

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ORYANTASYONLARDAKİ KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DENİZ SUYU ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

DOKTORA TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Eyup BAĞCI

Ekim, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ORYANTASYONLARDAKİ KOMPOZİT MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE DENİZ SUYU ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 28.10.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Eyup BAĞCI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Eyup BAĞCI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa KURT, Üye
Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Fuat ALARÇİN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bilçen MUTLU, Üye
Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ÇAKIR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Eyup BAĞCI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Oryantasyonlardaki Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Deniz Suyu Etkisinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

İmza

*Aileme,
biricik eşime ve oğluma*

TEŞEKKÜR

Doktora tezi süresince bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve her daim yanımda olan tez danışmanım YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Eyup BAĞCI'ya yürekten teşekkür ederim.

Beni kompozit malzemelerle tanıştıran Prof. Dr. Yeliz PEKBEY'e ve Yeliz Hocam'la tanışmama vesile olan yüksek lisans tez danışmanım Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR'a çok teşekkür ederim.

Değerli görüşlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Fuat ALARÇIN'e, Muhammet Ali Eker'e ve İBB Çevre Koruma Müdürlüğü Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım ve tezimin geri kalan her kısmında; kendi teziymiş gibi benimle çalışan, yol gösteren ve değerli yardımlarını esirgemeyen değerli hocam, oda arkadaşım, abim, kardeşim Dr. Serdar Turgut İNCE'ye canı gönülden teşekkür ederim.

Sadece tezimde değil, hayatımın her döneminde yanımda olan sevgili eşim Elif Burcu YÜNCÜOĞLU'na ve hayatımıza doktoramın son dönemlerinde giren canım oğlum Urazıma, biricik ablama ve ailesine, son olarakta tabi ki beni büyüten, yetiştiren, kahrımı çeken ve daima yanımda olan anne ve babama bana verdikleri manevi desteklerden dolayı tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xvi
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	31
1.3 Hipotez	32
2 KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI	33
2.1 Kompozit Malzemeler	33
2.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları	33
2.1.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	34
2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	35
2.2.1 Polimer Matrisli Kompozitler	35
2.2.2 Metal Matrisli Kompozitler	44
2.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler	44
2.2.4 Karbon Matrisli Kompozitler	44
2.3 Kompozit Malzemelerin Gemi Endüstrisinde Kullanımı	45
2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Terminolojisi	48
2.4.1 Malzemenin Nihai Mukavemet Değerlerinin Bulunması	48
2.4.2 Termal ve Nem Katsayıların Bulunması	49
2.4.3 Kompozit Tabakanın(Katman) Yapısal Davranışları	50
2.4.4 Tabakalı Kompozit Malzemenin Yapısal Davranışları	53
3 MALZEME VE YÖNTEM	54
3.1 Deney Tasarımı	54
3.1.1 Deney Tasarımı Aşamaları	55

3.1.2	Tam Faktöriyel Deney Tasarımı	57
3.1.3	Faktör Etkilerinin Hesaplanması.....	57
3.2	Kompozit Üretim Aşamaları ve Malzemeler.....	59
3.2.1	Altyapı ve Malzemeler.....	61
3.2.2	Kompozit Malzemelerin Üretimi	62
3.3	Kesim İşlemi.....	66
3.4	Deniz Suyunda Bekletme	67
3.4.1	Sistem Düzeneği.....	67
3.4.2	Deniz Suyu Absorbsiyonu	71
3.4.3	Deniz Suyu Kimyası	91
3.5	Test Hazırlıkları.....	93
3.5.1	Numune Hazırlanması	93
3.5.2	Deney Düzeneginin Açıklanması	94
3.6	Çekme Testleri için Deney Tasarımı.....	97
4	DENEY SONUÇLARI VE BULGULAR	98
4.1	Tek Eksenli Çekme Testi Sonuçları	98
4.1.1	Cam Numunelerin 2mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri	98
4.1.2	Cam Numunelerin 10mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri.....	117
4.1.3	Karbon Numunelerin 2mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri	136
5	SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ	156
5.1	Kuru Ortam Numuneleri için Sonuçların Analizi.....	156
5.2	Deniz Suyu Ortam Etkisinin Analizi.....	158
5.2.1	(0/90) _w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları.....	161
5.2.2	(45/-45) _w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları	163
5.2.3	(30/-60) _w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları	165
5.2.4	(15/-75) _w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları	167
5.2.5	Cam Fiber Takviyeli Epoksi Numuneleri İçin Genel Sonuç Değerlendirmesi.....	169

5.2.6	(0/90) _w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları.....	171
5.2.7	(45/-45) _w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları.....	172
5.2.8	(30/-60) _w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları.....	173
5.2.9	(15/-75) _w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları.....	174
5.2.10	Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Numuneler İçin Sonuçların Değerlendirilmesi.....	175
5.3	İstatistiksel Analiz	176
5.3.1	Cam Takviyeli Numuneler İçin Varyans ve Regresyon Analizi.....	176
5.3.2	Karbon Takviyeli Numuneler için Varyans ve Regresyon Analizi	178
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	181
	KAYNAKÇA	183
	A KULLANILAN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	189
	B NUMUNE BOYUTLARI	191
	C KALİBRASYON BELGESİ	197
	TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	198

SİMGE LİSTESİ

γ	Birim Kayma Şekil Değişirmesi
ε	Birim Şekil Değişirme
[T]	Dönüşüm Matrisi
E	Elastisite Modülü
v	Hacim
V	Hacim Oranı
[Q]	İndirgenmiş Katılık Matrisi
[C]	Katılık Matrisi
τ	Kayma Gerilmesi
G	Kayma Modülü
δ	Kayma Şekil Değişirmesi
ΔC	Nem Değişimi
β	Nem Genleşme Katsayısı
σ	Normal Gerilme
θ	Oryantasyon Açısı
ν	Poisson Oranı
[R]	Reuter Matrisi
ΔT	Sıcaklık Değişimi
α	Termal Genleşme Katsayısı
Σ	Toplam İşlemi
[S]	Uygunluk Matrisi
ρ	Yoğunluk

Alt İndisler

c	Composite (Kompozit)
f	Fiber
m	Matris
ult	Ultimate (Nihai, Maksimum)

w Woven (Örgülü)

x x eksen

xy xy düzlemi

y y eksen

Üst İndisler

T Transverse(Enine)

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
CFRE	Carbon Fiber Reinforced Epoxy (Karbon Fiber Takviyeli Epoksi)
CME	Moisture Expansion Coefficient (Nem Genleşme Katsayısı)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CTE	Thermal Expansion Coefficient (Termal Genleşme Katsayısı)
DVN	Det Norsk Vents (Norveç Loydu)
DWT	Dead Weight Tonnage (Geminin Ağırlığı)
GFRE	Glass Fiber Reinforced Epoxy (Cam Fiber Takviyeli Epoksi)
IR	Infrared (Kızılötesi)
ISO	International Organization for Standardization
ppt	Parts Per Thousand (Binde Bir)
SS	Sum of Squares (Kareler Toplamı)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜRKAK	Türk Akreditasyon Kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Cam elyaf ve mevcut cam formlarının imalatının şeması[40]	37
Şekil 2. 2 Bazı matris malzemelerinin karşılaştırılması[40]	38
Şekil 2. 3 (a) Filament sarma işlemi; (b) filamentli basınçlı kap[40]	40
Şekil 2. 4 Polimer matris kompozitlerin işlenmesinde kullanılan otoklav[40]	41
Şekil 2. 5 Tamamen alüminyumdan yapılmış bir tekne[55]	46
Şekil 2. 6 La Fayette Fırkateyni[62]	47
Şekil 2. 7 Visby Sınıfı Korvet[64]	47
Şekil 2. 8 Abu Dubai'deki MAR Tersanesinde Yapılan Gigayat[65]	48
Şekil 2. 9 Bir tabakanın şekli[40]	53
Şekil 3. 1 2 ² Faktörlü Tasarım Kombinasyonları[67]	58
Şekil 3. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi numuneler için süreç şeması.....	60
Şekil 3. 3 Cam fiber takviyeli epoksi numuneler için süreç şeması.....	60
Şekil 3. 4 Üretimlerin yapıldığı kompozit laboratuvarı	61
Şekil 3. 5 Sıcaklık kontrollü vakum infüzyon makinesi.....	61
Şekil 3. 6 Sarf malzemeler	62
Şekil 3. 7 Epoksi, sertleştirici ve hassas terazi	62
Şekil 3. 8 Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimi.....	65
Şekil 3. 9 Üretilen cam ve karbon plakalar	66
Şekil 3. 10 Bilgisayar kontrollü giyotin yardımıyla numunelerin kesilmesi	66
Şekil 3. 11 Plakalardan kesilen cam fiber takviyeli epoksi numuneler	67
Şekil 3. 12 Plakalardan kesilen karbon fiber takviyeli epoksi numuneler	67
Şekil 3. 13 CNC'de ısı yalıtım levhasının hazırlanması.....	68
Şekil 3. 14 Numunelerin dizileceği platform.....	68
Şekil 3. 15 Numunelerin dizili ve akvaryuma konulmaya hazır hali	68
Şekil 3. 16 Akvaryum için kesilen parçalar.....	69
Şekil 3. 17 Akvaryumun son hali	69
Şekil 3. 18 Altı peteğin akvaryuma yerleştirilmesi.....	69
Şekil 3. 19 Akvaryumun etrafına çerçevenin monte edilmesi.....	70
Şekil 3. 20 Beşiktaş iskelesinden deniz suyu alımı.....	70
Şekil 3. 21 Deniz suyunun değiştirilmesi	71
Şekil 3. 22 (0/90) _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	72

Şekil 3. 23 (45/-45) _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	73
Şekil 3. 24 (30/-60) _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	74
Şekil 3. 25 (15/-75) _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	75
Şekil 3. 26 4 katlı cam fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi.....	76
Şekil 3. 27 (0/90) _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	77
Şekil 3. 28 (45/-45) _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	78
Şekil 3. 29 (30/-60) _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	79
Şekil 3. 30 (15/-75) _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	80
Şekil 3. 31 8 katlı cam fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi.....	81
Şekil 3. 32 (0/90) _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	82
Şekil 3. 33 (45/-45) _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	83
Şekil 3. 34 (30/-60) _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	84
Şekil 3. 35 (15/-75) _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	85
Şekil 3. 36 4 katlı karbon fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi	86
Şekil 3. 37 (0/90) _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	87
Şekil 3. 38 (45/-45) _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	88
Şekil 3. 39 (30/-60) _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	89
Şekil 3. 40 (15/-75) _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi...	90
Şekil 3. 41 8 katlı karbon fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi	91
Şekil 3. 42 Deniz suyu bileşimi[57]	92
Şekil 3. 43 Tab malzemelerin hazırlanması.....	93
Şekil 3. 44 Tab malzemelerin yapıştırıldığı numunelerin görünümü	93
Şekil 3. 45 Statik numuneler için örnek.....	94
Şekil 3. 46 Çekme Cihazı, IR Termometre, Mikrofon ve Yüksek Hızlı Kamera	95
Şekil 3. 47 Test Düzeneği.....	96
Şekil 4. 1 G-4-1-D-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri.....	99
Şekil 4. 2 G-4-1-D-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri.....	99
Şekil 4. 3 G-4-1-1M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	100
Şekil 4. 4 G-4-1-1M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	100
Şekil 4. 5 G-4-1-3M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	101

Şekil 4. 6 G-4-1-3M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	101
Şekil 4. 7 G-4-1-6M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	102
Şekil 4. 8 G-4-1-6M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	102
Şekil 4. 9 (G-4-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	103
Şekil 4. 10 (G-4-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	105
Şekil 4. 11 (G-4-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	107
Şekil 4. 12 (G-4-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	109
Şekil 4. 13 (G-8-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	111
Şekil 4. 14 (G-8-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	113
Şekil 4. 15 (G-8-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	115
Şekil 4. 16 (G-8-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	117
Şekil 4. 17 G-4-1-D-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	118
Şekil 4. 18 G-4-1-D-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	118
Şekil 4. 19 G-4-1-1M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	119
Şekil 4. 20 G-4-1-1M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	119
Şekil 4. 21 G-4-1-3M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	120
Şekil 4. 22 G-4-1-3M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	120
Şekil 4. 23 G-4-1-6M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	121
Şekil 4. 24 G-4-1-6M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	121
Şekil 4. 25 (G-4-1-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	122
Şekil 4. 26 (G-4-2-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	124
Şekil 4. 27 (G-4-3-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	126
Şekil 4. 28 (G-4-4-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	128
Şekil 4. 29 (G-8-1-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	130

Şekil 4. 30 (G-8-2-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	132
Şekil 4. 31 (G-8-3-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	134
Şekil 4. 32 (G-8-4-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	136
Şekil 4. 33 C-4-1-D-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri	137
Şekil 4. 34 C-4-1-D-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	137
Şekil 4. 35 C-4-1-1M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri.....	138
Şekil 4. 36 C-4-1-1M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	138
Şekil 4. 37 C-4-1-3M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri.....	139
Şekil 4. 38 C-4-1-3M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	139
Şekil 4. 39 C-4-1-6M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri.....	140
Şekil 4. 40 C-4-1-6M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri	140
Şekil 4. 41 (C-4-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	141
Şekil 4. 42 (C-4-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	143
Şekil 4. 43 (C-4-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	145
Şekil 4. 44 (C-4-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	147
Şekil 4. 45 (C-8-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	149
Şekil 4. 46 (C-8-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	151
Şekil 4. 47 (C-8-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	153
Şekil 4. 48 (C-8-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri	155
Şekil 5. 1 Cam fiber takviyeli epoksi kuru ortam numunelerinin test sonuçları ve değişim eğrisi	156
Şekil 5. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi kuru ortam numunelerinin test sonuçları ve değişim eğrisi.....	157
Şekil 5. 3 0/90 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi	161

Şekil 5. 4	45/-45 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	163
Şekil 5. 5	30/-60 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	165
Şekil 5. 6	15/-75 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	167
Şekil 5. 7	Altı ay deniz suyunda şartlandırılmış cam fiber takviyeli epoksi kompozitler için test sonuçları.....	169
Şekil 5. 8	0/90 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	171
Şekil 5. 9	45/-45 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	172
Şekil 5. 10	30/-60 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	173
Şekil 5. 11	15/-75 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi.....	174
Şekil 5. 12	Altı ay deniz suyunda şartlandırılmış karbon fiber takviyeli epoksi kompozitler için test sonuçları.....	175
Şekil 5. 13	Cam takviyeli kompozit malzemenin gerilme için etkileşim grafiği	177
Şekil 5. 14	Cam takviyeli kompozit malzemenin gerilme için ana etki grafiği	178
Şekil 5. 15	Karbon takviyeli kompozit malzemenin gerilme için etkileşim grafiği.....	180
Şekil 5. 16	Karbon takviyeli kompozit malzemenin gerilme için ana etki grafiği	180

