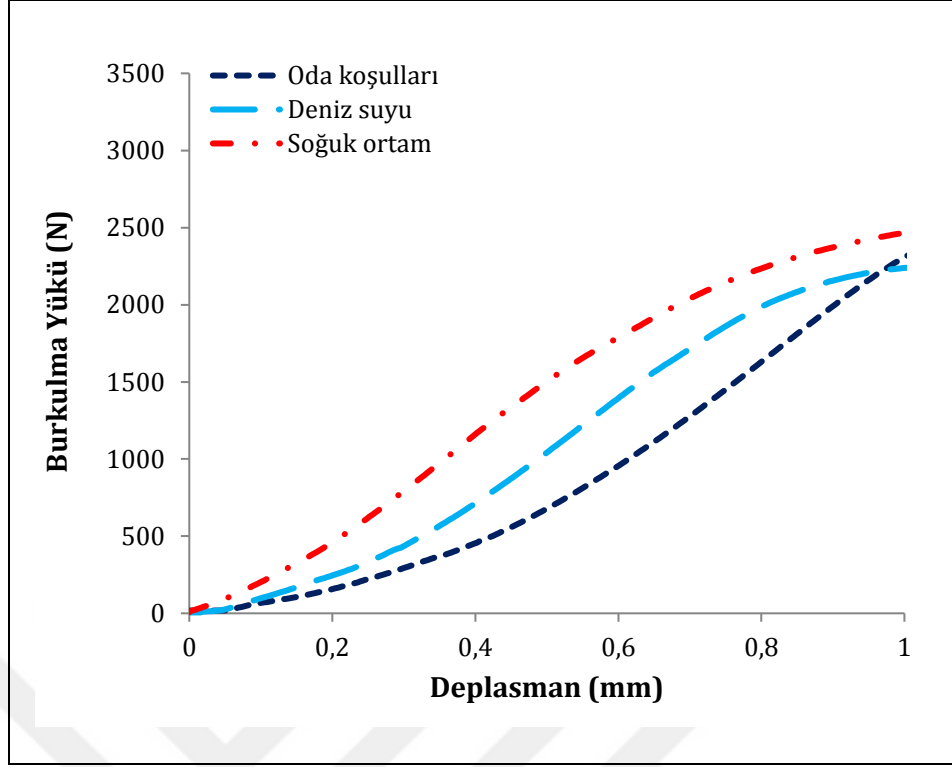
Üç farklı ortam koşulunda 60 gün boyunca bekletilen A-B-C-D-E-F-G-H konfigürasyonlara sahip hibrit kompozit numunelere ait burkulma yükü-deplasman grafikleri tüm ortam koşulları için aşağıda sırasıyla verilmiştir.



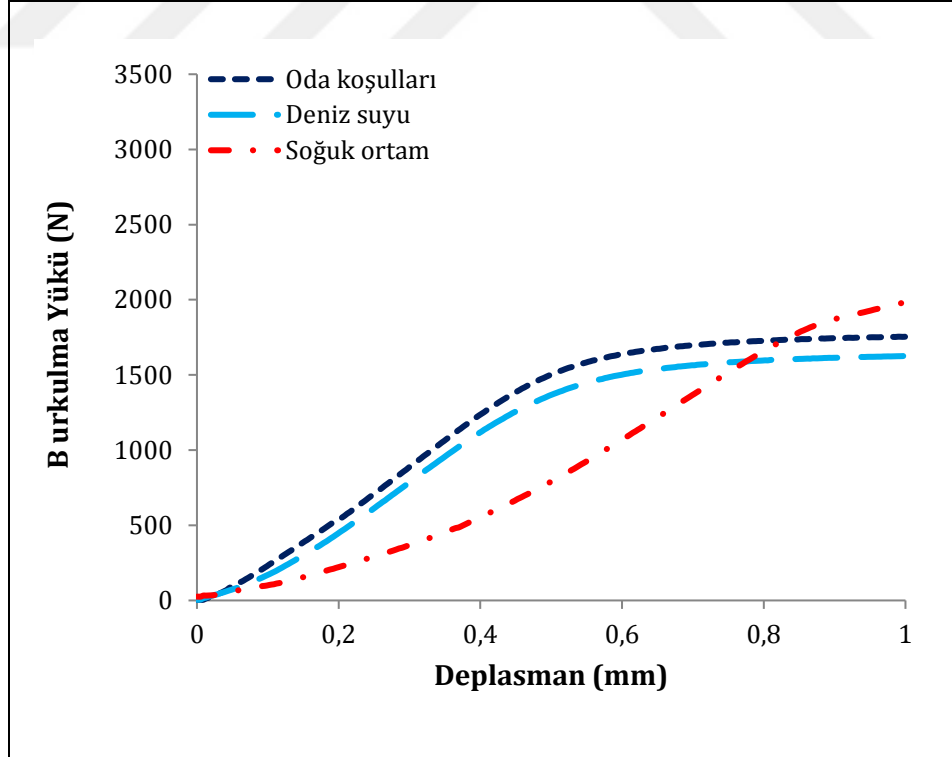
Şekil 4.31. Farklı ortamlarda bekletilen A grubu için burkulma yüğü-deplasman grafiğı



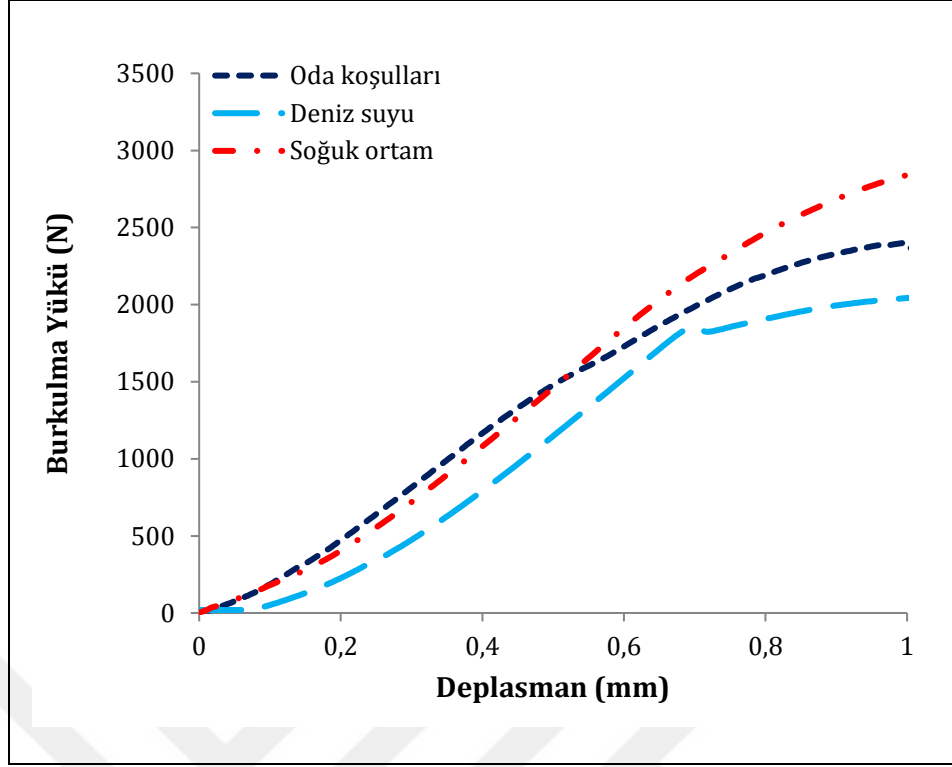
Şekil 4.32. Farklı ortamlarda bekletilen B grubu için burkulma yüğü-deplasman grafiğı