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1	Literatür araştırması	25
Tablo 2. 1	Kullanılan fiberlerin mekanik özellikleri[40]	36
Tablo 2. 2	Tabaka kodlaması gösterimi	53
Tablo 3. 1	2 faktörlü deney için ANOVA tablosu[67]	59
Tablo 3. 2	[0/90] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	72
Tablo 3. 3	[45/-45] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	73
Tablo 3. 4	[30/-60] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	74
Tablo 3. 5	[15/-75] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	75
Tablo 3. 6	[0/90] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	77
Tablo 3. 7	[45/-45] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	78
Tablo 3. 8	[30/-60] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	79
Tablo 3. 9	[15/-75] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi	80
Tablo 3. 10	[0/90] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	82
Tablo 3. 11	[45/-45] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	83
Tablo 3. 12	[30/-60] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	84
Tablo 3. 13	[15/-75] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	85
Tablo 3. 14	[0/90] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi.....	87
Tablo 3. 15	[45/-45] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	88
Tablo 3. 16	[30/-60] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	89
Tablo 3. 17	[15/-75] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi .	90
Tablo 3. 18	Statik numune kodlaması	94
Tablo 3. 19	Cam takviyeli numunelerin deney faktörleri ve seviyeleri.....	97
Tablo 3. 20	Karbon takviyeli numunelerin deney faktörleri ve seviyeleri.....	97
Tablo 4. 1	[0/90] _{4w} oryantasyona sahip cam numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri	103
Tablo 4. 2	(45/-45) _{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	104
Tablo 4. 3	(30/-60) _{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	106
Tablo 4. 4	(15/-75) _{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	108

Tablo 4. 5	$(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	110
Tablo 4. 6	$(45/-45)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	112
Tablo 4. 7	$(30/-60)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	114
Tablo 4. 8	$(15/-75)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	116
Tablo 4. 9	$[0/90]_{4w}$ oryantasyona sahip cam numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri	122
Tablo 4. 10	$(45/-45)_{4w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	123
Tablo 4. 11	$(30/-60)_{4w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	125
Tablo 4. 12	$(15/-75)_{4w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	127
Tablo 4. 13	$(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	129
Tablo 4. 14	$(45/-45)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	131
Tablo 4. 15	$(30/-60)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	133
Tablo 4. 16	$(15/-75)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri.....	135
Tablo 4. 17	$[0/90]_{4w}$ oryantasyona sahip karbon numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri.....	141
Tablo 4. 18	$(45/-45)_{4w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	142
Tablo 4. 19	$(30/-60)_{4w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	144
Tablo 4. 20	$(15/-75)_{4w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	146
Tablo 4. 21	$(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	148
Tablo 4. 22	$(45/-45)_{8w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	150
Tablo 4. 23	$(30/-60)_{8w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	152

Tablo 4. 24 (15/-75) _{8w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri.....	154
Tablo 5. 1 Cam fiber takviyeli epoksi için elde edilen denklemin katsayıları	157
Tablo 5. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi için elde edilen denklemin katsayıları..	158
Tablo 5. 3 2 mm/dk hızda çekilen cam takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri.....	159
Tablo 5. 4 10 mm/dk hızda çekilen cam takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri.....	160
Tablo 5. 5 2 mm/dk hızda çekilen karbon takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri.....	161
Tablo 5. 6 Cam takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre ANOVA sonuçları.....	176
Tablo 5. 7 Cam takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre regresyon analizi.....	177
Tablo 5. 8 Karbon takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre ANOVA sonuçları.....	179
Tablo 5. 9 Karbon takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre regresyon analizi.....	179

Farklı Oryantasyonlardaki Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Deniz Suyu Etkisinin İncelenmesi

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Eyup BAĞCI

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı ilerlediği son yıllarda, gereksinim duyulan malzemeler ve özellikleri sürekli değişmekte, yeni malzeme türleri imal edilmekte ve bunların kullanım alanları artmaktadır. Bunlardan en önemlisi, metal malzemelere nazaran, yüksek mukavemet, hafiflik, korozyona karşı dayanıklılık ve iyi şekillenebilme gibi özelliklerden dolayı kompozit malzemelerdir. Son yıllarda kompozit malzemelerin, uçak, otomobil sanayi ve gemilerde yaygın olarak kullanılmasından dolayı, kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir. Birçok uygulamada kompozit malzeme temel ya da yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler deniz endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak deniz suyu ortamının kompozit malzemelerin mukavemeti üzerinde etkisi azımsanmayacak kadar kritiktir. Kompozit malzemelerin mukavemet özellikleri bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelere katman sayısı, fiber cinsi, oryantasyon açısı, ortam etkisi (deniz suyu vb.) gibi örnekler verilebilir. Literatürde deniz suyu ortam etkisinin kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran çok az sayıda çalışma bulunmakta ve bu çalışmalarda birkaç parametrenin etkileri değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada deniz suyu ortam etkisinin ve kompozit üretim parametrelerinin malzeme mukavemet özellikleri üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı ve geniş bir kapsamda incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla vakum infüzyon yöntemi ile epoksi örgülü cam ve karbon takviyeli kompozit malzemeler farklı oryantasyon ve katman sayılarında üretilmiş ve ortam etkisini incelemek için ASTM D3039 standardına göre çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 4 ve 8 katmanlı olmak üzere, $[0/90]_w$, $[45/-45]_w$, $[30/-60]_w$ ve $[15/-75]_w$ oryantasyonlarında üretilmiş ve kuru ortam, 1 ay, 3 ay ve 6 ay deniz suyunda şartlandırılarak 4 farklı ortama maruz bırakılmıştır. Ayrıca hazırlanan numunelerin çekme testleri farklı çekme hızlarında (2 mm/dk ve 10 mm/dk) yapılmıştır. Tam faktöriyel deney tasarımı yaklaşımıyla toplam 288 adet çekme testi gerçekleştirilmiş ve hasar tespiti için yüksek hızlı kamera ile görüntüler kaydedilmiştir. Böylece kuru ve deniz suyu ortamında bekletilmiş numunelerin farklı oryantasyonda ve katman sayılarındaki mukavemet davranışları değerlendirilmiştir.

Sonuçlar her bir oryantasyon için tek tek değerlendirilmiş ve istatistiksel yaklaşım ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; cam takviyeli kompozit malzemelerin genel olarak karbon takviyeli kompozit malzemelere göre deniz suyuna karşı daha mukavim olduğu, katman sayısının arttırılmasının genel olarak çekme mukavemetini arttırdığı, çekme hızı ile çekme mukavemetinin doğru orantılı olduğu, en yüksek çekme gerilmesinin $[0/90]_w$ oryantasyonunda, en düşük çekme gerilmesinin ise $[45/-45]_w$ oryantasyonunda meydana geldiği bulunmuştur. Deniz suyunun uzun vadede kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki ettiği ve dayanım sınırlarında önemli oranda düşüşe sebep olduğu açıkça görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fiber takviyeli kompozit malzemeler, kompozit malzemelerin mukavemeti, su emilimi, mekanik özellikler, deniz suyu etkisi

Investigation of Sea Water Effect on Mechanical Properties of Composite Materials in Different Orientations

Ercüment Uğur YÜNCÜOĞLU

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Eyup BAĞCI

In recent years, when the technological developments have been progressing very rapidly, the materials and properties that are needed are constantly changing, new material types are produced and their usage areas are increasing. The most important of these are composite materials due to their high strength, lightness, resistance to corrosion and good formability compared to metal materials. In recent years, due to the widespread use of composite materials in aircraft, automobile industry and ships, studies on composite materials have been accelerated. In many applications, the composite material is used as a basic or auxiliary material. Composite materials are widely used in marine industry. However, the effect of the marine environment on the strength of composite materials is not so much. The strength properties of composite materials depend on many parameters. As an example of these parameters; number of layers, fiber type, orientation angle, medium effect, strain rate can be given. There are very few studies in the literature investigating the effects of seawater environment effect on the mechanical properties of composite materials, and the effects of several parameters have been evaluated in these studies.

In this study, it is aimed to investigate the effects of seawater environment effect and composite production parameters on material strength properties in a more detailed and broader scope. For this purpose, glass and carbon reinforced epoxy composite materials were produced with vacuum infusion method in different orientation and layer numbers, and tensile tests were performed according to ASTM D3039 standard to examine the effect of the environment. The samples were produced in 4 and 8 layers in orientations of $[0/90]_w$, $[45/-45]_w$, $[30/-60]_w$, and $[15/-75]_w$, they were exposed to 4 different environments by conditioning in sea water for dry environment, 1 month, 3 months and 6 months. In addition, tensile tests of the prepared samples were performed at different tensile speeds (2 mm/min and 10 mm/min). Total of 288 tensile tests were performed with a full factorial experimental design approach and images were recorded with a high-speed camera for damage detection. Thus, the strength behavior of samples kept in dry and sea water environment in different orientations and layers was evaluated.

The results were evaluated individually for each orientation and analyzed using a statistical approach. According to the results obtained; glass-reinforced composite materials are generally more resistant to sea water than carbon-reinforced composite materials, the increase in the number of layers generally increases the tensile strength, the tensile speed and tensile strength are directly proportional, the highest tensile stress $[0/90]_w$ orientation, the lowest tensile stress was found to occur in the $[45/-45]_w$ orientation. It has been clearly seen that sea water negatively affects the mechanical properties of composite materials in the long term and causes a significant decrease in strength limits.

Keywords: Fiber reinforced composite materials, composite material strength, water absorption, mechanical properties, seawater effect

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı ilerlediği son yıllarda, gereksinim duyulan malzemeler ve özellikleri sürekli değişmekte, yeni malzeme türleri imal edilmekte ve bunların kullanım alanları artmaktadır. Bunlardan en önemlisi, metal malzemelere nazaran, yüksek mukavemet, hafiflik, korozyona karşı dayanıklılık ve iyi şekillenebilme gibi özelliklerden dolayı kompozit malzemelerdir. Son yıllarda kompozit malzemelerin, uçak, otomobil sanayi ve gemilerde yaygın olarak kullanılmasından dolayı, kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir. Birçok uygulamada kompozit malzeme temel ya da yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler deniz endüstrisinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak deniz suyu ortamının kompozit malzemelerin mukavemeti üzerinde etkisi azımsanmayacak kadar kritiktir. Kompozit malzemelerin mukavemet özellikleri bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelere katman sayısı, fiber cinsi, oryantasyon açısı, ortam etkisi (deniz suyu vb.) gibi örnekler verilebilir. Literatürde deniz suyu ortam etkisinin kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran çok az sayıda çalışma bulunmakta ve bu çalışmalarda birkaç parametrenin etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada deniz suyu ortam etkisinin ve kompozit üretim parametrelerinin malzeme mukavemet özellikleri üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı ve geniş bir kapsamda incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 1’de deniz suyu etkisinin kompozit malzemeler üzerindeki etkileri hakkında literatür özeti oluşturulmuş ve doktora tez çalışmasının amacı hakkında genel bilgilendirmeler yapılmıştır. Bölüm 2’de fiber takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te çalışma kapsamında tasarlanan kompozit malzemelerin üretimi, çekme testlerinin hazırlık aşamaları, oluşturulan deney düzeneği ve deney tasarımı hakkında yapılan tüm çalışmalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bölüm 4’te üretimi yapılan ve deniz suyu ortamında belirli sürelerde

şartlandırılan kompozit malzemelerden elde edilen numunelerin; fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için ilgili standartlara göre çekme testleri yapılmış ve elde edilen bulgular verilmiştir. Bölüm 5'te yapılan deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirilmiş ve istatistiksel yaklaşımla analiz edilmiştir. Bölüm 6'da ise, çalışmalar sonucunda bulunan çıkarımlar, nihai sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1.1 Literatür Özeti

Kompozit malzemelerin son yıllarda kullanım alanları oldukça genişlemiştir. Bu yüzden alışlageldik malzemelere alternatif olmaya başlamıştır. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri bir çok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler; kullanılan malzeme, matris malzemesi, üretim yöntemi, oryantasyon, katman sayısı, maruz kalınan ortam ve süresi, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde farklılıklara sebep olmaktadır. Bu parametrelerle ilgili bir çok çalışma yapılmıştır.

W. C. Tucker[1] yaptığı çalışmada grafit/polimer kompozit malzemelerin deniz suyu etkisinde aşınmasını incelemiştir. Bunun için üretmiş olduğu grafit kompozit malzeme numunesini 4 ay okyanusta ve 6 ay deniz suyunda bekletmiştir. Derinliğin etkisini incelemek için numuneler okyanusta 2000 ft (yaklaşık 600 metre) derinlikte bekletilmiştir. 6 ay bekletilen numuneler, derin olmayan ve yüzeye yakın bir şekilde bekletilmiştir. Belirli zamanlarda numunelerde ağırlık artışı ölçülmüş ve yaklaşık 2 ay sonra ağırlık artışının neredeyse durduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca gerçek okyanus şartlarının açıkça grafit/polimer kompozit malzemesini aşındırdığını ve bozduğunu göstermiştir. Deniz suyunun kimyasının çok kompleks olduğunu, bu yüzden doygun kloridle simule edilemeyeceğini belirtmiştir.

Haidar F. Al-Qrimli ve arkadaşları[2] karbon epoksi örgülü kompozit malzemesinin deneysel ve nümerik olarak çekme performanslarını araştırmışlardır. Elle yatırma yönteminde örgülü fiberler daha uygun olduğundan, numuneler üretilirken elle yatırma yöntemini seçmişlerdir. Fiber olarak karbon, epoksi içinde reçine olarak EP-A215C1 ve sertleştirici olarak EP-B215 kullanmışlardır. Kürleme oda sıcaklığında gerçekleşmiştir. Üretilen epoksi malzemesinde reçine ve

sertleştiricinin hacimce oranı 100:20 olarak belirlenmiştir. Üretilen numuneler ASTM D3039 standartlarına göre hazırlanmıştır. Numuneler 8 katmanlı olarak, 0-90 oryantasyonunda üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin deneyleri Instron marka çekme cihazında yapılmıştır. Benzer şekilde yapılan testlerin numerik analizleri ABAQUS programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak deneysel veriler numerik analizlerin yardımı ile doğrulanmıştır. Deneylerde numuneler doğrusal bir gerilme-birim şekil değiştirme eğrisine sahip olmuştur. Gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin ilk kısımlarında meydana gelen, doğrusal olmayan kısımda ise matrisin fiberlerden önce hasar almasını sebep olarak belirtmişlerdir.

Kazi A. Imran ve arkadaşları[3] geleneksel ve nanofazlı karbon epoksi kompozitlerinin deniz suyu etkisindeki mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Karbon epoksi-nanokil nano kompozitleri %1, %2 ve %3 nanokil oranıyla, vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen nano fazlı kompozitler, geleneksel yöntemlerle üretilen karbon epoksi kompozitlerinin, deniz suyuna maruz kalmış ve kalmamış örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Nanokil, manyetik karıştırma kullanılarak matris malzemesinin içine dağıtılmıştır. Mekanik özellikler 3 nokta eğilme deneyi yapılarak belirlenerek, hasar bölgeleri elektron mikroskobu ve optik mikroskop ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre deniz suyu etkisi olmadan matris malzemesine karıştırılan nanokil miktarının optimum değeri %2 olarak bulunmuştur. %2 nanokil bulunan nano fazlı kompozit malzeme diğerlerine oranla %26 daha fazla eğilme dayanımına ve %7 daha fazla elastisite modülüne sahip olduğu bulunmuştur. 1 ay deniz suyunda bekletilen 4 farklı; geleneksel, %1, %2 ve %3 nanokile sahip numunelerde ise sırasıyla %6.83, %3.84, %0.75 ve %2.17 oranında eğilme dayanımlarında düşüş meydana gelmiştir.

Tual Nicolas ve arkadaşları[4] türbin kanatçıklarında kullanılan karbon epoksi kompozit malzemesine, deniz suyunun yaşlandırma etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında 3 farklı süreç ve malzeme seçmişlerdir. İlki karbon prepregler kullanılarak otoklav yöntemi ile üretilmiştir. Prepreglerin karbon fiberleri için UD 194 12K ve matris malzemesi için ise HexPly M21 kullanılmıştır. Bu kompozit malzeme, 7 bar otoklav basınçta 180 °C'de ve 120 dk. uygulanarak üretilmiştir.

İkincisi ise reçine kalıp transfer yöntemi ile üretilmiştir. Standart karbon fiber ve deniz ortamı için optimize edilmiş epoksi reçinesi kullanılmıştır. Üçüncü kompozit malzeme ise vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Tenax-E IMS65 E23 24K karbon ve ikinci durum ile aynı epoksi reçinesi kullanılmıştır. Bütün üretimlerde kürleme işlemi 65 °C'de 16 saatte gerçekleşmiştir. Otoklav yönteminde tek yönlü prepeglerle $[0]_8$ ve $[0]_{16}$ oryantasyonunda, reçine transfer kalıplama yönteminde tek yönlü karbon fiberlerle $[0]_8$ - $[0]_{16}$ ve örgülü karbon fiberlerle $[+45,-45,0,90]_s$ oryantasyonunda, infüzyon yönteminde ise tek yönlü karbon fiberlerle $[0]_8$ - $[0]_{16}$ ve örgülü karbon fiberlerle $[+45,-45,0,90]_s$ oryantasyonunda üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen plakalardan çekme testleri için ISO 527, çift ankastre kiriş deneyi için ISO 15024 ve kayma gerilmesi testi için ISO 14130 standardına göre numuneler hazırlanmış ve testler gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 7500 saat farklı sıcaklıklardaki deniz suyuna daldırılmıştır. Farklı sıcaklık kullanılmasının sebebi deniz suyu etkisini hızlandırmaktır. Deniz suyunun etkisi statik ve yarı statik deneylerle ölçülmüştür. Bu çalışmada, farklı sıcaklıklardaki deniz suyunun; farklı oryantasyonlar ve kalınlıklarda kullanılan malzemelere, difüzyon etkisi incelenmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki, oryantasyon ve kalınlığın difüzyonun kinetiği üzerinde az bir etkisi vardır. Ama farklı üretim yöntemlerinde bu durum farklılık göstermektedir. Hasar dayanımında %20 ila %40 bir düşüş ölçülürken, elastisite modülünde önemli bir etki görülmemiştir.

Yian Zhao ve arkadaşları[5] deniz suyu etkisindeki, denizcilik sektöründe kullanılan E-Cam/BMI kompozit malzemesinin mekanik özelliklerini ve hasar davranışlarını araştırmışlardır. Bunun için numuneleri, farklı şartlardaki deniz suyuna daldırmışlardır. Difüzyon oranı deniz suyu sıcaklığıyla doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Bu yüzden 30, 50 ve 80 °C'lerdeki deniz sularını kullanmışlardır. Üretilen kompozit malzemeler prepeglerden oluşturulmuştur. Prepegler üretilirken HexForce 1581 düz örgülü cam fiber ve Hexply F655 reçine kullanılmıştır. Kompozit malzeme 8 katlı ve 0 derece olarak otoklav yöntemiyle üretilmiştir. Kürleme işleme 6 saat sürmüş ve 243 °C'de gerçekleşmiştir. Üretilen plakalardan numuneler su jeti ve elmas kesici yardımıyla kesilmiştir. Numuneler yapay deniz suyunda bekletilmiştir. Yapay deniz suyu %3.5 tuz oranı ile oluşturulmuştur. Bu çalışmada 3 farklı test yapılmıştır. Dinamik mekanik analizler

için 40x15 mm, 3 nokta eğilme deneyi için 80x15 mm ve deniz suyuna maruz bırakılan numunelerin çekme ve yorulma testi için 230x15 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Çekme, 3 nokta eğilme ve yorulma testlerinden elde edilen sonuçlara göre, kompozit malzemenin mekanik özelliklerin azalmasının, daldırıldığı deniz suyunun sıcaklığının artması ile arttığını bulmuşlardır.

Matthew Dawson ve arkadaşları[6] mevcut durum parametrelerinin ve test şartlarının, deniz yapılarında kullanılan kompozit malzemelere etkisini incelemişlerdir. Sıcaklık ve basıncın, prepreg ve infüzyon yöntemi ile üretilmiş cam epoksi kompozitler üzerindeki nem absorpsiyonuna etkisini belirlemek, doğal deniz suyu ve deionize deniz suyunun, prepreg ve infüzyon yöntemi ile üretilmiş tek yönlü cam epoksi kompozitlerin çekme mukavemeti ve kayma mukavemeti üzerindeki etkisini bulmak ve doğal deney şartlarının(deniz suyunda ya da havada), infüzyon yöntemiyle üretilmiş cam epoksi kompozitlerin çekme yorulma dayanımlarına etkisini belirlemek için çalışmışlardır. Deniz suyu sıcaklığı için 4, 25, 40, 60 ve 80 °C değerlerini seçmişlerdir. Sonuç olarak sıcaklığın artmasıyla kompozit malzemenin ağırlığının artışı hızlanmıştır ama basıncın arttırılmasının yaşlandırmaya her hangi bir etkisi olmamıştır. Deionize deniz suyunun etkisi ile doğal deniz suyunun etkisi karşılaştırıldığında; doğal deniz suyunun daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Son olarak testin yapıldığı ortamın değişmesinin, yani deniz suyunda ya da hava da yapılmasının herhangi bir etkisinin olmadığını söylemişlerdir.

B. G. Penn ve arkadaşları[7] farklı sıcaklıklarda deniz suyu ve deionize suya maruz bırakılmış cam epoksi kompozit malzemesinin eğilme özelliklerini incelemişlerdir. Bunun için sürekli kalıp yöntemi ile stratoglas cam epoksi kompozit malzemedan imal edilmiş 127 mm uzunluğa sahip çubuk numuneler kullanmışlardır. Deniz suyu çözeltisi hazırlamak için 1000 ml suya 41.95 gram tuz karışımı eklemişlerdir. Hazırlanan numuneler 0, 25 ve 80 °C'deki deniz suyunda ve deionize suda 451 saat bekletilmiştir. Deionize ve deniz suyuna maruz kalmış numunelerin yüzdece ağırlık değişimleri hesaplanmış, stereomikroskop ile çatlakları kontrol edilmiş ve ASTM D790 standardına göre 4 nokta eğilme deneyine maruz bırakılmıştır. Farklı sıcaklıklarda bekletilen numunelerin yüzdece ağırlık değişimleri ile sıcaklık

arasında doğru orantı bulunmuştur. 80 °C'de deionize suda bekletilen numunede %1.3 ve deniz suyunda bekletilen numunede %1.2 oranında artış olurken, bu değerler 0 °C deionize suda bekletilen numunede %0.09 ve deniz suyunda bekletilen numunede %0.06, 25 °C'de ise deionize suda bekletilen numunede %0.13 ve deniz suyunda bekletilen numunede %0.17 ağırlık artışı meydana gelmiştir. 0 ve 25 °C'de eğilme özelliklerinde önemli bir değişime rastlanmazken, 80 °C'de deionize suda bekletilen numunede %20 ve deniz suyunda bekletilen numune de ise %17 oranında eğilme dayanımında azalma meydana gelmiştir.

Abdel-Hamid I. Mourad ve arkadaşları[8] deniz suyu ve sıcaklığının, cam epoksi ve cam poliüretan kompozit malzemelerin yapısal özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Kullanılan cam epoksi %52 fiber oranına ve kullanılan cam poliüretan kompozit %58 fiber oranına sahip olarak üretilmiştir. Deney numuneleri ortalama 3 mm kalınlığa sahip olacak şekilde ve ASTM D3039 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Arap Körfezi'nden alınan deniz suyuna daldırılmıştır. Hem oda sıcaklığında hem de 65 °C sıcaklığında iki daldırma düzeneği hazırlanmıştır. Numuneler 3, 6 ve 12 ay süreyle deniz suyuna maruz bırakılmıştır. Ayrıca deniz suyuna daldırılmayan kontrol numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve hasar analizi için elektron mikroskopunda incelenmiştir. Sonuç olarak sıcaklığın ve sürenin artmasının absorpsiyon ile doğru orantılı olduğunu bulmuşlardır. 1 yıl oda sıcaklığında ve 65 °C sıcaklıkta deniz suyuna maruz kalan cam epoksi numunelerin çekme dayanımında ve elastisite modülünde önemli bir değişim olmamıştır ancak cam poliüretan kompozit malzemelerde 3 aydan sonra bozunmalar başlamıştır. Ayrıca deniz suyunun, malzemenin hasar modunu değiştirdiklerini söylemişlerdir. Örneğin cam epoksi kompozit malzemesinde kırılğan matris ve sünek fiberler, sünek matris ve kırılğan fiberlere dönüşmüştür.

David Miller ve arkadaşları[9] deniz suyuna maruz kalmış kompozit malzemelerin performanslarını incelemişlerdir. İki çeşit numune hazırlamışlardır. İki katmanlı ve 6 katmanlı olacak şekilde tek yönlü fiberler kullanılarak 0 ve 90 derece oryantasyonlarında kompozit malzeme üretmişlerdir. İlk kompozit tek yönlü cam fiber PPG-devold L 1200G30-E07 ve reçine Momenitive RIMR135/RIMH1366

kullanılarak, ikinci kompozit ise tek yönlü cam fiber PPG-Devold L 1200G30-E07 ve reçine olarak Ashland 601 vinilester reçine kullanılarak üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak vakum infüzyon yöntemini seçmişler ve kürlenme işlemi için 20 °C'de 24 saat ve 80 °C'de 12 saat bekletmişlerdir. Üretilen kompozitler hacimsel olarak %56-57 fiber oranına sahiptir. Numune boyutları 216 uzunluğunda, 25 mm genişliğinde ve 2 mm kalınlığındadır. Hazırlanan numuneler sentetik deniz suyuna daldırılmıştır. Sentetik deniz suyu ASTM D1141 standardına göre hazırlanmıştır. Sentetik deniz suyuna daldırılan numuneler 1000 saat bekletilmiştir. Hazırlanan numuneler 0, 20 ve 40 °C'de statik basma ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Nem ve sıcaklığın artması ile 0 derece oryantasyona sahip kompozitlerde basma ve çekme mukavemeti düşmüştür. Diğer yandan nem ve sıcaklığın artması ile 90 derece oryantasyona sahip kompozitlerde basma mukavemeti düşerken çekme mukavemeti çok az etkilenmiştir. Aynı zamanda 0 derece oryantasyona sahip numunelere oda sıcaklığında çekme yorulması testleri de yapılmıştır. Yorulma dayanımı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Patil Deogonda ve Vijaykumar N. Chalwa[10] epoksi takviyeli cam fiber kompozit malzemenin delme işleminde deniz suyunun etkisini incelemişlerdir. Epoksi takviyeli cam fiber kompozit malzemesini, TiO₂ (Titanyum Dioksit) ve ZnS (Çinko Sülfür) gibi içine farklı malzemeler katarak üretmişlerdir. TiO₂ ve ZnS maddelerini %1, %2 ve %3 olacak şekilde eklemişlerdir. Üretimde cam fiber olarak Mat-330GSM ve reçine olarak orta viskoziteye sahip LAPOX L-12 ve sertleştirici olarak K-6 kullanmışlardır. Üretilen kompozit malzeme %60 fiber ve %40 epoksi olacak şekilde üretilmiştir. Ürettikleri bu numuneleri 8, 16 ve 24 saat deniz suyuna daldırmışlar ve 3 farklı delme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu işlemler 8-4 mm, 10-6 mm ve 12-8 mm ölçülerindeki kademeli matkap ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak ZnS eklenmiş epoksi takviyeli cam fiber, TiO₂ eklenmiş epoksi takviyeli cam fiber kompozitten daha iyi performansa sahiptir. Ayrıca 16 saat deniz suyuna daldırılmış ZnS eklenmiş epoksi takviyeli cam fiber kompozit diğer parametreler arasında en iyi işleme yeteneğine sahiptir. Deniz suyuna daldırma süresi arttıkça ilerleme kuvveti artmaktadır. Eğer daldırma süresi sabit kabul edilirse, TiO₂ ve ZnS hacimsel olarak artarsa ilerleme kuvveti azalmaktadır.

A. P. Chakraverty ve arkadaşları[11] polimer takviyeli cam fiber kompozitlere deniz suyunun etkisini araştırmışlardır. Üretimde örgülü E-cam fiber, reçine olarak Lapox L-12 ve sertleştirici olarak Lapox K-6 kullanmışlardır. Üretimi elle yatırma yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Oda sıcaklığında 48 saat kürlenme gerçekleştikten sonra ASTM D2344-84 standardına göre numuneler 50 mm uzunluğunda ve 12 mm genişliğinde hazırlanmıştır. Numuneler hazırlandıktan sonra içlerindeki nemin tamamen çıkması için 55-60 °C'ye ısıtılmış ve bu işlemden sonra tartılmıştır. Hazırlanan numuneler oda sıcaklığındaki deniz suyuna 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 ay süreyle daldırılmıştır. Her 2 ayda bir yapılan tartımlar sonrası ağırlık artışının artan, azalan ve artan şeklinde bir grafik çizdiği görülmüştür. Numuneler kayma ve çekme testine tabi tutulmuştur. Kayma testinde daldırma süresi ile kayma gerilmesinin ters orantılı olduğu görülmüştür. Daldırma süresi arttıkça kayma gerilmesinde düşme gerçekleşmiştir. Çekme deneylerinde kayma testlerindeki gibi bir doğrusallığın söz konusu olmadığını belirtmişlerdir. Bunun yanında daldırma zamanı arttıkça çekme mukavemetinin düşmediğini ifade etmişlerdir. Örneğin 4 ay deniz suyuna daldırılmış numunenin çekme mukavemeti 6 ay deniz suyuna daldırılmış numunenin çekme mukavemetinden yüksek ama 6 ay deniz suyuna daldırılmış numunenin çekme mukavemeti 8 ay deniz suyuna daldırılmış numunenin çekme mukavemetinden düşük çıkmıştır. Genel olarak sonuçlarda kayma mukavemeti, çekme mukavemeti ve elastisite modülü değerlerinde daldırma periyodunun artması ile düşüş gözlemlenmiştir.

Jin-Bum Moon ve arkadaşları[12] tuzlu su ortamının kompozit malzemelerin mekanik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bunun için iki farklı deney yapmışlardır. Birinde tuzlu suya daldırma yöntemi seçilmiştir. Diğerinde ise tuzlu su spray metodu kullanılmıştır. Yani bir numune tuzlu suya daldırılırken diğer numuneye belli aralıklarla tuzlu su püskürtülmüştür. Deneylerinde karbon epoksi ve cam epoksi kompozit malzemelerini kullanmışlardır. Üretilen bu numunelere çekme, basma ve kayma testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda numuneler üzerinde, deniz suyuna daldırma ile numune üzerine deniz suyu püskürtme arasında çok küçük bir fark olduğunu bulmuşlardır. Çekme deneylerinde deniz suyu etkisi, karbon epoksi malzemenin çekme mukavemetinde az bir düşüşe, cam epoksi malzemenin çekme mukavemetinde daha fazla bir

düşüşe sebep olmuştur. Deniz suyunun özellikle matris-fiber ara yüzeyine, matris özelliklerine ve cam fiberlere etki ettiğini bulmuşlardır.