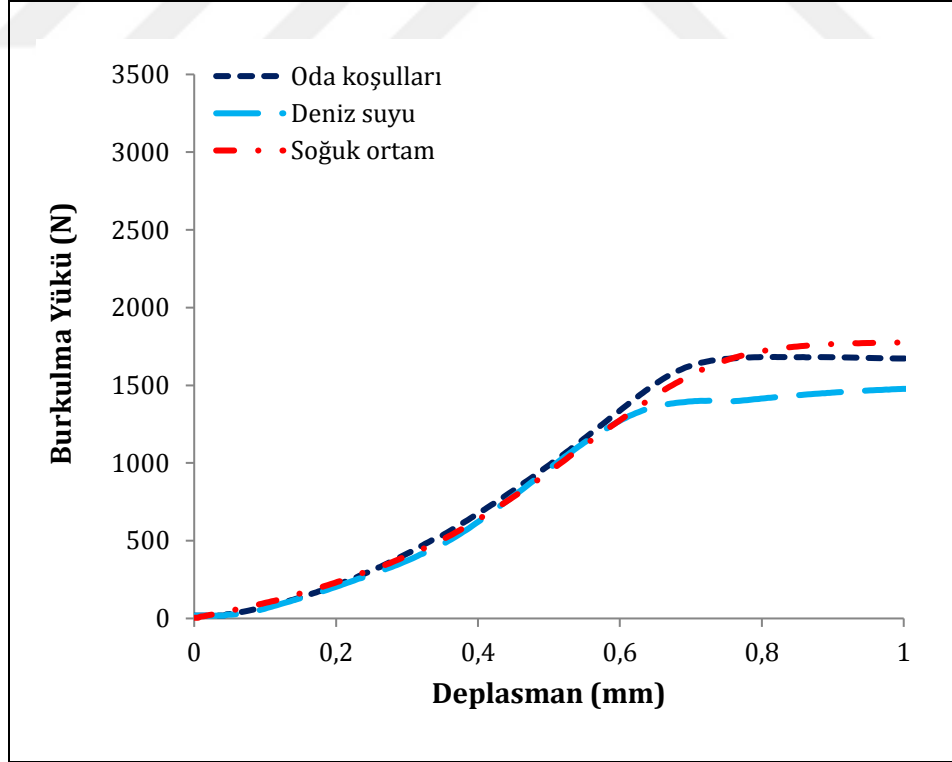
Şekil 4.33. Farklı ortamlarda bekletilen C grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği



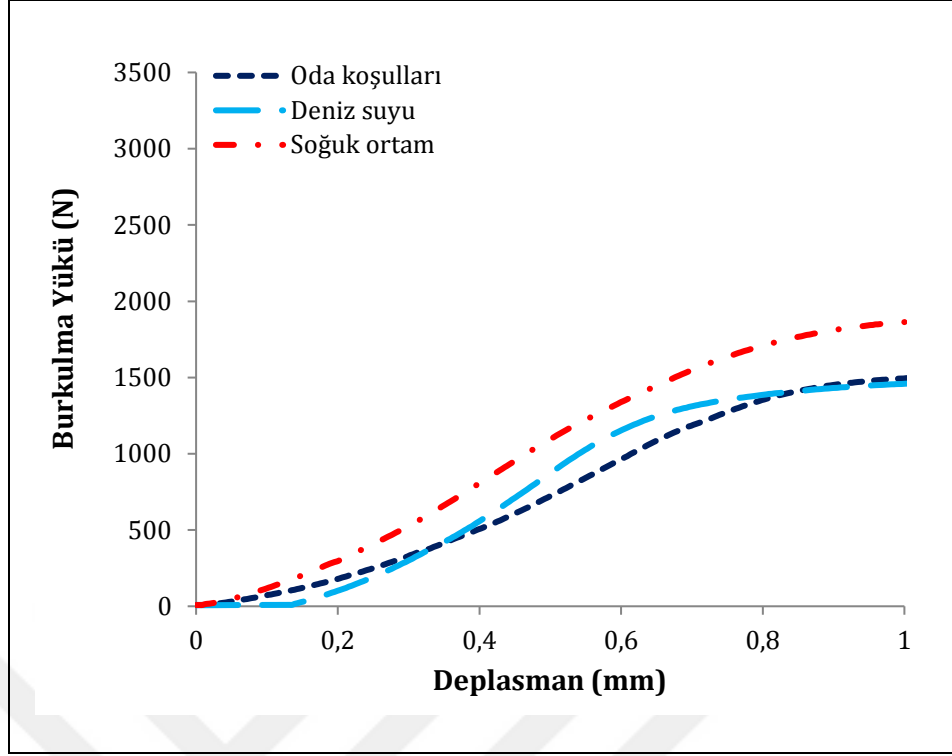
Şekil 4.34. Farklı ortamlarda bekletilen D grubu için burkulma yükü-deplasman grafiği



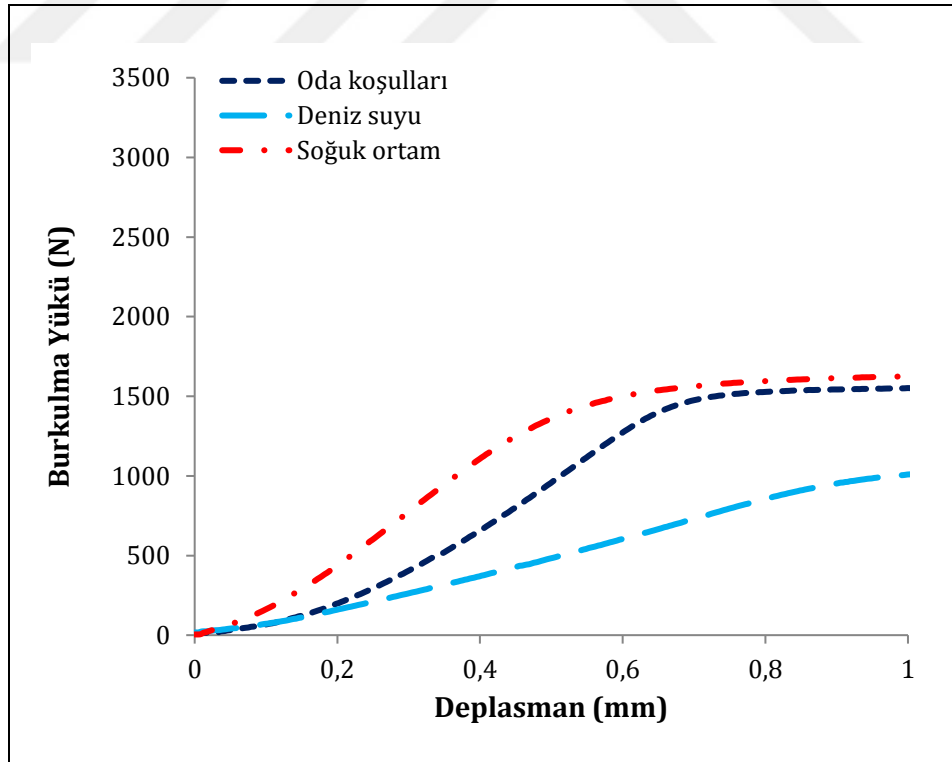
Şekil 4.35. Farklı ortamlarda bekletilen E grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı



Şekil 4.36. Farklı ortamlarda bekletilen F grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı

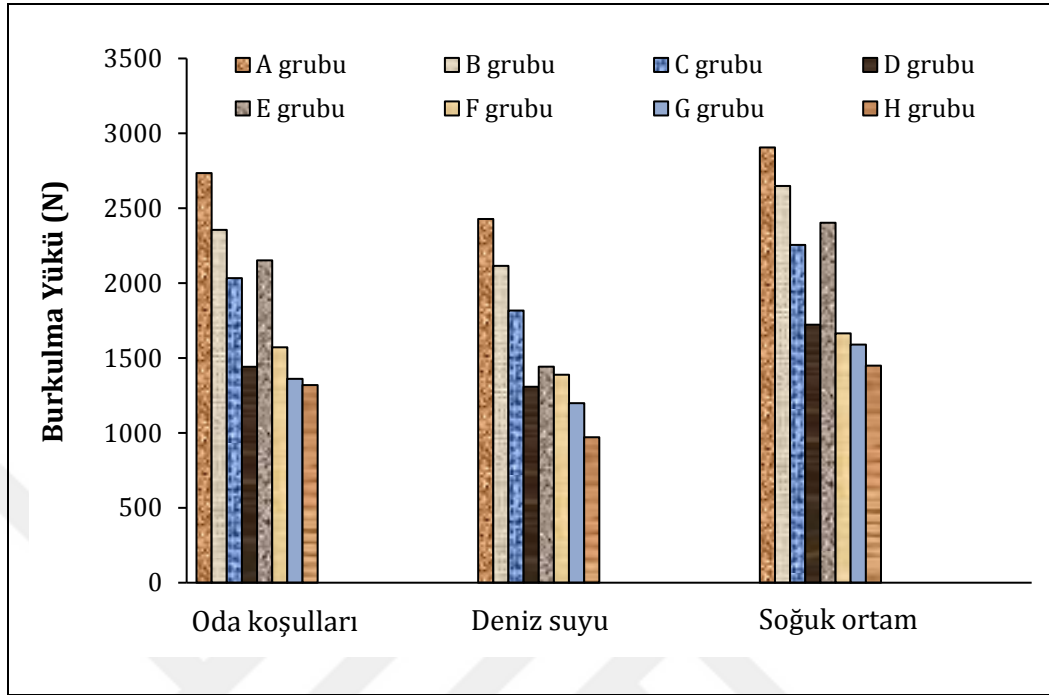


Şekil 4.37. Farklı ortamlarda bekletilen G grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı



Şekil 4.38. Farklı ortamlarda bekletilen H grubu için burkulma yükü-deplasman grafiğı

Şekil 4.39.'da 60 gün boyunca farklı ortamlarda bekletilen malzemelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.39. Farklı ortamlarda bekletilen tüm konfigürasyonlara ait numunelerin kritik burkulma yükleri

Şekil 4.39'dan, soğuk ortamda bekletilen malzemelerin kritik burkulma yüklerinin, oda koşullarında ve deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerine göre arttığı görülmektedir.

Deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yüklerinin, oda koşullarında bekletilen hibrit kompozit numunelerin kritik burkulma yüklerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Deniz suyunda bekletilen numunelerin burkulma dayanımının düşük olmasının nedeni, deniz suyunda bulunan tuzun numunelerin fiber-matris ara yüzeyinde bozunmalara sebep olduğu ve dayanımlarını azalttığı düşünülmektedir.

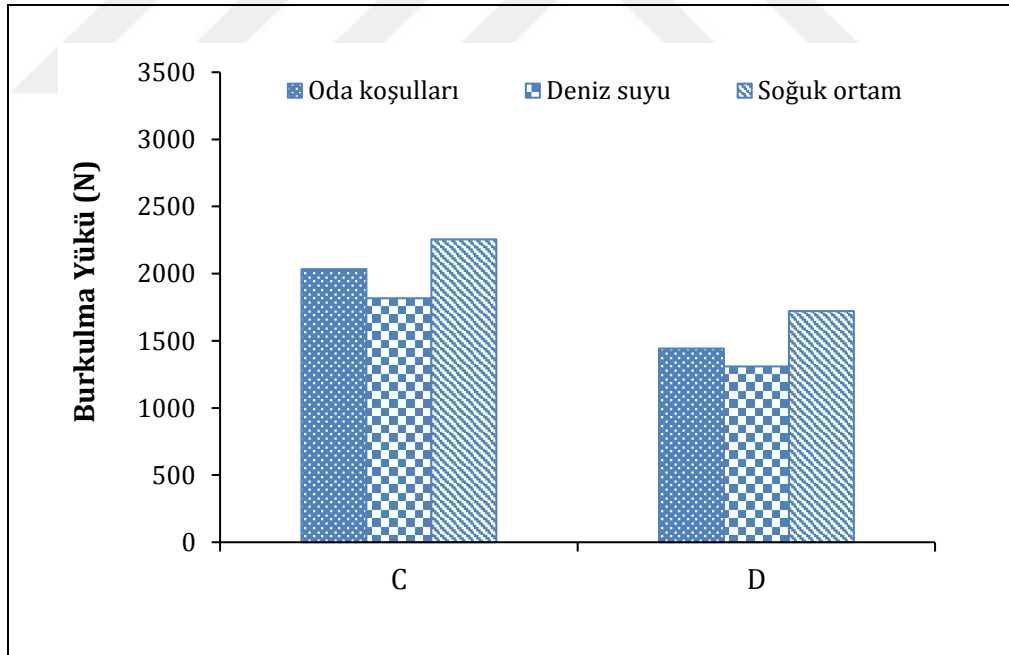
Aşağıda verilen çizelge ve grafiklerde farklı ortamlarda bulunan simetrik ve antisimetrik dizilime sahip numunelerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Çizelge 4.6.'da simetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_s$ dizilimli C grubu numuneler ile antisimetrik

$(0_c/90_j/0_c/90_j)_{as}$ dizilimli D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. Simetrik ve antisimetrik dizilimli C ve D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri

Ortam Koşulları	Kritik Burkulma Yükleri (N)	
	C	D
Oda Koşulları	2033	1441
Deniz Suyu	1817	1308
Soğuk Ortam	2255	1722

Şekil 4.40.'da simetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_s$ dizilimli C grubu numuneler ile antisimetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_{as}$ dizilimli D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



Şekil 4.40. C ve D grubu numunelerin kritik burkulma yükleri

Çizelge 4.6.'dan ve Şekil 4.40'dan görüldüğü üzere farklı ortamlar için simetrik dizilimli C grubu numunelerin kritik burkulma yükünün, antisimetrik dizilimli D grubu numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki malzemenin

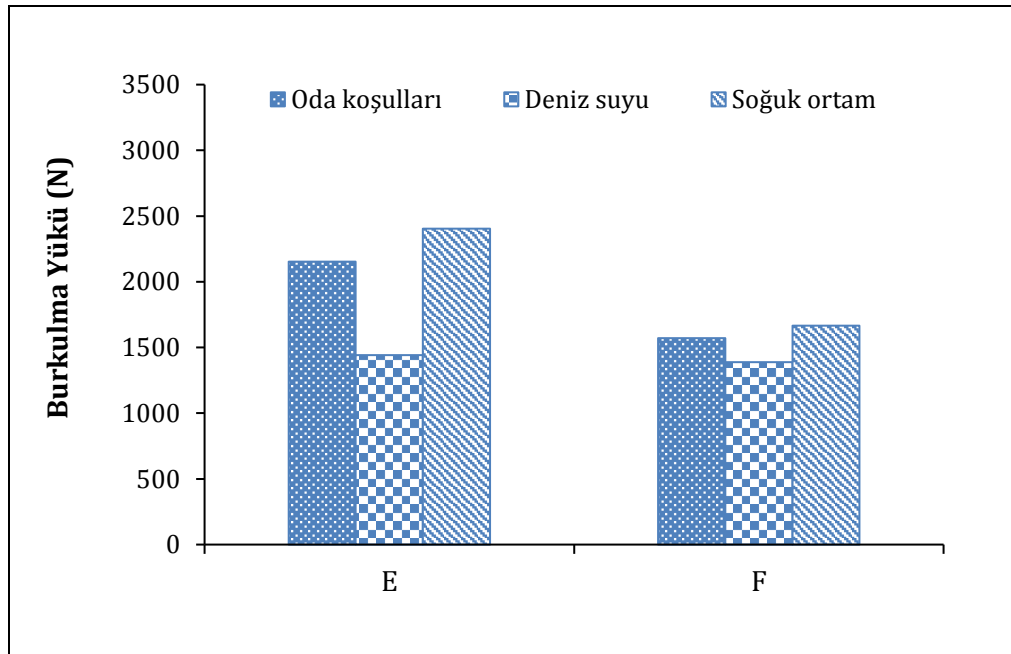
de soğuk ortamda kritik burkulma yüklerinin oda koşullarına göre artış gösterdiği, deniz suyunda ise azalmaların olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7.'de simetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_s$ dizilimli E grubu numuneler ile antisimetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_{as}$ dizilimli F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Simetrik ve antisimetrik dizilimli E ve F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri

Ortam Koşulları	Kritik Burkulma Yükleri (N)	
	E	F
Oda Koşulları	2152	1571
Deniz Suyu	1442	1388
Soğuk Ortam	2403	1664

Şekil 4.41.'de simetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_s$ dizilimli E grubu numuneler ile antisimetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_{as}$ dizilimli F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri grafik halinde verilmiştir.