Ümran Esendemir ve Ayşe Öndürücü[13] pim bağlantılı örgülü cam epoksi kompozit malzemelerin deniz suyu etkisi altındaki mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İki farklı geometrik parametre göz önüne alınarak numuneler hazırlanmıştır. Bu parametreler E/D yani deliğin kenara uzaklığı ve deliğin çapı, diğeri ise W/D yani numunenin genişliği ve deliğin çapıdır. Kompozit malzeme prepreg örgülü cam fiberden üretilmiştir. Kürleme işlemi 150 °C'de 1 MPa basınç altında 3 saatte gerçekleşmiştir. Kompozit malzeme 8 katlı ve 0 derece oryantasyonda üretilmiştir. Numuneler 80 mm uzunluğunda, 10, 15, 20 ve 25 mm genişliğinde, 5.2 mm çapında deliğe sahip ve deliğin merkezinin kenara uzaklığı 5, 10, 15, 20 ve 25 mm olacak şekilde üretilmişlerdir. Her çeşit numuneden en az 3 tane hazırlanarak, susuz ortam, 1 ay ve 2 ay deniz suyuna maruz kalacak şekilde numuneler teste tabi tutulmuştur. Deniz suyu %3.8 tuz içerecek şekilde hazırlanmıştır. Testler, numunelerin delik kısmından pim geçirilerek diğer uçtan çekilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde delik bölgesindeki yatak gerilmesine bakılmıştır. Yukarıdaki parametrelere bağlı olarak bütün testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda daldırma süresinin artmasıyla yatak gerilmesi arasında ters orantı olduğu bulunmuştur. Yani daldırma süresi artan bir numunenin yatak gerilmesi değeri düşük çıkmıştır. Ayrıca belirlenen parametrelerin yani W/D ve E/D oranının artmasıyla yatak gerilmesi de artmıştır.

Francielio Gomes da Silva ve arkadaşları[14] yaptıkları çalışmada nemin e-cam fiber kompozitlere etkisini incelemişlerdir. Bunun için kuru ortam yani kontrol numunelerini, damıtılmış suya ve deniz suyuna maruz bırakılmış numunelerin mekanik özellikleriyle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmaları yapmak için numuneleri çekme ve 3 nokta eğilme deneylerine tabi tutmuşlardır. Testlerde kullanılan numuneler elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Üretimde örgülü veya tek yönlü kompozit fiberler kullanılmamıştır. Onun yerine uzun fiberlerin rastgele yerleştirildiği özelliği 450 g/m² olan e-cam matlar kullanılmıştır. Reçine olarak, izoflatik reçinelerle karşılaştırıldığında daha rijit ve daha fazla jelleşme süresi gerektiren ortotropik polyester reçine kullanılmıştır. 7 katman olacak şekilde ve 0

derece oryantasyonda üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemede fiber-matris hacimce oranı %40 civarındadır. Numuneler, çekme testi ve 3 nokta eğilme testi için sırasıyla ASTM D3039-00 ve ASTM D790-90 kullanılarak hazırlanmıştır. Numune boyutları tek eksenli çekme testleri için 203 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde, 3 noktalı eğilme testleri için ise 125 mm uzunluğunda ve 10 mm genişliğinde kesilmiştir. Neme maruz bırakma işlemi için numuneler 290 gün boyunca damıtılmış suya ve deniz suyuna daldırılmıştır. Daldırılan bu sular ayda bir yenilenmiştir. Numuneler yüzdece nem absorpsiyon ölçümü için belli zaman aralıklarıyla tartılmıştır. Genel olarak 290 gün boyunca, her iki durumda da başlarda yavaş daha sonra hızlanan bir artış elde edilmiştir. Bu artış damıtılmış suda daha fazla bulunmuştur. Bu süre sonunda yapılan testlerde, damıtılmış suya batırılan numunelerdeki elastisite modülü ve çekme dayanımı, deniz suyuna batırılan numunelere göre daha fazla düşüş göstermişlerdir. Ayrıca nemin artışının sadece malzemenin elastisite modülüne etki ettiğini ve bu artışın damıtılmış suda daha fazla olduğunu söylemişlerdir.

Li Jing ve arkadaşları[15] deniz suyunda çalışan, plastik takviyeli karbon fiberden yapılmış türbinlerin mekanik özelliklerindeki değişimini incelemişlerdir. Karbon fiber kompozit numuneler için T300 karbon fiberi ve TDE-85 reçinesi kullanılmış ve 45, -45 derece oryantasyonunda üretim yapılmıştır. Üretim vakum infüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kurlenme işlemi 80 °C'de, 120 dk. ve 130 °C'de 120 dk. olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin değişimini fark etmek için numunelere çekme testi, eğilme testi ve kayma testi yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerden numuneler, çekme testi için 250 mm uzunluğunda 25 mm genişliğinde, eğilme testi için 250 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde ve kayma testi için ise 80 mm uzunluğunda ve 12.5 mm genişliğinde olacak şekilde kesilmiştir. Çekme testi numunelerinin uç kısımlarına 50 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde olacak şekilde tab eklenmiştir. Yapay deniz suyu %3.5 tuz konsantrasyonu ile oluşturulmuştur. Deniz suyuna daldırma ve bekletme işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ağırlık değişimi 2, 24, 48, 96, 120, 144, 168, 192 ve 240 saat süreyle ölçülmüştür. Ağırlık artışı 48 saate kadar hızlı bir artış şeklinde, 48 saatten 168 saate kadar yavaş bir artış şeklinde olurken 168 saatten 240 saate kadar ağırlık artışı sabit kalmıştır. Kontrol numunesinin

çekme dayanımı 1415 MPa iken, yapılan çekme testleri sonunda 40 günlük numunelerde çekme dayanımı 1190 MPa olarak bulunmuştur. Bunun yanında daha fazla daldırma süresine sahip olan numunelerde bu değer biraz artmış ama hiç bir numunenin çekme dayanımı kontrol numunesinin dayanımına ulaşamamıştır. Yani deniz suyu daldırma işlemi bütün numunelerin çekme dayanımını düşürmüştür. Aynı şekilde deniz suyu, deniz suyuna daldırılan numunelerle yapılan eğilme deneylerinde de numunelerin dayanımlarında önemli bir düşüş meydana getirmiştir.

Y. Jack Weitsman ve arkadaşları[16] farklı polimerik kompozit malzemelerin farklı nem koşullarında fiziksel özelliklerinin değişimlerini incelemişlerdir. Bu fiziksel değişimleri 100 güne kadar belli sürelerde ağırlık değişimlerini ölçerek bulmuşlardır. Bu çalışmada 3 farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. İlki tek yönlü AS4 grafit fiber ve 3501-6 epoksiden oluşan 6 katlı 0 derece oryantasyonlu, ikincisi E-cam fiberden ve NCT 301 epoksiden oluşan 6 katlı 0 derece oryantasyonlu ve üçüncüsü ise E-cam fiberden oluşan ve SP1003 epoksiden oluşan 4 katmanlı ve 0 derece oryantasyonlu kompozit malzemelerdir. Üretilen kompozit malzemelerin her birinden 6 adet 12 mm genişliğinde ve 100 mm uzunluğunda numuneler kesilmiştir. Kesilen bu numuneler 50 °C sıcaklığındaki sentetik deniz suyuna daldırılmıştır. Daldırılan numunelerde belirli zamanlarda ağırlık ölçümü yapılmıştır. Bu ağırlık ölçümü 2 grup halinde yapılmıştır ve bu 3 malzeme için bu iki grup deney sonuçları karşılaştırılmıştır. İlk grup deneyinde üretilen numuneler hemen deniz suyuna daldırılmış 5 hafta deniz suyunda bırakılmış, 5 hafta sonunda sudan çıkarılıp 5 hafta boyunca kuru ortamda bekletilmiş, 5 hafta kuru ortamda bekletildikten sonra tekrar 5 hafta deniz suyuna daldırılmıştır. Bu geçen 15 haftalık sürede belirli zamanlarda ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Diğer deney grubunda ise üretilen numuneler deniz suyuna daldırılmadan önce 10 hafta bekletilmiş, bu 10 haftadan sonra birinci gruptaki işlemler gerçekleştirilmiştir. Burada amaç aslında üretilen bir kompozit malzemenin deniz suyuna maruz kalmadan önce başka ortamın deniz suyu absorpsiyonuna etkisinin olup olmadığını bulmaktır. Yapılan ağırlık ölçümleri sonucu AS4/3501-6, E-cam/NTC301 ve E-cam/SP 1003 kompozitlerinde E-cam/NTC301 kompozitinde daha fazla belirgin olarak, birinci grubun ağırlık artışı ikinci grubun ağırlık

artışından daha fazla çıkmıştır. Yani deniz suyuna daldırmadan önce kuru ortamda yaşlandırma işlemi kompozit malzemenin nem absorpsiyonunu azaltmaktadır.

A. Kootsookos ve arkadaşları[17] karbon ve cam polimer kompozit malzemelerinin deniz suyundaki dayanıklılıklarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında cam/polyester, cam/vinilester, karbon/polyester ve karbon/vinilester olmak üzere 4 çeşit kompozit malzeme üretmişlerdir. Cam kompozitleri üretirken E-cam düz örgülü ve 0,329 kg/m² özellikli fiber kullanmışlardır. Polyester reçine olarak Synolite 0288-T-1 ve vinilester reçine olarak Derakane 411-350 reçine kullanmışlardır. Aynı şekilde karbon kompozitleri üretirken düz örgülü ve 0,195 kg/m² özellikli karbon fiber kullanmışlardır. Polyester reçine olarak Synolite 0288-T-1 ve vinilester reçine olarak Derakane 411-350 reçine kullanmışlardır. 120 mm uzunluğunda ve 120 mm genişliğinde kare numuneler üretilmiştir. Cam/polyester, karbon/polyester, cam/vinilester ve karbon/vinilester kompozitlerinin sırasıyla fiber hacim oranları 0.32, 0.35, 0.30 ve 0.32, kalınlıkları 1.6, 1.3, 1.5 ve 1.4 mm'dir. Bu çalışmada farklı olarak numuneler kesilerek deniz suyuna batırılmayıp, deniz suyuna plaka halinde batırılıp, daldırma zamanı dolduktan sonra numuneler ASTM D790M(2.metod) ve ASTM D5528 standartlarına göre kesilerek deneyleri yapılmıştır. Deniz suyu %2.9 tuz konsantrasyonuna sahiptir. Deniz suyunda bekletme süresi yaklaşık 250 gündür. Yapılan deneyler sonrası fiber tipinin, reçinenin ve reçinenin kürleşme sıcaklığının, deniz suyuna maruz kalmış karbon ve cam kompozitlerde dayanıklılığı etkilediğini bulmuşlardır. Cam kompozitler genel olarak karbon kompozitlere göre deniz suyunda daha kararsız ve polyester bazlı kompozit malzemelerin vinilester bazlı kompozitlere göre daha az dayanıklı olduğu sonucuna varmışlardır.

Catherine A. Wood ve Walter L. Bradley[18] yaptıkları çalışmada deniz suyunun katmanlar arası kayma mukavemetine etkisini, E-cam ve grafit epoksi hibrit kompozitler üzerinde araştırmışlardır. Deneysel çalışmalar için 2 farklı hibrit kompozit malzeme üretilmiştir. Hibrit kompozit malzemeler karbon ve camdan oluşturulmuştur. [0_k/90_c]_s ve [90_k/0_c]_s oryantasyonunda olacak şekilde üretilmiştir. Üretimde kullanılan cam prepregler 158B E-cam fiberlerden ve BP E719LT epoksi reçineden, karbon prepregler ise AS4C karbon fiberlerden ve BP

E719LT epoksi reçineden üretilmiştir. Reçinenin içinde sertleştirici olarak %5 kauçuk kullanılmıştır. Kompozit malzeme 1.04 mm kalınlığında ve fiberin hacimce oranı %60 olacak şekilde üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemedan 6.35 mm genişliğinde ve 38.10 mm uzunluğunda numuneler kesilmiştir. Numuneler kütlece %2.3 NaCl içerecek şekilde hazırlanan yapay deniz suyunda bekletilmiştir. Bekleme süresi boyunca belirli zamanlarda ağırlık ölçümü yapılmış ve numunelerin absorpsiyonu ölçülmüştür. Yaklaşık 5 ay sonra numunelerin ağırlık artışı sabitlenmiştir. Numunelerin iki grup halinde testleri yapılmıştır. Bu gruplar kısa dönem yaşlandırma ve uzun dönem yaşlandırma diye ikiye ayrılmıştır. Kısa dönem yaşlandırma, ağırlık artışının sabitlendiği zaman, uzun dönem yaşlandırma ise 8 aylık zamana denk gelmektedir. Numunelere enine çekme deneyi yapılmıştır. Aynı zamanda klasik katmanlı düzlem teorisi ve sonlu elemanlar analizi yardımıyla fiber ve matris arasındaki yüzey kayma gerilmesi değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kompozit tarafından nem emilimi arttığında, reçine bölgesindeki hidrotermal kalıntı gerilmelerinin çekmeden basmaya ve fiber matris ara yüzeyindeki kalıntı gerilmelerinin ise basmadan çekmeye dönüştüğünü bulmuşlardır. Ayrıca üretim esnasındaki termal gerilmelerin reçine bölgelerinde ara yüzey hasarlarına yol açtığını, ek olarak nemin artmasının katmanlardaki ve kompozit malzemedeki gerilmelerin düşmesine sebep olduğunu söylemişlerdir.

Najim A. Saad ve arkadaşları[19] polifenilen sülfid matrisli kompozit malzemelerin numerik ve deneysel olarak mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu kompozit malzemenin çekme özelliklerine fiber tipinin, katman sayısının ve fiber oryantasyonunun etkilerini incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde çift yönlü 0/90 derece örgülü E-cam ve tek yönlü 0 derece örgülü 300C/60 karbon fiberler kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak kullanılan polifenilen sülfid, 620 mm uzunluğunda, 500 mm genişliğinde ve 3 mm kalınlığında tabaka halindedir. Üretim sırasında cam ve karbon fiberlerin altına konularak, kompozit malzeme 300 °C sıcaklıkta termal hidrolik pres yardımıyla üretilmiştir. Sıvılaştıran matris malzemesi pres yardımıyla üzerinde bulunan fiberlerin arasına işlemiştir. Bu üretim prosedürü ile 1, 2, 3 ve 4 katmanlı, cam ve karbondan oluşan, oryantasyonları 0, 0/90, 0/90/0 ve 0/45/-45/90 olacak şekilde ve hacim oranları %6 ila %32 arasında değişen farklı parametrelere sahip kompozit malzemeler

üretmiştir. Üretilen kompozit malzemelerden numuneler ASTM D3039 standardına göre kesilmiştir. Kesilen numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve ANSYS 13 programı yardımıyla analizleri yapılarak, numerik ve deneysel verilerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak katman sayısının ve fiber hacim oranının artmasının çekme dayanımını arttırdığını bulmuşlardır. Çalışmada, üretilen cam kompozitlerden en iyi çekme değerine sahip olanın 4 katmanlı numunenin olduğunu aynı şekilde karbon kompozitlerden en iyi çekme değerine sahip olanın ise 3 katmanlı numunenin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca matris malzemesi olan polifenilen sülfid, bütün oryantasyonlar, katmanlar ve fiber hacim oranlarında, yüksek esneklik ve yüksek şekil değiştirme özelliği göstermiştir.

Lixin Wu ve arkadaşları[20] deniz suyunun E-cam/vinilester kompozitler üzerinde kısa süreli etkilerini incelemişlerdir. Kompozit malzemenin üretiminde QM-5708 E-cam fiberler ve CORVE 8121 vinilester reçine kullanılmıştır. Kurlenme işlemi oda sıcaklığında gerçekleşmiştir. Fiberin kütlece oranı %68-69 civarındadır. Üretilen kompozit plakadan, çekme testi için ASTM D3039 ve kayma testi için ASTM D790 standardına göre numuneler hazırlanmıştır. Her bir bekletme süresi için 5 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 0, 1, 3, 6, 9 ve 12 ay olmak üzere 3 farklı ortamda bekletilmiştir. Bu ortamlar deiyonize su ortamı, doğal deniz suyu ortamı ve sentetik deniz suyu ortamıdır. Deiyonize su ortamı 23 °C sıcaklığa ve 6.95 pH değerine sahiptir. Doğal deniz suyu La Jolla sahilinden alınmıştır, 23 °C sıcaklığa ve 8.24 pH değerine sahiptir. Sentetik deniz suyu ortamı ise ASTM D1141 standardına göre hazırlanmış olup 23 °C sıcaklığa ve 8.24 pH değerine sahiptir. Numunelerin belirli zamanlarda ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu sayede kütlece yüzde değişimleri ölçülmüştür. Kontrol numunesinin çekme dayanımı 363 MPa'dır. Farklı ortamlarda bekletilen numunelerin çekme deneyleri sonrası elde edilen hiç bir çekme mukavemeti bu değeri geçmemiştir. Yapılan deneyler sonucu bütün durumlardaki çekme dayanımlarında düşüş gözlemlenmiştir. 12 ay sonunda kompozit malzemenin çekme dayanımına en büyük negatif etkiyi doğal deniz suyu ortamının yaptığını belirtmişlerdir. Doğal deniz suyu ortamını, sentetik deniz suyu ortamı ve deiyonize su ortamı takip etmiştir. Aynı şekilde kayma deneylerinde genel olarak dayanım açısından bir düşüş söz konusudur. Düşüşler daimi değil

bazen zamanla artış göstermiştir ama bu artışlar hiç bir zaman kontrol numunesinin kayma dayanımına ulaşamamıştır. 12 ay sonunda kompozit malzemenin kayma dayanımına negatif etkiyi en fazla deiyonize su ortamı yapmıştır. Deiyonize su ortamını deniz suyu ortamı ve sentetik deniz suyu ortamı takip etmiştir.

B. C. Ray[21] yapmış olduğu çalışmada deniz suyu sıcaklığının değişmesinin, polimer takviyeli cam fiber kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deniz suyu sıcaklığının değişimi iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, ilk olarak düşük sıcaklıktaki(50 °C) deniz suyunda bulunan numuneler yüksek sıcaklıktaki(100 °C) deniz suyuna, ikincisinde ise yüksek sıcaklıktaki(100 °C) deniz suyunda bulunan numuneler düşük sıcaklıktaki(50 °C) deniz suyuna transfer edilmiştir. Bu şekilde termal şok oluşturarak polimer takviyeli cam fiber kompozitlerin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Aynı zamanda farklı fiber hacim oranlarında ve farklı reçine tiplerinde kompozit malzemeler üretilerek, fiber hacim oranının ve reçine tipinin etkiside incelenmiştir. Kompozit malzemeler elle yatırma yöntemi ile Saint-Gobain E-cam fiberler ve polyester reçine için Vetrotex, epoksi reçine için Ciba-Geigy kullanılarak üretilmiştir. ASTM D2344-84 standardına göre numune boyutları belirlenmiştir. %55, %60 ve %65 olmak üzere üç farklı fiber ağırlık oranı için üretim yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemeler 3 nokta eğilme testine tabi tutulmuştur. Testler oda sıcaklığında hem 2 mm/dk hem de 50 mm/dk hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda tabakalar arası kayma mukavemetinde; %55 ve %65 lif ağırlık oranındaki cam/epoksi kompozitlerinde %35 ve %60 lif ağırlık oranındaki cam/polyester kompozitinde ise %33 lük düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca yüksek deney hızlarında, kayma mukavemet düşüşü daha az olmuştur. Bunun nedeni matris malzemesinin sünekliğinin hızla azalmasıyla alakalıdır.

J. D. Garcia-Espinel ve arkadaşları[22] deniz suyu ortamının, denizcilik inşa mühendisliğinde kullanılan plastik takviyeli cam fiber kompozit malzemeleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda matris malzemesinin özelliklerinin deniz suyuna maruz kalma durumunda çok iyi bilinmesi gerektiğini savunmuşlardır. Polyester, vinilester ve epoksi matrisli kompozitler

karşılaştırıldığında, deniz yapılarında kullanılmak için en uygun matrisin epoksi olduğunu, çünkü epoksili kompozit malzemelerin deniz suyuna doyma seviyesine geldiğinde mekanik özelliklerinin sabitlendiğini ama bunun yanında polyester matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin sabitlenmediğini ve vinilester matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin bozunmasının belirlenebilmesi için yaşlandırma testlerinin hızlandırılarak yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Epoksili kompozit malzemeler deniz suyu doyumuna ulaştıktan sonra mekanik özelliklerinin sabitlenmesi, çekme ve eğilme dayanımlarının sabitlenmesi anlamına geldiğinden çok önemlidir. Matris malzemesi ne olursa olsun deniz suyuna daldırılan cam kompozit malzemenin çekme ve eğilme dayanımları azalmaktadır. Plastik takviyeli cam fiber kompozit malzemelerin deniz suyuna maruz kalan denizcilik yapılarında en iyi malzeme olduğunu savunmuşlar ve yorulma dayanımlarının deniz suyu etkisiyle değişmediğini bulmuşlardır. Yorulma dayanımları %85 yük oranında havada ve suyun içinde test edilmiştir.

E. Poodts ve arkadaşları[23] deniz suyunun, plastik takviyeli cam fiber kompozit malzemelerin yarı statik ve yorulma eğilme özelliklerine etkisini araştırmışlardır. İki genel reçine sistemi olan polyester ve vinilester reçineler incelenmiştir. Vakum infüzyon metodu ile 4 mm kalınlığında kompozit panel üretmişlerdir. Üretimde polyester reçine olarak R.312 ISOFT-NPG ve vinilester reçine olarak R.912 VE kullanılmıştır. Panellerden, bir reçine türünden 50 olmak üzere toplam 100 adet numune, 80 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde kesilmiştir. Birer adet numune ise titreşim testi için 300 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde hazırlanmıştır. Numunelerin daldırılacağı deniz suyu, yapay olarak damıtılmış suyun içine belli elementler katılarak oluşturulmuştur. Yapay deniz suyunun sıcaklığı 15 °C'de sabitlenmiştir. Üretilen 50 numunenin 21 tanesi deniz suyuna maruz bırakılmadan, 29 tanesi ise deniz suyuna maruz bırakılarak test edilmiştir. Deniz suyuna maruz bırakılmayan 21 adet numunenin, 9 tanesi hava ortamında 9 tanesi ise su ortamında 3 nokta eğilme yorulma deneyine, diğer 3 tanesi ise hava ortamında 3 nokta eğilme yarı statik deneyine tabi tutulmuştur. 4, 8, 12 ve 20 hafta deniz suyuna maruz bırakılan numuneler hava ortamında 3 nokta eğilme yarı statik deneyine tabi tutulmuştur. 22 hafta deniz suyuna maruz bırakılan 21 adet numunenin 8 tanesi hava ortamında, 9 tanesi su ortamında 3 nokta eğilme

yorulma deneyine, 3 tanesi ise hava ortamında 3 nokta eğilme yarı statik deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda cam/vinilester kompozitte %6 ve cam/polyester kompozitte %7 oranında nihai dayanımda azalma meydana gelmiştir. Hem hava hem de su ortamında yapılan yorulma deneylerinden, su ortamında yapılan yorulma deneylerinin sonuçlarının daha iyi olduğunu bulmuşlardır. Çünkü yorulma testi sırasında ortaya çıkan ısının malzemeye zarar vermesi su ortamı sayesinde engellenmiştir. Titreşim testlerine göre kayma modülünde herhangi bir değişim olmamıştır. Sonuç olarak üretilen ve testleri yapılan iki kompozit malzemenin de metallere kıyasla deniz suyuna karşı daha iyi dirence sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Nam-Jeong Lee ve Jyongsik Jang[24] fiber oranının, cam fiber mat polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bunun için hacimce fiber oranı %10, %15, %20 , %25 ve %30 cam fiber içeren kompozit malzemeler üretmişler ve test etmişlerdir. Cam fiber matlar, ER 2310 cam fiber makarasından üretilmiştir. Kompozit malzeme üretilirken bu cam fiber matlar ve HF411X polipropilen reçine olarak kullanılmıştır. Cam fiber matlar 3 saat boyunca 500 °C'ye ısıtılmış ve üzerine hacimce fiber oranına göre polipropilen reçine dökülmüştür. 60 °C sıcaklığındaki plaka üzerinde 2 gün boyunca kuruması beklenmiştir. Daha sonra 24 saat süreyle 80 °C'de vakum yapılarak kompozit malzeme son halini almıştır. Hazırlanan kompozit malzemeden, çekme testleri için 100 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde kemik şeklinde, eğilme testleri için 60 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğinde, darbe testleri için ise 100 mm genişliğinde ve 100 mm uzunluğunda plaka şeklinde numuneler kesilmiştir. Yapılan testler sonunda cam fiber oranının artmasının, cam fiber mat polipropilen kompozitlerinin elastisite ve kayma modülünü arttırdığı ama büyük boşluklardan dolayı liflerin takviye etkinliğinin düşmesine neden olduğunu bulmuşlardır. Kompozit malzemenin çekme ve eğilme dayanımları %15-20 hacim lif oranına kadar artmıştır, bu değerden sonra düşüşler olmuştur. Benzer şekilde kompozitin toplam darbe absorpsiyon enerjisi %20 hacim lif oranında maksimum seviyeye ulaşmıştır ama bu değerden sonra düşmüştür.

Corentin Humeau ve arkadaşları[25] deniz suyunda şarlandırılmış, statik çekme gerilmesi altındaki karbon epoksi kompozit malzemenin mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Bunun için iki farklı karbon epoksi kompozit malzemesi üretmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelerde örgülü karbon fiber, LY556 reçine ve XB3403 polyamid sertleştirici kullanılmıştır. Üretim işlemi otoklav yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin birisi 4 katlı ve ± 45 derece oryantasyonunda ağırlıkça oranı %30, diğeri ise yarı izotropik 0/90, $\pm 45/\pm 45$,0/90 oryantasyonunda ağırlıkça oranı %33 olacak şekilde üretilmiştir. Üretilen plakalardan ASTM D3039 standardına göre kompozit çekme numuneleri hazırlanmıştır. Ayrıca bu kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan saf epoksiden 2.6 mm kalınlığında ASTM D638 standardına göre numune üretmişlerdir. Üretilen numuneler 60 °C sıcaklığında deniz suyuna daldırılmıştır. 3 farklı yaşlandırma zamanından sonra numunelere hem ayrı ayrı hem de hepsi birden, çekme testi, hasar testi, ve deniz suyu difüzyonu yapılmıştır. Ayrıca numuneler 3 farklı ön yüke maruz bırakılmıştır. Yapılan testler sonucunda saf reçine ve ± 45 kompozit malzeme yaşlandırma sonrası daha düşük gerilme değerinde kopmuştur ama yarı izotrop kompozit malzemenin yaşlandırma sonrası kopma mukavemeti yaklaşık %10 artmıştır. Bunun yanında testler birlikte yapıldığında, ayrı ayrı yapılmasına oranla daha erken hasarlara sebep olmuştur.

C. Suresh Kumar ve arkadaşları[26] farklı periyotlarda deniz suyu ortamına maruz kalmış cam epoksi kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini yapay sinir ağlarını kullanarak araştırmışlardır. Tek yönlü 300 GSM E-cam fiberler, LY556 epoksi reçinesi ve HY 951 sertleştirici kullanılarak, 1 atm basınç altında vakumlu torbalama yöntemi ile kompozit malzeme üretilmiştir. Kurlenme işlemi 8 saat oda sıcaklığında ve 2 saat 100 °C'de gerçekleşmiştir. Kompozit malzeme 16 katmanlı ve 0 derece oryantasyonda 3.4 mm kalınlığında üretilmiştir. Üretilen plakadan numuneler eğilme testi için ASTM D790 standardına göre 120 mm uzunluğunda ve 20 mm genişliğinde olacak şekilde su jeti yardımıyla kesilmiştir. Üretilen numuneler 4, 5, 6 ve 7 ay süreyle deniz suyunda bekletilmiştir. Süresi dolan numuneler deniz suyundan çıkarılmış ve 3 nokta eğilme testi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak deniz suyunda bekletme süresi arttıkça nihai eğilme dayanımının azaldığı görülmüştür.

A. Zafar ve arkadaşları[27] uzun süreli nemin karbon epoksi kompozit malzemeler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada deniz suyu ortamı ile demineralize su ortamı karşılaştırılmıştır. Kompozit malzeme plaka halinde üretilip daha sonra numuneler kesilmemiştir. Burada her bir numune kemik şeklindeki silikon kalıplarda uygun boyutlarda üretilmiştir. Üretimde HM35 yüksek mukavemetli karbon fiberler, epoksi ve IPDA sertleştirici kullanılmıştır. Numuneler 60 mm uzunluğunda ve 10 mm genişliğinde ortaya doğru daralan kemik şeklinde üretilmiştir. Aynı zamanda sade epoksiden de numune üretilmiştir. Kürlenme 45 °C'de 100 dk. bekleme, 90 °C'de 200 dk. bekleme ve daha sonra oda sıcaklığına inmesi beklenerek 300 dakikada gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler ASTM D1141 standardına göre hazırlanan deniz suyunda ve demineralize suda 12 günden 300 güne kadar bekletilmiştir. Numunelerin yüzdece ağırlık artışı belli zamanlarda ölçülmüştür. Deniz suyunda bekletilen numuneler ASTM D638 standardına göre (boyutlar hariç) oda sıcaklığında 1 mm/dk çekme hızında çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonunda bütün numuneler için nem absorpsiyon eğrisi Fickian eğrisiyle benzer özelliği taşımıştır. Kompozit malzeme numunesinin denge nem içeriği ve difüzyon katsayısı saf epoksi numunesine göre daha fazla bulunmuştur. Aynı zamanda demineralize suya daldırılan numuneler için denge nem içeriği değerleri deniz suyuna daldırılan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Saf epoksiden üretilen numune, deniz suyundan, demineralize suya göre daha çok etkilenmiştir ve deniz suyu numunenin kopma dayanımını daha fazla oranda düşürmüştür.