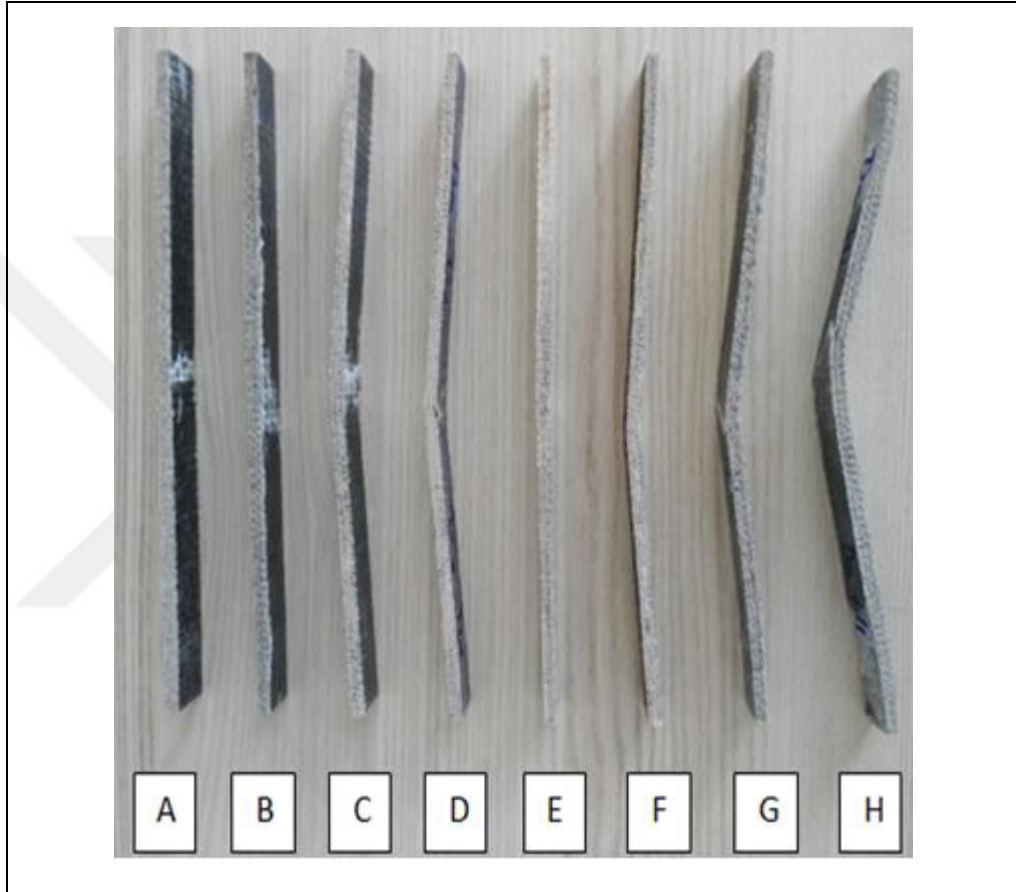
Şekil 4.41. E ve F grubu numunelerin kritik burkulma yükleri

Çizelge 4.7. ve Şekil 4.41'den görüldüğü üzere, farklı ortamlar için simetrik dizilimli E grubu numunelerin kritik burkulma yükünün, antisimetrik dizilimli F grubu numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Her iki malzemenin de soğuk ortamda kritik burkulma yüklerinin oda koşullarına göre artış gösterdiği, deniz suyunda ise azalmaların olduğu görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, hibrit kompozit malzemelerin simetrik ve antisimetrik dizilime sahip olmasının burkulmayı doğrudan etkilediği görülmüştür. Simetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_s$ ve $(0_c/0_c/90_j/90_j)_s$ istifleme dizilimine sahip C ve E grubu hibrit kompozit numunelerin burkulma yükleri, antisimetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)$ ve $(0_c/0_c/90_j/90_j)$ dizilime sahip D ve F grubu numunelerin burkulma yükleri ile karşılaştırıldığında; simetrik dizilimli numunelerin burkulma yüklerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Simetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_s$ dizilimli C grubunun burkulma yükü değerleri simetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_s$ istifleme dizilimine sahip E grubu numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Benzer şekilde antisimetrik $(0_c/90_j/0_c/90_j)_{as}$ dizilime sahip D grubu numunelerin kritik burkulma yükü antisimetrik $(0_c/0_c/90_j/90_j)_{as}$ dizilimine sahip F grubu numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sonuçların sebebi ise kompozitlerin farklı istifleme dizilimine sahip olmalarıdır. Bu nedenle hibrit kompozit malzemelerin farklı istifleme dizilimlerinin burkulma davranışlarına doğrudan etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde yapılan diğer bir çalışmada da, tabakalı kompozit malzemelerin ve malzemelerin istifleme şekillerinin plakalardaki kritik burkulma yükünü doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır (Cappello ve Tumino, 2006). Başka bir literatür çalışmasında da, farklı dizilime sahip iki kompozit malzemenin burkulma davranışlarının fiberlere bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir (Lee ve Hyer, 1993). Yeter vd. (2014), çalışmasında simetrik ve antisimetrik dizilime sahip hibrit kompozit plakaların burkulma davranışlarını incelemiştir. Plakaların üretiminde fiber olarak karbon, S-cam ve aramid lifleri, matris olarak da epoksi reçine kullanmışlardır. Farklı delik geometrilerine sahip kompozit plakaların burkulma davranışı üzerine plaka kalınlığının, plaka en/boy oranının, delik geometrilerinin tipi ve yerinin ve istifleme dizilimlerinin etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak hibrit

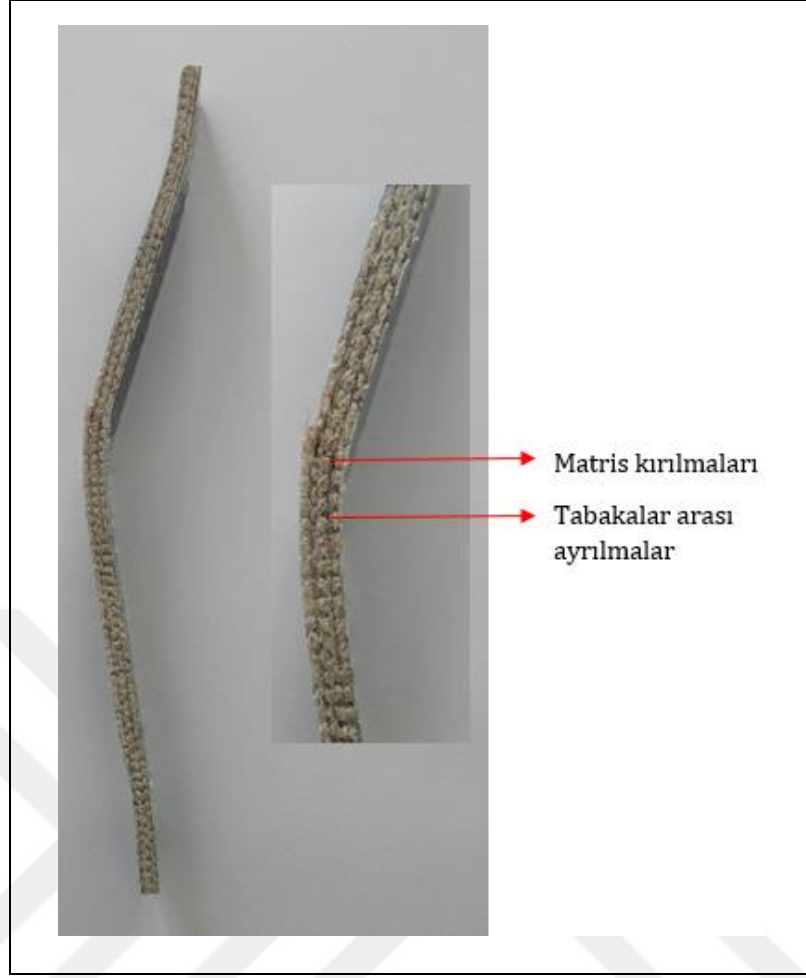
kompozit malzemelerin farklı fiber istifleme diziliminin ve oryantasyon açılarının burkulma dayanımını doğrudan etkilediğini belirtmiştir.

Şekil 4.42.'de burkulma testine tabi tutulan tüm numunelerde test sonrasında meydana gelen deformasyonlar gösterilmiştir. Tüm numunelerde burkulma testi sonrasında kalıcı şekil değişiklikleri meydana gelmiştir.



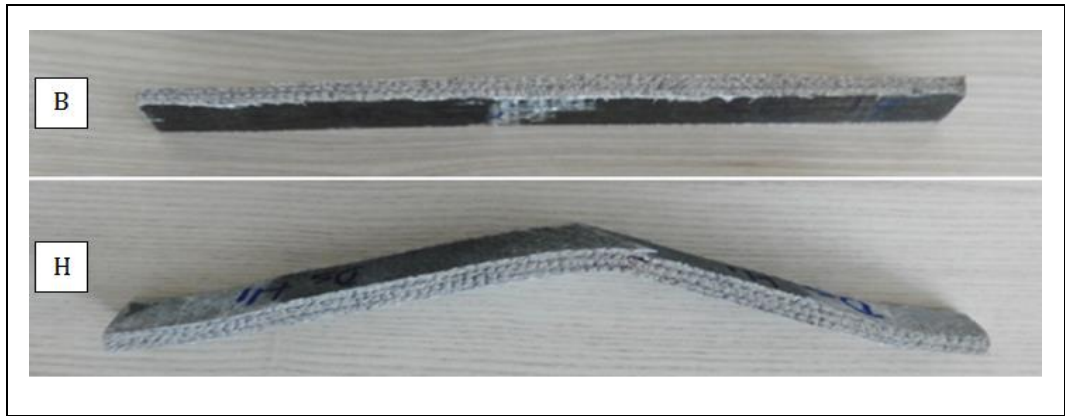
Şekil 4.42. Tüm kompozit numunelerde burkulma testi sonrası meydana gelen deformasyonlar

Şekil 4.43.'de 60 gün deniz suyunda bekletilen $(45_c/-45_j/45_c/-45_j)_s$ dizimli H grubu hibrit kompozit numunenin burkulma testi sonrasında oluşan deformasyonu detaylı olarak gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere kompozit numunede burkulma testi sonrasında; tabakalar arasında ayrılmalar (delaminasyonlar), fiber-matris ara yüzeyinde bozunmalar, fiberlerde kopmalar ve kırılmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.43. Burkulma testi sonrası oluşan deformasyon

Şekil 4. 44.'te $(0_c/45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip B grubu ile $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip H grubu hibrit kompozit numunelerinde burkulma testi sonrasında oluşan deformasyonlar birlikte verilmiştir.



Şekil 4.44. B ve H grubu kompozit numunelerinde meydana gelen deformasyonlar

Şekil 4.44'ten, $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip H grubu kompozit numunelerde daha fazla deformasyon ve kopmaların meydana geldiği görülmektedir. $(0_c/45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip B grubu hibrit kompozit numunelerde yükün büyük bir kısmı 0° 'li fiberler tarafından taşınmakta olup, $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip H grubu kompozit numunelerde ise yük hem matris hem de fiberler tarafından taşınmaktadır. Bu nedenle $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip H grubu kompozit numunelerde, $(0_c/45_j)_{2s}$ dizilime sahip kompozitlere göre daha fazla matris bozunmaları, daha fazla kırılma ve kopma meydana geldiği düşünülmektedir.

Şekil 4. 45.'te tüm ortam koşulları için $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip H grubu hibrit kompozit numunelerinde burkulma testi sonrasında oluşan deformasyonlar verilmiştir.



Şekil 4.45. Üç farklı ortam koşulu için H grubu hibrit kompozit numunelerinde meydana gelen deformasyonlar

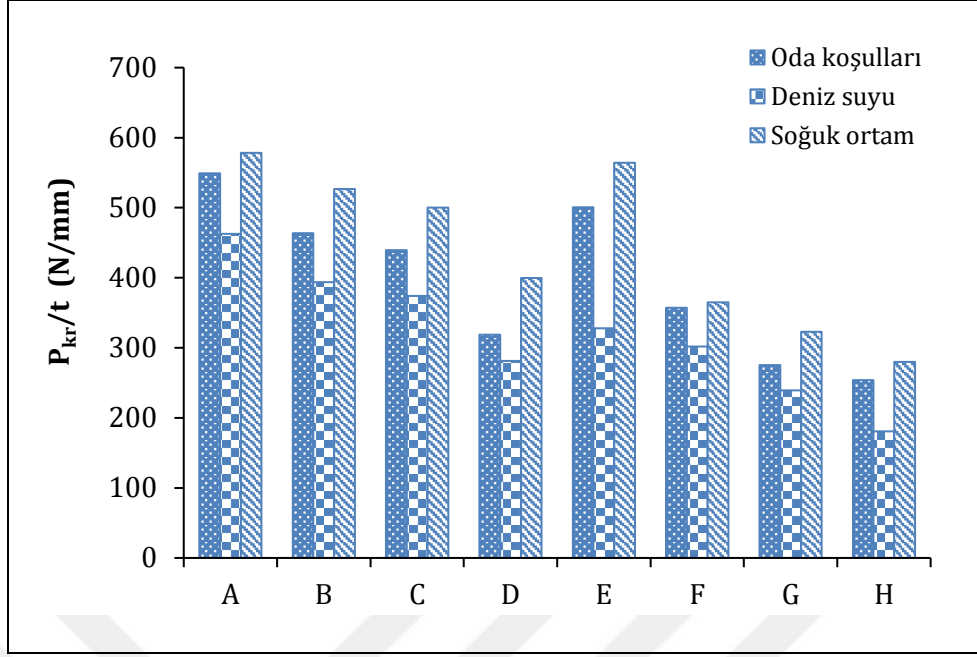
Şekil 4.45'ten, deniz suyunda bekletilen $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip H grubu kompozit numunelerde deniz suyunun korozif etkisinden dolayı diğer ortamlara göre daha fazla deformasyon meydana geldiği görülmektedir. En az deformasyon ise oda koşullarında bekletilen numunelerde görülmektedir.

Hibrit kompozit numuneler üretim esnasında eşit kalınlıkta üretilememiştir. Bu nedenle kompozit konfigürasyonları arasında kalınlık farklılıkları söz konusudur. Bu kalınlık farkını ortadan kaldırmak amacıyla Çizelge 4.8.'de hibrit kompozit malzemelerin burkulma testi sonucu elde edilen kritik burkulma yükü (P_{kr}) değerlerinin numune kalınlığına (t) bölünmesiyle elde edilen P_{kr}/t değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Burkulma testi sonucu elde edilen P_{kr}/t değerleri

Konfigürasyonlar		P_{kr}/t (N/mm)		
		Oda Koşulları	Deniz Suyu	Soğuk Ortam
A	$(0_c/30_j)_{2s}$	549,15	462,51	578,31
B	$(0_c/45_j)_{2s}$	463,69	393,54	526,61
C	$(0_c/90_j)_{2s}$	439,17	373,87	500,03
D	$(0_c/90_j)_{2as}$	318,93	281,34	399,68
E	$(0_{2c}/90_{2j})_s$	500,47	327,79	562,14
F	$(0_{2c}/90_{2j})_{as}$	357,18	301,83	365,06
G	$(30_c/-60_j)_{2s}$	275,12	239,37	322,69
H	$(45_c/-45_j)_{2s}$	253,75	180,67	280,04

Şekil 4.46.'da ise malzemelerin burkulma testi sonucu elde edilen kritik yük (P_{kr}) değerlerinin numune kalınlığına (t) bölünmesiyle elde edilen P_{kr}/t değerleri grafik halinde verilmiştir. Şekil 4.46.'dan görüldüğü üzere, 60 gün soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozitlerin P_{kr}/t değerinin 60 gün oda koşullarında bekletilen malzemelerin P_{kr}/t değerine göre artış gösterdiği, 60 gün deniz suyunda bekletilen malzemelerin ise P_{kr}/t değerlerinin oda koşullarına göre azalma gösterdiği belirlenmiştir. En düşük P_{kr}/t değeri 180,670 N/mm ile deniz suyunda bekletilen simetrik $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilimli H grubu hibrit kompozitlerde görülmüştür. En yüksek P_{kr}/t değerinin ise 578,309 N/mm ile soğuk ortamda bekletilen simetri $(0_c/30_j)_{2s}$ dizilimli A grubu malzemelerde görülmüştür.