T. D'Antino ve arkadaşları[28] polimer takviyeli cam kompozit malzeme takviyeli çubukların performansına farklı çevre koşullarının etkisini araştırmışlardır. Bu araştırma için literatürden farklı çevre koşullarına maruz bırakılmış polimer takviyeli cam kompozit malzeme takviyeli çubuklara ait 356 tane çekme testi sonucunu karşılaştırmışlardır. Numunelerde termoplastik, ürethan katkılı vinilester, katkısız vinilester, polyester, modifiye edilmiş polyester, epoksi vinilester, polyester ve vinilester karışımı ve polietilen tereftalat matrisler kullanılmıştır. Numunelerde hacimce fiber oranı %45 ila %84.2 arasında ve çubukların çapları 6 mm ila 19.5 mm arasında değişmektedir. Numunelerin maruz bırakıldığı çevre şartları ise sıcak kuru ve nemli hava, farklı pH değerlerine sahip alkali ortamlar,

farklı konsantrasyonlara sahip tuz solüsyonları ve damıtılmış ve normal su ortamlarından oluşmaktadır. Şartlandırılmış numunenin çekme dayanımının, koşulsuz numunenin çekme dayanımına bölünmesiyle bir oran bulunmuş ve karşılaştırmalarda bu oran kullanılmıştır. Çalışmada herhangi bir ortama maruz kalan numunenin çekme test sonuçları, ilgili numunelerin çekme test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan deney sonuçlarının tamamına yakınında çekme dayanımında düşüş gerçekleşmiştir. Bazı karşılaştırmalarda bu oran %70'lere kadar çıkmıştır. Sonuç olarak çalışmada bahsi geçen bütün parametrelerin her birinin ayrı ayrı çekme dayanımı üzerinde negatif etkilerinin olduğunu bulmuşlardır.

Amelie Boisseau ve Catherine Peyrac[29] yaptıkları çalışmada denizcilik sektöründe kullanılan kompozit malzeme çeşitlerinin, uzun süre deniz suyu etkisinde bırakıldıktan sonra statik ve dinamik yükler altındaki dayanımlarını incelemişlerdir. Üretim yöntemleri, fiber ve matris malzemeleri, fiber oryantasyonları birbirinden farklı olan 3 farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. Birinci kompozit malzeme tek yönlü cam fiberden, epoksi reçineden, ± 45 derece oryantasyonunda ve infüzyon yöntemiyle, ikinci kompozit malzeme yarı tek yönlü örgülü karbon fiberden, epoksi reçineden, 90° - 0° derece 10° - 90° derece oryantasyonunda ve prepreg yöntemiyle, üçüncü kompozit malzeme ise tek yönlü cam fiberden, epoksili polyester reçineden, ± 45 derece oryantasyonunda, reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen üç kompozit malzemede yaklaşık 8 mm kalınlığındadır. Üretilen plakalardan 3 nokta eğilme deneyi için ISO 14125 standardına göre, tabakalar arası kayma dayanımı testi için ISO 14130 standardına göre ve eğilme yorulma deneyi için 160 mm uzunluğunda ve 20 mm genişliğinde numuneler kesilmiştir. Hazırlanan numuneler ASTM D1141 standardına göre hazırlanan 50°C sıcaklığındaki deniz suyunda 8 ay süre boyunca bekletilmiştir. Yapılan statik deneylerde karbondan yapılan kompozit malzeme hariç diğer iki kompozitte yaşlandırma sonrası statik mukavemet değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Karbondan yapılan kompozit malzeme de yaşlandırma sonrası yapılan eğilme testinde dayanım artmıştır. Hasar, yorulma deneyinde biraz farklılık gösterse de birinci ve üçüncü kompozit malzemelerin statik ve yorulma

deneylerinde yakın sonuçlar çıkmıştır. İkinci kompozit malzeme, yorulma ve statik deneylerinde en iyi özelliklere sahiptir.

H. W. Wang ve arkadaşları[30] tek yönlü fiber takviyeli kompozit malzemelerin elastisite modülüne, fiber oryantasyonlarının nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. Teorik, numerik ve deneysel çalışmalar ile elastisite modülünün, fiber oryantasyonun değişmesine karşı nasıl değiştiğini gözlemlemişlerdir. Teorik olarak polimer takviyeli cam fiber kompozitin elastik katılık matrisi, 0 dereceden 90 dereceye kadar fiber oryantasyon açısının bir fonksiyonu olarak hesaplanmış ve oryantasyon değişiminin elastisite modülüne etkisi bulunmuştur. Numerik olarak ABAQUS CAE programı yardımıyla 3 farklı oryantasyonda, 15 derece, 45 derece ve 75 derece, model oluşturulup, oryantasyon elastisite modülü ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Deneysel olarak, PPG 2002 tek yönlü cam fiberlerden, RIM 135 reçineden ve RIM/H 134/137 sertleştiriciden, 4 katmanlı, 0 derece, 15 derece, 30 derece, 45 derece, 60 derece, 75 derece ve 90 derece oryantasyonlarında vakum yöntemiyle kompozit malzemeler üretilmiştir. Kurlenme 70 °C'de 10 saatte gerçekleşmiştir. Üretilen plakalardan, üçer adet 10 mm uzunluğunda ve 10 mm genişliğinde numuneler kesilmiştir. Bu numunelerin her birinin deneyi yapılarak fiber oryantasyonu ile elastisite modülü arasındaki ilişki deneysel olarak bulunmuştur. Buna göre en düşük elastisite modülü 45 derece oryantasyonda ve en yüksek elastisite modülü ise 0 derece oryantasyonunda çıkmıştır. Diğer oryantasyon derecelerinde ise elastisite modülü 0 dereceden 45 dereceye kadar azalmakta ve 45 dereceden 90 dereceye kadar artmaktadır. Numerik ve teorik çalışmalarda da en yüksek elastisite modülü 0 derece oryantasyona sahip kompozitte ama en düşük elastisite modülü 60 derece oryantasyona sahip kompozit malzemede çıkmıştır.

Seyyedvahid Mortazavian ve Ali Fatemi[31], fiber oryantasyonu ve anizotropinin, kısa fiber takviyeli polimer kompozitlerin çekme dayanımı ve elastisite modülüne etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için iki farklı kompozit malzeme üretmişlerdir. İki kompozit malzemede de fiber olarak S-cam fiber kullanılmış fakat matris olarak birisinde polyamid-6 ve kauçuk diğesinde ise polibütlen tereftalat kullanılmıştır. Kompozit malzemeler 200 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde dikdörtgen

plakalar halinde üretilmiştir. Numuneler sırasıyla 0 derece, 18 derece, 45 derece ve 90 derece oryantasyonunda kesilmiştir. Numuneler 91.2 mm uzunluğunda, 20 mm genişliğinde ama kemik şeklinde ve orta kısmı 10 mm genişliğinde hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler önce 120 °C'de 6 saat, daha sonra 80 °C'de 6 saat bekletilerek nemden arındırılmıştır. Bu işlemden sonra sıvı nitrojen soğutma sistemi ve elektronik ısıtma sistemleri sayesinde, -40 °C , 23 °C , 85 °C ve 125 °C sıcaklıklarda çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri aynı zamanda 0.1, 1, 10, 100 ve 1000 mm/dk hızlarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucu elastisite modülü daima en yüksek değerine 0 derece oryantasyonda ulaşmıştır. Ortamın sıcak ya da soğuk olması veya matris malzemesinin farklı olması, elastisite modülünün 0 derece oryantasyonda maksimum olmasını değiştirmemiştir. Ayrıca üretilen ve deneyi yapılan kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme dayanımı -40 °C de çekilen 0 derece oryantasyona sahip S-cam fiberden, polyamid-6 ve kauçuk reçineden imal edilen kompozitte meydana gelmiştir.

S. Ekşi ve K. Genel[32], tek yönlü ya da örgülü; cam, karbon veya aramid epoksi takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında düz örgülü karbon(200 gr/m²), twill örgülü cam(280 gr/m²), twill örgülü aramid(170 gr/m²), tek yönlü cam(300 gr/m²) ve tek yönlü karbon fiber(350 gr/m²) olmak üzere 5 farklı malzeme ve MGS L285 epoksi reçine, HGS L285 sertleştirici kullanmışlardır. Bu malzemelerden 7 farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Bunlar 0 derece oryantasyona sahip örgülü cam, örgülü aramid, örgülü karbon, tek yönlü cam ve tek yönlü karbon, 90 derece oryantasyona sahip tek yönlü cam ve tek yönlü karbon kompozit numunelerdir. Kürlleme işlemi 75 °C'de ve 24 saatte gerçekleştirilmiştir. Numuneler, çekme testleri için ASTM D3039 standardına göre, basma testleri için ASTM D3410 standardına göre ve kayma testleri için ASTM D3518 standardına göre hazırlanmıştır. Yapılan testler sonucunda epoksi takviyeli cam fiber kompozitle karşılaştırıldığında, epoksi takviyeli karbon fiber kompozit malzeme; elastisite modülü, kayma ve basma dayanımları açısından daha iyi değerlere sahiptir. 0 derece oryantasyona sahip epoksi takviyeli karbon fiber kompozit, 90 derece oryantasyona sahip epoksi takviyeli karbon kompozite göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Örgülü tip fiberlerden üretilen kompozitlerde ise mekanik özellikler bakımından yani

çekme dayanımı, elastisite modülü, kayma dayanımı ve basma dayanımı göz önüne alındığında epoksi takviyeli aramid kompozit hem epoksi takviyeli camdan hem de epoksi takviyeli karbon kompozitten daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir.

Mehmet Emin Deniz ve arkadaşları[33] darbe yüklerine maruz kalan cam epoksi kompozitlerden üretilen boruların yorulma ömürlerine tesir eden çevresel etkileri araştırmışlardır. E-cam fiberlerden CNC kontrollü filament sarma makinesi yardımıyla dört adet cam fiber takviyeli kompozit boru üretmişlerdir. Matris malzemesi olarak, EPR 828 El epoksi ile Eph 875 sertleştiriciyi karıştırmışlardır. Kompozit boru 3 katman şeklinde ve ± 55 derece oryantasyonda üretilmiş olup uzunluğu 400 mm, iç çap değeri 100 mm ve cidar kalınlığı 1.75 mm'dir. Üretilen kompozit boruların biri hariç diğerleri sırasıyla 3 ay, 6 ay ve 9 ay %3.5 tuz konsantrasyonuna sahip yapay deniz suyunda bekletilmiştir. Tuz seviyesinin sabit kalması ve buharlaşmanın önlenmesi için kapalı bir kapta muhafaza edilmiş ayrıca belli zaman aralıklarıyla yapay deniz suyu karıştırılmıştır. Hazırlanan numunelere darbe testi ve yorulma testi uygulanmış, ardından hasar tespiti elektron mikroskopuyla yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, kısa deniz suyu daldırma zamanından sonra, üretimden kaynaklanan artık gerilmelerin deniz suyunun absorpsiyonu tarafından azaltıldığı belirtilmiştir. Bu sebepten dolayı deniz suyuna maruz kalmış kompozit boru numuneler, kuru kompozit boru numunesine göre daha elastik davranış göstermektedir. Ayrıca deniz suyunda kalma süresiyle orantılı bir şekilde matrisin hasarı ve matris fiber ayrılması artmaktadır. Bu yükler ve deniz suyu etkisi beraber düşünüldüğünde, darbe yükü almamış numunenin, darbe yükü almış numuneden daha fazla yorulma ömrü olduğunu bulmuşlardır.

M. Tarfaoui ve arkadaşları[34], fiber oryantasyonunun, yüksek hızda basma yüküne maruz kalmış tabakalı polimer kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Çalışmalarında, 2400 Tex E cam fiberler, EPOLAM reçine ve EPOLAM 2020 sertleştirici kullanılarak, 500 mm uzunluğunda ve 500 mm genişliğinde, 40 katmanlı 0 derece, 20 katmanlı ± 20 derece, 20 katmanlı ± 30 derece, 20 katmanlı ± 45 derece, 20 katmanlı ± 60 derece, 20 katmanlı ± 70 derece ve 40 katmanlı 90 derece oryantasyonlarında kare kompozit plakalar üretmişlerdir. Bu plakalardan 13mm uzunluğunda ve 13 mm genişliğinde

numuneler kesilmiştir. Hazırlanan numuneler statik olarak düzlem dışı basmaya ve dinamik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucu fiber oryantasyonunun ve deney hızının basma dinamik yüklemesi altındaki cam epoksi kompozit malzemesine etkileri belirlenmiştir. Bütün numunelerin basma gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ve hasar modları fiber oryantasyonlarına bağlı olarak çıkartılmıştır. Bu eğrilere göre, elastisite modülü, maksimum hasar gerilmesi, maksimum gerilmedeki birim şekil değiştirme ve maksimum birim şekil değiştirme değerlerinin hepsinin fiber oryantasyonuna ve deney hızına bağlı olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca deney hızının arttırılmasının hasar modunun değişmesine yol açtığını belirtmişlerdir.

L. A. Carlsson ve arkadaşları[35], polimer matrisli kompozit bir malzemenin deneysel olarak mekanik özelliklerinin nasıl bulunacağını hakkında bir çalışma yapmışlardır.

Prashanth Banakar ve arkadaşları[36], fiber oryantasyonunun ve katman kalınlığının, katmanlı polimer kompozit malzemelerin çekme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kompozit malzemeler, örgülü cam fiber, YD128 epoksi reçine ve HY140 sertleştirici kullanılarak, 6 ve 9 katmanlı, ± 30 derece, ± 45 derece ve ± 90 derece oryantasyonda olacak şekilde elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Kürlenme oda sıcaklığında 48 saatte gerçekleşmiş ve numuneler çekme testi için ASTM D3039 standardına göre kesilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonunda, katman sayısının artmasıyla çekme dayanımının ve elasisite modülünün düştüğünü ancak uzamanın ve akma noktasındaki yükün arttığını bulmuşlardır. Ayrıca 30 derece oryantasyona sahip kompozit malzemenin en iyi çekme dayanımına ve en çok uzamaya, 90 derece oryantasyona sahip kompozit malzemenin en fazla kopma gerilmesine, en yüksek elastisite modülüne ve en düşük uzamaya sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 1.1'de literatürde yapılan çalışmalar sınıflandırılarak sunulmuştur.