Şekil 4.46. Burkulma testi sonucu elde edilen P_{kr}/t oranları

Bu çalışma sonucunda; farklı kombinasyonlara sahip doğal lif takviyeli hibrit kompozitlerin burkulma davranışı üzerine deniz suyu ve soğuk ortamın etkileri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Buna göre; deniz suyunda bekletilen hibrit kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin oda koşullarında bekletilen hibrit kompozitlerin kritik burkulma yüklerine nazaran azaldığı görülmüştür. Soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin ise oda koşullarında bekletilen hibrit kompozitlerin kritik burkulma yüklerine nazaran arttığı görülmüştür. Farklı oryantasyon açlarına sahip hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri de farklılık göstermiştir. En yüksek kritik burkulma yükü değeri $(0_c/30_j)_{2s}$ dizilime sahip A grubu hibrit kompozitlerde, en düşük kritik burkulma yükü değeri ise $(45_c/-45_j)_{2s}$ dizilime sahip H grubu kompozitlerde görülmüştür. Ayrıca simetrik dizilime sahip hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükleri, antisimetrik dizilimli hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükünden daha yüksek olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, jüt ve cam elyaf takviyeli 8 tabakalı hibrit kompozit plakaların burkulma davranışı üzerine farklı ortamların (oda koşulları, deniz suyu ve soğuk ortam), farklı oryantasyon açılarının ve farklı istifleme dizilimlerinin etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Üç farklı ortam koşulunda 60 gün boyunca bekletilen tüm hibrit konfigürasyonları için; en yüksek kritik burkulma yükü değerleri soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit malzemelerde, en düşük kritik burkulma yükü değerleri ise deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit malzemelerde görülmüştür.
- Farklı ortam şartlarında bekletilen kompozit malzemelerin simetrik ve antisimetrik istifleme dizilimlerinin hibrit kompozitlerin burkulma davranışlarını doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır. Simetrik ve antisimetrik dizilişli kompozitler karşılaştırıldığında; simetrik dizilimli hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerinin, antisimetrik dizilimli hibrit kompozit malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. $(0_c/90_j)_{2s}$ istifleme dizilimli C grubu kompozit malzemelerin kritik burkulma yükü, $(0_c/90_j)_{2as}$ dizilime sahip D grubu kompozit malzemelerin kritik burkulma yüküne göre daha yüksektir. Benzer şekilde, üst üste iki tabakası aynı açığa sahip simetrik $(0_{2c}/90_{2j})_s$ istifleme dizilimli E grubu kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerinin de, üst üste iki tabakası aynı açığa sahip antisimetrik $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ istifleme dizilimine sahip F grubu kompozit malzemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin fiber yönündeki E_1 elastisite modüllerinin, oda koşullarında bekletilen kompozit malzemelerin E_1 elastisite modüllerine göre azaldığı görülürken; soğuk ortamda bekletilen kompozit malzemelerin E_1 elastisite modüllerinde ise oda koşullarında bekletilen kompozit malzemelerin E_1 elastisite

modüllerine göre arttığı görülmüştür. Deniz suyunda bulunan tuzun kompozit malzemelerin burkulma davranışını ve dayanımını negatif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Kompozit malzemelerin sulu ve nemli ortamlarda uzun süre kalması sonucunda içyapısına su emilmesi nedeniyle malzemede şişmeler ve ağırlığında artışlar meydana gelir. Fiber-matris ara yüzeyine yerleşen tuzlu su aşındırıcı özeliğinden dolayı fiber-matris ara yüzeyinde bozunmalara ve malzemede şekil değişikliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle hibrit kompozitlerin elastisite modüllerinde azalmalar meydana gelmiştir.

- Soğuk ortamda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yükü değerlerinin oda koşullarında bekletilen hibrit kompozitlerin kritik burkulma yükü değerlerine göre arttığı belirlenmiştir.
- Deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerinin ise oda koşullarında bekletilen hibrit kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerine göre azaldığı görülmüştür. Kompozit malzemelerin korozif ve nemli ortamlara uzun süre maruz kaldıklarında malzemelerin içyapısında bozunmalar ve dayanımlarında düşüşlerin olması nedeniyle deniz suyunda bekletilen hibrit kompozit malzemenin kritik burkulma dayanımının düşük çıktığı düşünülmektedir.
- İstifleme dizilimindeki fiber oryantasyon açıları değiştikçe kompozit malzemenin kritik burkulma yükünde de farklılıklar meydana gelmiştir. En düşük kritik burkulma yükü değerleri $(30_c/-60_j)_{2s}$ ve $(45_c/-45_j)_{2s}$ oryantasyon açılarına sahip istifleme dizilimlerinde meydana gelmiştir. Bu sebeple, kompozit malzemelerin burkulma yüküne maruz kalabileceği uygulama alanlarında $(30_c/-60_j)_{2s}$ ve $(45_c/-45_j)_{2s}$ oryantasyon açılarına sahip istifleme dizilimlerini kullanmaktan kaçınılması önerilir.
- Tüm konfigürasyonlar için kritik burkulma yükleri karşılaştırıldığında; $(0_c/30_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip kompozit malzemelerin kritik burkulma yüklerinin en yüksek olduğu, $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilime

sahip kompozitlerin kritik burkulma yüklerinin ise en düşük değerlere sahip oldukları görülmektedir. $(0_c/30_j)_{2s}$, $(0_c/45_j)_{2s}$, $(0_c/90_j)_{2s}$, $(0_{2c}/90_{2j})_s$, $(0_c/90_j)_{2as}$, $(0_{2c}/90_{2j})_{as}$ istifleme dizilimine sahip kompozit malzemelerde 0° li fiberler yükü boylamasına taşıdığı için malzemelerin burkulma dayanımları, $(30_c/-60_j)_{2s}$ ve $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimli malzemelere göre daha fazla olmaktadır. $(30_c/-60_j)_{2s}$ ve $(45_c/-45_j)_{2s}$ istifleme dizilimine sahip malzemelerde yükü hem matris hem de fiberler taşımaktadır. Bu nedenle fiber-matris ara yüzeyinde bozunmalar, fiber ve matris kırılma ve kopmaları daha fazla görülmektedir.

Sonuç olarak; kompozit malzeme üretimi yapılırken kullanılacak fiberlerin ve matris yapının çok iyi seçilmesi gerekmektedir. Malzemeyi oluşturan matris ve fiberler, malzemenin kullanılacağı ortam koşuluna uygun olacak şekilde seçilmelidir. Bununla birlikte kompozit yapının maruz kalabileceği zorlanmalara (burkulma, eğilme vs.) karşı dayanıklı, yük taşıma kapasiteleri fazla olan malzemelerin seçilmesi önerilir. Fiber oryantasyon açısının ve istifleme diziliminin burkulma yükü değerlerinde farklılıklar oluşturduğu göz önüne alınarak, malzeme üretimi sırasında uygun istifleme diziliminin de seçilmesi önemlidir. Dolayısıyla tasarımcı tarafından hem kompozit yapının maruz kalabileceği zorlanmalar hem de ortam koşuluna uygun malzeme seçilmesi büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, K.S., Vijayarangan, S., Kumar, A., 2007. Low Velocity Impact Damage Characterization of Woven Jute-Glass Fabric Reinforced Isothalic Polyester Hybrid Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26(10), 959-976.
- Akgün, Y., 2010. Onarılmış Kompozit Plakların Darbe Davranışları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İzmir.
- Aktaş, A., Uzun, İ., 2008. Seawater Effect on Pinned-Joint Glass Fibre Composite Materials. *Composite Structures*, 85, 59-63.
- Altan, G., 2010. Assessment of the Buckling Strengths of Composite Plates Impacted with Different Impact Loads and Points. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 3455-3462.
- Arıcasoy, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası, 4s, İstanbul.
- Arman, Y., 2003. Determination of Critical Delamination Diameter of Laminated Composite Plates Under Buckling Loads. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Aydın, F.Ö., 2014. Çevresel Koşulların Yapıştırılmış Kompozitlerin Mekanik Performanslarına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, İzmir.
- Başer, İ., 1992. Elyaf Bilgisi . Marmara Üniversitesi Yayınları, 179s, İstanbul.
- Beer, F.P., Johnston, E.R., 2003. Cisimlerin Mukavemeti. Çev. Akgün, Ö.R., Yazıcıoğlu, O., Kotil, T. Beta Yayınları, 723s, İstanbul.
- Behrooz, T.F., Omid, M., Shokrieh, M., 2017. Experimental and Numerical Investigation of Buckling Behavior of Composite Cylinders with Cutout. *Thin-Walled Structures*, 116, 136-144.
- Belevi, M., İnançer, G., 2008. Darbe ve Ortam Şartlarının Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 19-31.
- Boccardi, S., Carlomagno, M.G., Meola, C., Russo, P., 2018. The Contribution of Infrared Thermography in the Characterization of Jute Based Composites. *Composite Structures*, 190, 119-126.
- Boubakri, A., Haddar, N., Eleuch, K., Bienvenu, Y., 2010. Impact of Aging Conditions on Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane. *Materials and Design*, 31, 4194-4201.