Tablo 1. 1 Literatür araştırması

KAYNAK	MALZEME	MATRİS	ORYANTASYON	ÜRETİM YÖNTEMİ	TEST	ORTAM	SÜRE
[1]	Grafit	Polimer			Darbe	Okyanus Deniz Suyu	4 ay 6 ay
[2]	Karbon	Epoksi	[0/90] _{8w}	Elle Yatırma	Çekme	-	-
[3]	Karbon	Epoksi		Vakum İnfüzyon	3 Nokta Eğilme	Deniz Suyu	1 ay
[4]	Karbon	Epoksi	[0] ₈ , [0] ₁₆ , [+45/-45/0/90] _{ws}	Otoklav, RTM, Vakum İnfüzyon	Yarı Statik Çekme	Deniz Suyu 24, 40, 60, 80 °C	7500 saat
[5]	E-cam	Epoksi	[0] _{8w}	Otoklav	3 Nokta Eğilme, Çekme, Yorulma	Yapay Deniz Suyu 30, 50, 80 °C	8 ay
[6]	Cam	Epoksi	[0] ₄ , [0] ₅ , [0/+45/0/- 45] ₅	Vakum İnfüzyon	Çekme, Kayma, Yorulma	Deniz Suyu Deionize Su 4, 25, 40, 60, 80 °C	8 ay
[7]	S-cam	Epoksi		RTM	4 Nokta Eğilme	Yapay Deniz Suyu Deionize Su 0, 25, 80 °C	451 saat
[8]	Cam	Epoksi, Poliüretan	[0] (6mm)	Pultrüzyon	Çekme	Deniz Suyu 25, 65 °C	3, 6, 12 ay
[9]	Cam	Vinilester	[0] ₂ , [90] ₂ , [0] ₆ , [90] ₆	Vakum İnfüzyon	Basma, Çekme	Yapay Deniz Suyu 0, 20, 40 °C	1000 saat

Tablo 1.1 Literatür araştırması devamı

KAYNAK	MALZEME	MATRİS	ORYANTASYON	ÜRETİM YÖNTEMİ	TEST	ORTAM	SÜRE
[10]	Cam	Epoksi	[0] (4, 6, 10 mm)	Elle Yatırma	Çekme, Darbe , 3 Nokta Eğilme,	Deniz Suyu	8, 16, 24 saat
[11]	E-cam	Polimer	[0] _w	Elle Yatırma	Çekme, Kayma	Deniz Suyu 55, 60 °C	2, 4, 6, 8, 10, 12 ay
[12]	Cam, Karbon	Epoksi	[0] _w		Çekme, Basma, Kayma	Yapay Deniz Suyu, Tuzlu Su Püskürtme	140 gün
[13]	Cam	Epoksi	[0] _{8w}	Vakum	Çekme	Yapay Deniz Suyu	0, 1, 2 ay
[14]	E-cam	Polyester	[0] ₇	Elle Yatırma	Çekme, 3 Nokta Eğilme	Damıtılmış Su, Deniz Suyu	290 gün
[15]	Karbon	Plastik	[45], [-45]	Vakum İnfüzyon	Çekme, 3 Nokta Eğilme	Yapay Deniz Suyu	240 saat
[16]	E-cam, Grafite	Epoksi	[0] ₄ , [0] ₆ , [0] ₆		Ağırlık Ölçümü	Yapay Deniz Suyu, Damıtılmış Su, Musluk Suyu, 50 °C	15 hafta
[17]	Karbon, Cam	Polyester, Vinilester	[0] _{4w}	Elle Yatırma	3 Nokta Eğilme	Deniz Suyu	250 gün
[18]	E-cam, Grafite	Epoksi	[0 _c /90 _g] _s , [90 _c /0 _g] _s		Enine Çekme	Yapay Deniz Suyu	5, 8 ay

Tablo 1.1 Literatür araştırması devamı

KAYNAK	MALZEME	MATRİS	ORYANTASYON	ÜRETİM YÖNTEMİ	TEST	ORTAM	SÜRE
[19]	E-cam, Karbon	Polifenilen Sülfid	$[0]_w$, $[0/90]_w$, $[0/90/0]_w$, $[0/45/-45/90]_w$ ($w=1,2,3,4$)	Termal Hidrolik Pres	Çekme	-	-
[20]	E-cam	Vinilester	$[0]_w$		Çekme, Kayma	Deiyonize Su, Deniz Suyu, Yapay Deniz Suyu	0, 1, 3, 6, 9, 12 ay
[21]	E-cam	Polyester, Epoksi	$[0]_w$	Elle Yatırma	3 Nokta Eğilme (2, 50 mm/dk)	Deniz Suyu 50, 100 °C	30 dk 30 dk
[22]	Cam	Plastik			Yorulma	Deniz Suyu 17, 25 ,30 °C	30, 90 gün
[23]	Cam	Polyester, Vinilester	$[0]$ (4 mm)	Vakum İnfüzyon	Yarı Statik, 3 Nokta Eğilme	Yapay Deniz Suyu	4, 8, 12, 20 hafta
[24]	Cam	Polipropilen	-	Vakum	Darbe	-	-
[25]	Karbon	Epoksi	$[+45]_4$, $[0/90]_2$, $[+45/+45]$	Otoklav	Çekme	Deniz Suyu	3 farklı zaman
[26]	Cam	Epoksi	$[0]_{16}$	Vakum Torbası	Eğilme	Deniz Suyu	4, 5, 6, 7 ay

Tablo 1.1 Literatür araştırması devamı

KAYNAK	MALZEME	MATRİS	ORYANTASYON	ÜRETİM YÖNTEMİ	TEST	ORTAM	SÜRE
[27]	Karbon	Epoksi	[0]	Elle Yatırma	Çekme	Deniz Suyu, Demineralize Su	12-300 gün
[28]	Cam	Vinilester, Epoksi, Polyester	-	-	Çekme	Deniz Suyu, Alkali Su	30-750 gün
[29]	Cam, Karbon	Epoksi	[+45/-45], [0/90]	RTM	3 Nokta Eğilme, Yorulma	Deniz Suyu 50 °C	8 ay
[30]	Cam	Polimer	[0] ₄ , [15] ₄ , [30] ₄ , [45] ₄ , [60] ₄ , [75] ₄ , [90] ₄ ,	Vakum İnfüzyon	Çekme	-	-
[31]	S-cam	Poliyamid	[0], [18], [45], [90]	RTM	Çekme (0.1, 1, 10, 100, 1000 mm/dk)		6, 12 saat
[32]	Cam, Karbon, Aramid	Epoksi	[0] _{wg} , [0] _{wa} , [0] _{wc} , [90] _g , [90] _c , [0] _g , [0] _c	Elle Yatırma	Çekme, Basma, Kayma	-	-
[33]	Cam	Epoksi	[+55] ₃	Filament Sarma	Darbe, Yorulma	Yapay Deniz Suyu	3, 6, 9 ay
[34]	E-cam	Epoksi	[0] ₄₀ , [+20] ₂₀ , [+30] ₂₀ , [+45] ₂₀ , [+60] ₂₀ , [+70] ₂₀ , [90] ₄₀	Vakum İnfüzyon	Basma	-	-

Tablo 1.1 Literatür araştırması devamı

KAYNAK	MALZEME	MATRİS	ORYANTASYON	ÜRETİM YÖNTEMİ	TEST	ORTAM	SÜRE
[35]	Cam	Polimer	-	-	Çekme, Eğilme	-	-
[36]	Cam	Epoksi	[+30] _{6w} , [+45] _{6w} , [+90] _{6w} , [+30] _{9w} , [+45] _{9w} , [+90] _{9w}	Elle Yatırma	Çekme	-	-

Kompozit malzemeler gemi endüstrisinde farklı alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ama deniz endüstrisi koşullarından dolayı bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemelerin çevresel etkiler ve değişik parametreler altında incelenmesi gereklidir. Kompozit malzemelerin mukavemeti oryantasyon, kalınlık, kullanılan matris malzemesi, katman sayısı, fiber cinsi gibi farklı parametrelere göre değişiklik göstermektedir[31], [36]. Çevresel etmenler sıcaklık ve nem olarak değerlendirilmektedir. Kompozit malzemelerin mukavemeti ortam sıcaklığı açısından incelendiğinde, sıcaklığın artması hem yaşlanmayı hızlandırmış, hem de çekme gerilmesini düşürmüştür[6], [21]. Ancak ortam sıcaklığının kompozit malzemelerin elastisite modülüne etkisi düşüktür. Öte yandan nemlilik etkisi , deniz suyu , musluk suyu, deiyonize su ve damıtılmış su olmak üzere çeşitli ortamlarda incelenmiştir[20], [28]. Bu ortamlar arasında mukavemete en çok etki eden deiyonize su ve damıtılmış su olmuştur[7], [14], [37]. Ancak ortamların hepsi çekme dayanımını düşürmüş ve kopma şekil değiştirmesini artırmıştır [3], [5], [11], [13]. Fiber türlerine göre incelendiğinde, sulu ortamda karbon malzeme, cam malzemeye göre daha stabildir[17]. Ortamların elastisite modülüne önemli bir etkisi yoktur [4], [8]. Deniz ortamında hareketli deniz suyu, spreyleme ve statik deniz suyu kıyaslandığında mukavemet değerlerinde önemli bir değişim olmamaktadır[12], [15]. Kompozit malzemeye, yük sulu ortamda uygulandığında, kuru ortamda ıslanmış kompozit malzemeye uygulanmasına göre daha fazla hasar oluşturmuştur[25]. Aslında ortam kompozit malzemelerin fiberlerinden ziyade matrisine etki etmektedir[9]. Matrisler kıyaslandığında; epoksi matrisin, vinilester ve polyester matrislere göre sulu ortamlarda mukavemete en az etki ettiği görülmüştür. Epoksi matrisler deniz ortamı için daha uygundur [22]. Kompozit malzemelerin sulu ortamdaki mukavemetini bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmek daha gerçekçi olacaktır. Bu sebeple bu çalışmada kompozit malzemeler farklı parametreler ışığında araştırılmıştır. Farklı oryantasyonda ve farklı kalınlıkta üretilmiş kompozit malzemeler farklı sürelerde deniz suyunda bekletilerek farklı hızlarda test edilmiştir. Böylece deniz ortamında bekletilen kompozit malzemenin her bir parametresinin çekme mukavemetine etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Endüstride ihtiyaç duyulan malzemeler ve özellikleri, teknolojinin ilerleme hızıyla doğru orantılı olarak sürekli değişmekte, bu amaçla yeni malzeme türleri imal edilmekte ve kullanım alanları da devamlı yenilenmektedir. Günümüzde bir çok alanda fazlaca gündemde olan bu malzeme, metal malzemelere nazaran yüksek mukavemet, hafiflik, korozyona karşı dayanıklılık ve iyi şekillenebilme gibi özelliklerden dolayı kuşkusuz kompozit malzemelerdir. Son yıllarda kompozit malzemelerin, uçak, otomobil sanayi ve gemilerde yaygın olarak kullanılmasından dolayı, kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir. Birçok uygulamada kompozit malzeme temel ya da yardımcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeden üretilen son ürünün, kullanıldığı ortamdaki koşullar son derece önemlidir. Örneğin bir uzay mekiğinde kullanılan kompozit malzemenin yüksek sıcaklık değişimine dayanması beklenir. Aynı şekilde denizde veya okyanusta kullanılacak kompozit malzemeden yapılan bir yatın, deniz suyuna karşı mukavim olması istenir. Deniz suyunun kompozit malzemelerin mukavemeti üzerindeki etkisi azımsanmayacak kadar kritiktir. Bu etkinin belirlenmesi, üretilen gemi ya da benzeri deniz aracının mavi sularda güvenli bir şekilde yol alması demektir.

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, diğer malzemelerden farklı olarak bir çok parametreye bağlıdır. Bu parametreler; kullanılan ve matrisi oluşturan malzeme, kullanılan fiberin cinsi ve doğrultusu, katman sayısı, oryantasyon açısı, maruz kaldıkları ortamın özellikleri gibi birbirinden bağımsız oldukları kadar aslında birbirlerini etkilemektedirler. Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak birkaç parametre değiştirilerek, kompozit malzemelerin mukavemet özellikleri incelenmiştir. Bu parametreler birbirlerini de etkilediklerinden, bu çalışmada bir çok parametre göz önüne alınarak deneysel olarak bu malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu sayede bütüncül bir bakış açısı ile daha aydınlatıcı sonuçlar elde edileceği düşünülmüştür.

Bu amaçla bu çalışmada farklı parametrelerde oluşturulmuş epoksi örgülü kompozitlerin malzemelerin çekme dayanımları incelenmiştir. Vakum infüzyon yöntemi ile cam ve karbon takviyeli kompozit plakalar farklı oryantasyonlarda ve

farklı katman sayılarında üretilmiştir. Üretilen plakalardan ASTM D3039 standardına göre numuneler kesilmiştir. Numuneler 4 ve 8 katmanlı olmak üzere, $[0/90]_w$, $[45/-45]_w$, $[30/-60]_w$ ve $[15/-75]_w$ oryantasyonlarına sahiptir. Numuneler kuru ortam, 1 ay, 3 ay ve 6 ay deniz suyunda şartlandırılan olmak üzere 4 farklı ortama maruz bırakılmıştır. Hata payının minimize edilmesi için her bir numuneden üçer adet hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin çekme testleri farklı çekme hızlarında (2 mm/dk ve 10 mm/dk) yapılmıştır. Testler üçer defa tekrarlanmıştır. Deney tasarımı tam faktöriyel olarak dizayn edilmiş ve toplam 288 adet çekme testi gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri yapılırken yüksek hızlı kamera ile görüntüler kaydedilmiş ve hasar tespitleri yapılmıştır. Böylece kuru ve deniz suyu ortamında bekletilmiş numunelerin farklı oryantasyon ve katman sayıları dikkate alınarak mukavemet davranışları değerlendirilmiş ve istatistiksel yöntemle analiz edilmiştir.

1.3 Hipotez

Kompozit malzemelerin mukavemeti çok fazla parametreye bağlı olarak değişmektedir. Bunlardan başlıcalarına oryantasyon, kalınlık, kullanılan matris malzemesi, katman sayısı, fiber cinsi, ortam ekisini örnek olarak verebiliriz. Bu parametreler kompozit malzemenin mukavemetini etkilediği gibi, beraber incelendiğinde birbirlerini de etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda bu parametreler kapsamlı bir bakış açısıyla incelenmemiştir. Bu amaçla, bu çalışmada, oryantasyonun, tabaka sayısının, çekme testi hızının ve ortam etkisinin zamana bağlı olarak örgülü cam fiber takviyeli epoksi (GFRE) ve örgülü karbon fiber takviyeli epoksi (CFRE) kompozit malzemelerinin çekme dayanımı üzerindeki etkisi ve bu parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri kapsamlı bir perspektiften deneysel olarak araştırılmıştır.

2

KOMPOZİT MALZEMELERİN MEKANİK DAVRANIŞLARI

2.1 Kompozit Malzemeler

Yapısal olarak, makroskobik seviyede birbiri içinde çözünmeyen iki ya da daha fazla bileşenin birleştirilmesiyle oluşan malzeme kompozit olarak adlandırılır. Kompozitler takviye elemanı ve bu elemanları bir arada tutan matris yapısından oluşurlar. Takviye elemanları fiber, parçacık, pul ya da nano yapıda olabilir. Matris malzemesi genellikle kesintisiz bütün halindedir. Çelikle güçlendirilmiş beton, karbon fiberle güçlendirilmiş epoksi kompozit sistemlere örnektir.

2.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları

Metaller ve bileşimleri günümüzün gelişmiş teknolojisinin ihtiyaçlarını her zaman karşılayamaz. Kompozit malzemeler bu ihtiyaçları karşılamak için biçilmiş kaftandır. Kompozit malzemelerde birkaç malzeme birleştirilerek istenilen performansa ulaşılabilir. Örnek olarak, uzay endüstrisinde kullanılan sistemler uzayda değişken sıcaklık değerlerine maruz kalmaktadır ve bu sıcaklıklarda kullanılan malzemenin stabil kalması beklenmektedir. Kompozit malzemelerin metal malzemelere göre ısı genleşme katsayıları genel olarak düşük olduğundan bu istenilen özellik sağlanmış olur. Ayrıca kompozitler geleneksel malzemelere göre artırılmış dayanım, rijitlik, yorulma, darbe mukavemeti, ısı iletkenliği ve korozyona dayanıklılıkta daha iyi değerlere sahiptirler[38], [39].

Birçok durumda kompozitleri kullanmak daha verimlidir. Örneğin, rekabetin yüksek olduğu uçak endüstrisinde ağırlık çok önemlidir. Bir uçak ne kadar hafif olursa, onu uçurmak için kullanılacak yakıt miktarı da o kadar düşer. Tabi ağırlığı düşürmenin yanında güvenli bir yolculuğun gerçekleştirilmesi için rijitlik ve dayanıklılığın belirli bir değerin üzerinde olması gerekir. Bu yüzden ağırlığı düşük ama aynı mukavemet değerlerine sahip malzemeler ön plana çıkmaktadır. Kompozit malzeme daha masraflı olsa da montajda birleştirilecek parçanın

azalması ve yakıt masrafından tasarruf bu malzemeyi daha karlı bir yatırım haline getirir. Ticari bir uçakta 0.453 kg kütle azalması yılda 1360 litre yakıttan tasarruf etmeyi sağlar; yakıt masrafı ticari bir uçağın işletme giderinin %25'ini oluşturur[40].

$$\text{Özgöl dayanım} = \frac{\sigma_{ult}}{\rho} \quad (2.1)$$

Özgöl dayanım değeri kompozitlerde çok yüksektir. Tek yönlü kompozit karbon/epoksinin dayanımı çelikle aynı olabilir ama özgöl dayancı çeliğin üç katıdır. Yani sabit eksenel yükü kaldırmak için tasarlanmış basit bir çubuk örneği düşündüğümüzde, karbon/epoksinin çubuk kesiti çelik malzeme ile aynı olacaktır ama kütlesi çelik çubuğun üçte biri olacaktır. Kütledeki bu düşüş malzeme ve enerji fiyatlarına düşüş olarak yansıyacaktır[40].