- Bulut, Y., Erdoğan, U.H., 2011. Selüloz Esaslı Doğal Liflerin Kompozit Üretiminde Takviye Materyali Olarak Kullanımı. *The Journal of Textiles and Engineers*, 82, 26-35.
- Braga, A.R., Magalhaes, A.A.P., 2015. Analysis of the Mechanical and Thermal Properties of Jute and Glass Fiber as Reinforcement Epoxy Hybrid Composites. *Materials Science and Engineering*, 56, 269-273.
- Callister, D. W., Rethwisch, G.D., 2014. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. Çev. Genel, K. Nobel Akademik Yayınları, 974s, Ankara.
- Can, S., 2016. Doğal/Sentetik Karma Kompozitlerin Çekme ve Eğilme Özelliklerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s, İzmir.
- Cappello, F., Tumino, D., 2006. Numerical Analysis of Composite Plates with Multiple Delaminations Subjected to Uniaxial Buckling Load. *Composites Science and Technology*, 66, 264-272.
- Chaudhari, V., Chandekar, H., Saboo, J., Mascarenhas, A., 2018. Studies on Thermo-Mechanical Properties of Chemically Treated Jute-Polyester Composite. *Materials Science and Engineering*, 330, 1-9.
- Chouw, N., Yan, L., Jayaraman, K., 2014. Flax Fibre and Its Composites. *Composites: Part B*, 56, 296-317.
- Çalık, C.İ., 2010. Deniz Suyunun Tabakalı Kompozitlerin Darbe Davranışı Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, İzmir.
- Dayıoğlu, H., Canbaz Karakaş, H., 2007, *Elyaf Bilgisi*. Teknik Fuarcılık, İstanbul.
- Deroine, M., Duigou, A., Corre Y. M., Le Gac, P. Y., Davies P, Cesar, G., 2014. Accelerated Ageing of Polylactide in Aqueous Environments. Comparative Study Between Distilled Water and Seawater. *Polymer Degradation and Stability*, 108, 319-329.
- Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y., Richardson, M.O.W., 2006. Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of Hemp Fibre Reinforced Unsaturated Polyester Composites. *Composites Science and Technology*, 67, 1674-83.
- Dhakal, H.N., Skrifvars, M., Adekunle, K., Zhang, Z.Y., 2013. Falling Weight Impact Response of Jute/Methacrylated Soybean Oil Bio-Composites under Low Velocity Impact Loading. *Composites Science and Technology*, 92, 134-141.
- Dhakal, H.N., Arumugam, V., Aswinraj, A., Santulli, C., Zhang, Z.Y., Lopez, A.A., 2014. Influence of Temperature and Impact Velocity on the Impact Response of Jute/UP Composites. *Polymer Testing*, 35, 10-19.

- Doğan, A., 2014. Farklı Çevresel Koşullara Maruz Kompozitlerin Mekanik Davranışları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, İzmir.
- Doğan, T., 2015. Yapıştırılmış Kompozit Bağlantıların Değişik Yükler Altında Hasar Analizleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İzmir.
- Erkliğ, A., Yeter, E., 2012. The Effects of Cutouts on Buckling Behavior of Composite Plates. Article in Science and Engineering of Composite Materials, 323-330.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P., Sain, M., 2012. Biocomposites Reinforced With Natural Fibers: 2000-2010. Progress in Polymer Science, 37, 1552-1596.
- Gere, J.M., Goodno, B. J., 2014. Mukavemet. Çev. Ekmekyapar, T., Özakça, M. Nobel Yayınları, 630s, Ankara.
- Gu, H., 2009. Behaviours of Glass Fiber-Unsaturated Polyester Composites under Seawater Environment. Materials and Design, 30, 1337-1340.
- Gupta, K.M., 2018. Effect of Variation in Frequencies on Dynamic Mechanical Properties of Jute Fibre Reinforced Epoxy Composites. Journal of Materials and Environmental Sciences, 9(1), 100-106.
- Göz, S., 2016. Elyaf Dizilişinin Karma Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, İzmir.
- Hale, J.M. ve Gibson, G.A., 1997. Strength Reduction Of GRP Composites Exposed To High Temperature Marine Environments. Proceedings of ICCM, 1-18, 411-420.
- Han, B., Li, F., Zhang, Q., Jin, F., Lu, J.T., 2018. Buckling of a Standing Corrugated Sandwich Plate Subjected to Body Force and Terminal Load. Thin-Walled Structures, 127, 688-699.
- Hazizan, M.A., Santulli, C., Sarasini, F., Tirillò, J., Valente, T., 2014. Environmental Effects on the Mechanical Behaviour of Pultruded Jute/Glass Fibre-Reinforced Polyester Hybrid Composites. Composites Science and Technology, 94, 62-70.
- Hossain, R., Islam, A., Vuurea, A.V. ve Verpoest I., 2013. Tensile Behavior of Environment Friendly Jute Epoxy Laminated Composite. Procedia Engineering, 56, 782-788.
- İnan, M., 2015. Cisimlerin Mukavemeti, İTÜ Vakfı Yayınları, 602s, İstanbul.

- Jawaid, M., Saba, N., Alothman, Y.O., Khalil, H.P.S.A., Mariatti, M., 2017. Thermal Conductivity Behavior of Oil Palm/Jute Fibre Reinforced Hybrid Composites. *Advanced Materials for Sustainability and Growth AIP Conference Proceedings* 1901, 030007,3-5.
- Jiao, P., Borchani, W., Soleimani, S., Mc Graw, B., 2017. Lateral-Torsional Buckling Analysis of Wood Composite I-Beams With Sinusoidal Corrugated Web. *Thin-Walled Structures*, 119, 72–82.
- Kanlıoğlu, H., 2009. Çevre Koşullarının Pim Bağlantılı Kompozit Plakların Hasar Davranışına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 45-60s, İzmir.
- Karabulut, N., Aktaş. M., 2014. Jüt Lifi Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Yüzey Modifikasyon İşlemiyle İyileştirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 55(649), 43-49.
- Karakuzu, R., Çalık, İ.C., Deniz, M.E., 2017. Tabakalı Kompozit Plakaların Darbe Davranışı Üzerine Deniz Suyu Etkisinin Araştırılması. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7 (2/2), 1-12.
- Karaduman, Y., 2014. Doğal Lif Takviyeli Sandviç Polimerik Kompozitler. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s, Kayseri.
- Karnani, R., Krishnan, M., Narayan, R., 1992. Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Polymer Engineering And Science*, 37(2), 476-483.
- Kayıran, H.F., 2018. Farklı Ortam Koşullarına Maruz Hibrit Kompozit Plakalarda Burkulma Davranışının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139s, Isparta.
- Kaw, K.A., 2014. Kompozit Malzeme Mekaniği. Çev. Baba, O.B., Karakuzu, R., Efil Yayınevi, 471s, Ankara.
- Kim, N., Shina, D.K., Kim, M., 2007. Exact Lateral Buckling Analysis for Thin-Walled Composite Beam under End Moment. *Engineering Structures*, 29, 1739–1751.
- Lee, H.H., Hyer, M.W., 1993. Postbuckling Failure of Composite Plates with Holes. *The American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 31, 1293-1298.
- Liao, K., Schultheisz, C.R., Hunston, D.L., 1999. Effects of Environmental Aging on The Properties of Pultruded GFRP. *Composites: Part B*, 30, 485-493.
- Materiale Composito*, 2016. 20 Nisan 2018, http://www.it.wikipedia.org/wiki/Materiale_composito.

- Mishra, S., Mohanty, A.K., Drzal, L.T., Misra, M., Parija, S., Nayak, S.K., 2003. Studies on Mechanical Performance of Biofiber/Glass Reinforced Polyester Hybrid Composites. *Journal of Composite Science Technology*, 63, 1377–1385.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Hinrichsen, G., 2000. Biofibers, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview Macromolecular. *Materials and Engineering*, 1(24), 276-277.
- Mouzakis, D.E., Zoga, H., Galiotis, C., 2008. Accelerated Environmental Ageing Study Of Polyester/Glass Fiber Reinforced Composites. *Composites: Part B*, 39, 467-475.
- Mula, S., Bera, T., Ray, P. K. ve Ray, B. C., 2006. Effects of Hydrothermal Aging on Mechanical Behavior of Sub-Zero Weathered GFRP Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25, 673-680.
- Onat, A., 2015. Kompozit Malzemeler Ders Notu. Sakarya Meslek Yüksek Okulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, 104s, Sakarya.
- Öndürücü, A., 2012. The Effects of Seawater Immersion on the Bearing Strength of Woven Glass-Epoxy Prepreg Pin-Loaded Joints. *International Journal of Damage Mechanics*, 21, 153-170.
- Örçen, G., Gür, M., 2011. Cam Fiber Takviyeli Dokuma Epoksi Kompozit Prepreglerin Mekanik Özellikleri Üzerinde Çevre Şartlarının Etkisi. 18.Ulusal Mekanik Kongresi, Fırat Üniversitesi, 1-10, Elazığ.
- Özes, Ç., Taşkın, E.A., 2016. Jüt Kumaş ve Yün Keçe Esaslı Kompozitlerin Darbe Davranışının Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 18(3), 513-520.
- Padmaraj, H.N., Chethan, N.K., Pavan., Onkar A., 2017. Fatigue Behaviour and Life Assessment of Jute-epoxy Composites under Tension-Tension Loading. *Materials Science and Engineering*, 225, 012017, 1-6.
- Pandita, S.D., Yuan, X., Manan, M.A., Lau, C.H., Subramanian, A.S., Wei, J., 2014. Evaluation of Jute/Glass Hybrid Composite Sandwich: Water Resistance, Impact Properties and Life Cycle Assessment. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33 (1), 14-25.
- Parlapalli, M.R., Soh, K.C., Shu, D.W., Ma, G., 2007. Experimental Investigation of Delamination Buckling of Stitched Composite Laminates. *Composites: Part A*, 38, 2024-2033.
- Pekbey, Y., 2008. Su İçerisinde Ağırlığı Dikkate Alınan Bir Kolonun Burkulma Analizi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2 (14), 195-203.

- Rafiee, M., Nitzsche, F., Labrosse, R.M., 2018. Modeling and Mechanical Analysis of Multiscale Fiber-Reinforced Graphene Composites: Nonlinear Bending, Thermal Post-Buckling and Large Amplitude Vibration. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 103, 104–112.
- Ramesh, C., Arumugam, V., Stanley, J., Kumar, V., 2013. Effects of Hydrolytic Aging on Glass-Epoxy, Kevlar-Epoxy, and Hybrid (Glass-Kevlar-Epoxy) Composites. *International Journal of Engineering Research&Technology*, 2 (5), 1589-1596.
- Ramnath, B.V., Elanchezhian, C., Nirmal, P.V., Prem, K.G., Santhosh K.V., Karthik, S., 2014. Experimental Investigation of Mechanical Behavior of Jute-Flax Based Glass Fiber Reinforced Composite. *Fibers and Polymers*, 15 (6), 1251-1262.
- Rashdi, A.A.A., Sapuan, S.M., Ahmad, M.M.H.M., Khalina, A., 2010. Combined Effects of Water Absorption due to Water Immersion, Soil Buried and Natural Weather on Mechanical Properties of Kenaf Fibre Unsaturated Polyester Composites (KFUPC). *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 5 (1), 11–17.
- Saçak, M., 1994. *Lif ve Elyaf Kimyası*. Gazi Kitabevi, 271s, Ankara.
- Sağbaşı, A., Kahraman, F., Koyuncu, M., 2009. Keten Lifleri İle Takviye Edilmiş Polyester Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1-2), 185- 192.
- Sağır, H.O., 2016. Jüt ve Keten Takviyeli Karma Kompozitlerin Mekanik Özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi*, 110s, İzmir.
- Sayman, O., Esendemir, Ü., 2016. Rainwater Effect on Bearing Strength of Glass–Epoxy Laminated Composite Pinned Joints. *Journal of Composite Materials*, 50(30), 4269-4278.
- Sever, K., Sarıkanat, M., Seki, Y., Tavman, İ.H., 2011. Isıl Çevrimin Jüt Fiber/Yüksek Yoğunluklu Polietilen Kompozitlerin Tabakalar Arası Kayma Dayanımına Etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ*.
- Sharma, N., Kumar, M.S., Ray, B.C., 2008. Study of the Effect of Hydrothermal Ageing on Glass/Epoxy Micro-Composites by Ftir-İmaging and Alternating DSC Techniques. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27, 1625-1634.
- Soutis, C., Turkmen, D., 1997. Moisture and Temperature Effects of the Compressive Failure of CFRP Unidirectional Laminates. *Journal of Composite Materials*, 31, 833-848.

- Soykök, İ. F., Sayman, O., Pasinli, A., 2013. Effects of Water Aging on Failure Behavior of Mechanically Fastened Glass Fiber/Epoxy Composites Joints. *Composites: Part B*, 54, 59-70.
- Şahin, Y., 2015. *Kompozit Malzemelere Giriş*. Seçkin Yayınları, 436s, İstanbul.
- Taşkın, E.A., 2015. Jüt ve Doğal Keçe Destekli Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, İzmir.
- Tekstil, 2013. Jüt lifleri ve özellikleri. 20 Nisan 2018, <http://tekstilsayfasi.blogspot.com.tr/2013/01/jute-lifi-jut-nedir-ozellikleri.html>.
- Torabizadeh, M.A., 2013. Tensile Compressive and Shear Properties of Undirectional Glass-Epoxy Composites Subjected to Mechanical Loading and Low Temperature Services. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 20, 299-309.
- Tserki, V., Zafeiropoulos, N.E., Simon, F., Panayiotou, C., 2005. Study of the Effect of Acetylation and Propionylation Surface Treatments on Natural Fibres. *Composites: Part A*, 36, 1110-1118.
- Tütüncü, E., 2016. Çevresel Şartların Doğal Kompozit Malzeme Mukavemetine Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 55s, İzmir.
- Vieille, J., Aucher, J., Taleb, L., 2012. Comparative Study on the Behavior of Woven-Ply Reinforced Thermoplastic or Thermosetting Laminates Under Severe Environmental Conditions. *Materials and Design*, 35, 707-719.
- Yan, L., Chouw, N., Yuan, X., 2012. Improving the Mechanical Properties of Natural Fibre Fabric Reinforced Epoxy Composites by Alkali Treatment. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31 (6), 425-437.
- Yan, L., Chouw, N., Jayaraman, K., 2014. Flax Fibre and Its Composites. *Composites: Part B*, 56, 296-317.
- Yapıcı, A., Metin, M., 2009. Effect of Low Velocity Impact Damage on Buckling Properties. *Engineering*, 1, 161-166.
- Yeter, E., 2013. Buckling Effect Investigation of Hybrid Laminated Composite Plate. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 161s, Gaziantep.
- Yeter, E., Erkliğ, A., Bulut, M., 2014. Hybridization Effects on the Buckling Behavior of Laminated Composite Plates. *Composite Structures*, 118, 19-27.

Yeşildal, S., 2010. Darbe Yüklerine Maruz Denizel Kompozitlerde Hasar Mekanizmaları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, İzmir.

Zhang, Y., Li, Y., Ma, H., Yu, T. 2013. Tensile and Interfacial Properties of Unidirectional Flax/Glass Fiber Reinforced Hybrid Composites. Composites Science and Technology, 88, 172-177.

Zhu, J., Zhu, H., Njuguna, J., Abhyankar, H. 2013. Recent Development of Flax Fibres and Their Reinforced Composites Based on Different Polymeric Matrices. Materials, 6, 5171-5198.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa MUZOĞLU
Doğum Yeri ve Yılı : Seyhan/Adana, 1993
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mustafamuzoglu01@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Adana Erkek Anadolu Lisesi, 2007- 2011.
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2012-2016.

Mesleki Deneyim

Göлтаş Göller Bölgesi Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Makine Mühendisi, 2016-2017.