2.1.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozitlerin üretimi, ham maddeden ürün sürecine kadar, metal malzemelere göre daha karmaşıktır. Bu durum kompozit malzemelerin üretiminin daha pahalı olmasına sebep olmaktadır. İmalat ve işleme tekniklerindeki gelişmeler gelecekte bu fiyatları düşürecektir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi metal yapılara göre daha komplekstir. Metallerin aksine, kompozit malzemeler ortotropik yapıdadır, yani özellikleri her yönde farklıdır. Böylelikle, daha fazla mekanik parametrenin elde edilmesini gerektirmektedirler. Örneğin, cam/epoksi kompozitinin tek bir levhasının mekanik analizi için dokuz rijitlik ve dayanım sabiti gerekir. Çelik gibi monolitik malzemelerde ise sadece dört rijitlik ve dayanım sabiti gerekir. Yapıdaki bu mekanik parametreler, deneysel ve hesaplamalı olarak yapılan yapısal analizin daha zor ve karmaşık olmasına yol açar[41], [42].

Metallerin hasar durumunda onarılması genellikle kolaydır ama kompozitlerin hasar durumunda onarılması ciddi tecrübe ve bilgi isteyen çok karmaşık bir süreçtir. Bazen kompozit yapılarıdaki hatalar ve çatlaklar malzemenin yapısı homojen olmadığından gözden kaçabilir.

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri takviye elemanları bakımından dört grupta inceleyebiliriz. Bunlar; parçacık, fiber, pul ve nano takviyeli kompozitlerdir. Parçacık takviyeli kompozitler, matrislere batırılmış alaşım ve seramik gibi parçacıklardan oluşur. Genellikle izotropik yapıdadırlar çünkü parçacıklar rastgele eklenir. Parçacık takviyeli kompozitler gelişmiş dayanım, yüksek çalışma sıcaklığı, oksitlenme direnci gibi avantajlara sahiptirler. Tipik örnekler kauçuk içinde alüminyum parçacıkları, alüminyum içinde silikon karbür parçacıkları ve beton yapımı için çakıl, çimento ve kum karışımıdır[38], [42].

Pul takviyeli kompozitler, matrislerin düz takviyelerinden oluşur. Tipik pul malzemeleri cam, mika, alüminyum ve gümüşdür. Pul takviyeli kompozitler, yüksek düzlem dışı eğilme direnci, yüksek dayanım ve düşük maliyet gibi avantajlar sağlar. Bununla birlikte, pullar kolaylıkla yönlendirilemez ve sadece sınırlı sayıda malzeme kullanılabilir[38], [42].

Fiber takviyeli kompozitler, kısa veya uzun fiberlerle güçlendirilmiş matrislerden oluşur. Lifler genellikle anizotropik yapıdadır. Matrislerin örnekleri, epoksi gibi reçineler, alüminyum gibi metaller ve kalsiyum-alümino silikat gibi seramiklerdir. Sürekli fiber matris kompozitin temel birimleri tek yönlü veya örgülü fiber katmanlardır. Katmanlar, çok yönlü bir kompozit yapı oluşturmak için çeşitli açılarda birbirinin üzerine istiflenir[38], [42].

Nano malzeme takviyeli kompozitler, diğer takviye şekillerine göre çok daha küçük olan nanometre ölçeğinde malzemelerden oluşur. Nanokompozit olarak sınıflandırılmak için kabul edilen aralık, bileşenlerden birinin boyutunun 100 nm'den az olmasıdır. Bu ölçekte, malzemelerin özellikleri dökme malzemedan farklıdır. Genel olarak, gelişmiş kompozit materyaller mikro ölçekte bileşenlere sahiptir. Nanometre ölçeğinde malzemelere sahip olarak, elde edilen kompozit malzemenin özelliklerinin çoğu, mikro ölçekte olanlardan daha iyidir[38], [42].

2.2.1 Polimer Matrisli Kompozitler

En yaygın gelişmiş kompozitler olan polimer matrisli kompozitler, ince çaplı liflerle(cam, karbon vs.) takviye edilmiş bir polimer (epoksi, polyester, ürethan)

matris içerirler. Bu kompozitlerin sık kullanılma nedenleri düşük maliyet, yüksek mukavemet ve basit üretim yöntemlerinden kaynaklanır. Örneğin karbon/epoksi kompozitler ile çelikler aynı ağırlığı taşıyacak bir sistemde kullanılacaksa kullanılan çelik miktarı kullanılan polimer matrisli kompozit malzemenin miktarından beş kat daha fazla olacaktır[41].

2.2.1.1 Fiberler ve Matrisler

En yaygın kullanılan fiberler cam, grafit ve aramiddir. Bu fiberlerin, dökme çeliğin ve alüminyumun mekanik özellikleri Tablo 2.1'de karşılaştırılmak için verilmiştir.

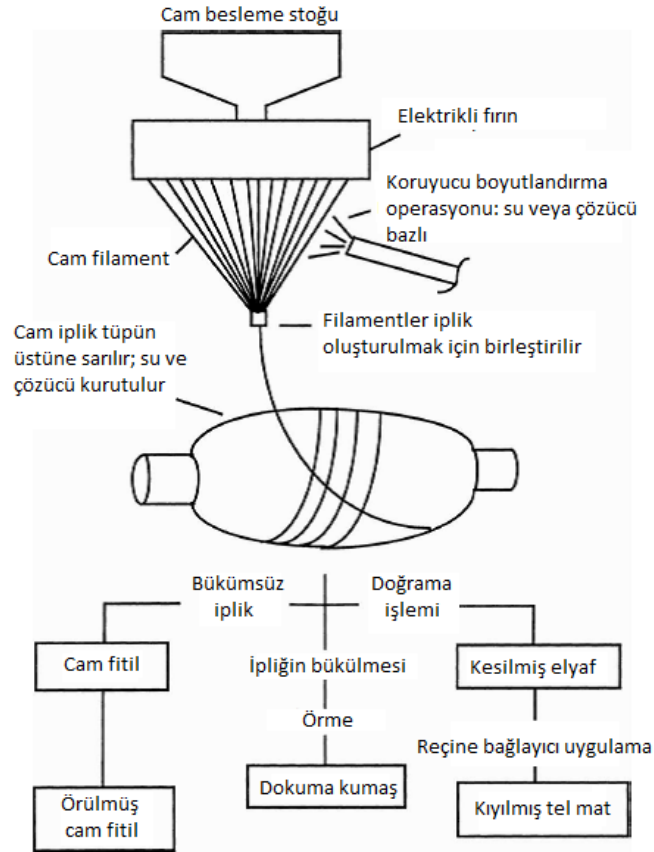
Tablo 2. 1 Kullanılan fiberlerin mekanik özellikleri[40]

Özellik	Birimler	Grafit	Aramid	Cam	Çelik	Alüminyum
Özgül ağırlık	—	1.8	1.4	2.5	7.8	2.6
Elastisite modülü	GPa	230	124	85	206.8	68.95
Çekme dayanımı	MPa	2067	1379	1550	648.1	275.8
Isıl genleşme katsayısı	µm/m/°C	-1.3	-5	5	11.7	23

Cam, polimer matris kompozitlerinde kullanılan en yaygın fiberdir. Avantajları arasında yüksek dayanım, düşük maliyet, yüksek kimyasal direnç ve iyi yalıtım özellikleri sayılabilir. Dezavantajları arasında düşük elastik modül, polimerlere zayıf yapışma, yüksek özgül ağırlık, aşınmaya karşı hassasiyet (gerilme dayanımını azaltır) ve düşük yorulma mukavemeti bulunur[40], [42].

Ana tipler, E-cam ve S-camdır. E-camdaki “E” elektriksel içindir çünkü elektriksel uygulamalar için tasarlanmıştır. Artık dekorasyon ve yapısal uygulamalar gibi birçok başka amaç için kullanılmaktadır. S-camda “S”, daha yüksek silika içeriği anlamına gelir. E-cam ile karşılaştırıldığında gücünü yüksek sıcaklıklarda korur ve daha yüksek yorulma dayanımına sahiptir. Ticari olarak mevcut olan diğer tipler, depolama tankları gibi kimyasal ortamlarda kullanılan C-cam, yapısal uygulamalarda kullanılan R-cam, radomlar gibi düşük dielektrik sabitleri gerektiren uygulamalar için kullanılan D-cam ve yüzey görünümünü iyileştirmek için kullanılan A-camdır. E-CR camı ve AR camı gibi kombinasyon tipleri de mevcuttur. Bu özellik farklılıkları cam fiberlerin kimyasal birleşimindeki orandan kaynaklanmaktadır[40], [42].

Cam fiberlerin üretim şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



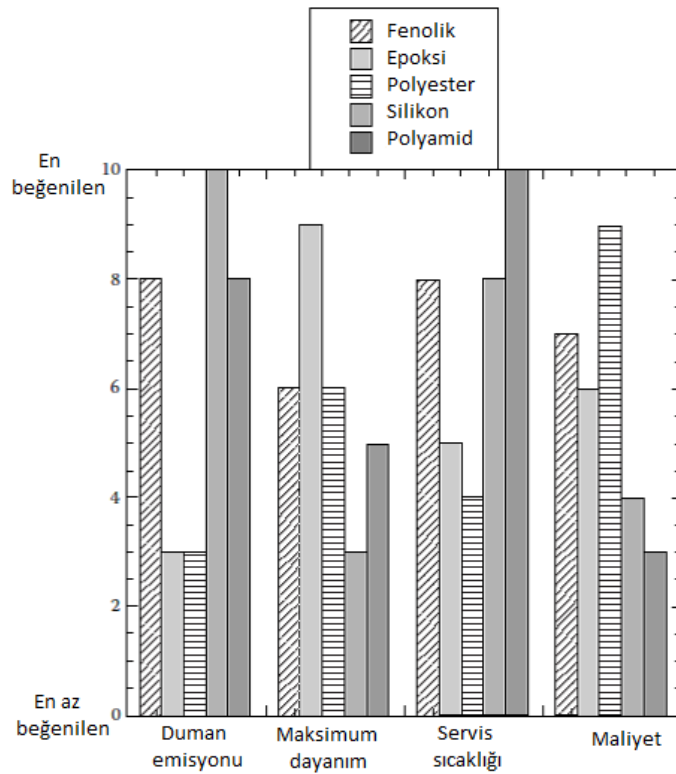
Şekil 2. 1 Cam elyaf ve mevcut cam formlarının imalatının şeması[40]

Grafit fiberler, uçak parçaları vb. gibi yüksek modül ve yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda çok yaygındır. Grafit fiberler, yüksek özgül dayanım ve modül, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek yorulma dayanımına sahiptir. Bu avantajlarının yanında, yüksek maliyet, düşük darbe direnci ve yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Grafit fiberleri genellikle üç malzemeden üretilmiştir; PAN grafit üretiminde en çok kullanılan malzemedir ve aşağıda grafit fiberlerin üretim süreci verilmiştir. Grafit ve karbonun aynı malzeme olduğu zannedilmektedir ama aynı değildir. Karbon ve grafit fiberler farklı sıcaklıklarda üretilir. Karbon fiberler %93-95 oranında karbona sahipken grafit fiberler %99 karbon oranına sahiptir[39], [40].

Bir aramid fiberi, karbon, hidrojen, oksijen ve azottan yapılan bir aromatik organik bileşiktir. Avantajları düşük yoğunluk, yüksek çekme dayanımı, düşük maliyet ve

yüksek darbe direncidir. Dezavantajları, düşük basınç özellikleri ve güneş ışığında bozulmayı içerir[41].

Polimer matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak polyesterler, fenolikler ve epoksiler kullanılır. Polyesterler düşük maliyetli ve yarı şeffaf halde olmasına karşın en fazla 77 °C servis sıcaklıkları, kırılma ve kütleme sırasında %8'e kadar büzülme gibi dezavantajlara sahiptirler. Fenolikler düşük maliyetlidir ve yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Ancak içeriğinde boşluk oranı fazladır. Epoksiler ise yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler. Metallere ve camlara iyi yapışır ama çok maliyetlidir ve işlemden kullanılması diğer matris malzemelerine göre daha zordur. Görülebileceği gibi, reçine sistemlerinin her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. Belirli bir sistemin kullanımı uygulamaya bağlıdır. Bu hususlar arasında mekanik mukavemet, maliyet, duman emisyonu, sıcaklık artışları vb. yer almaktadır. Şekil 2.2'de bu matris malzemelerinin farklı parametrelerdeki performans karşılaştırması verilmiştir[40], [41].



Şekil 2. 2 Bazı matris malzemelerinin karşılaştırılması[40]

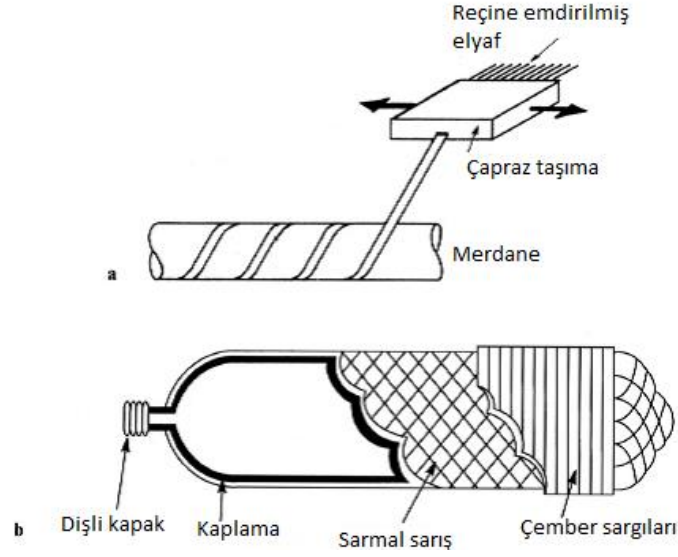
Epoksi reçineler en yaygın kullanılan reçinelerdir. Epoksit grupları içeren düşük moleküler ağırlıklı organik sıvılardır. Epoksitin kendi halkasında bir oksijen ve iki

karbon atomu olmak üzere üç üyesi vardır. Bir çok epoksi, epiklorohidrinin fenoller veya aromatik aminler ile reaksiyonu sonucu oluşur. Sertleştiriciler, plastikleştiriciler veya dolgu maddeleri epoksileri üretmek için reçine içine eklenir. Bu şekilde epoksi elde edilir. Epoksi matris malzemesinin en yaygın türüdür. Epoksi, diğer polimer matrislerden daha pahalı olmasına rağmen, en popüler matris malzemesidir. Epoksi yüksek dayanıma, liflerin iyi ıslanmasını sağlayan ve işlem sırasında liflerin yanlış hizalanmasını önleyen düşük viskozite ve düşük akış oranlarına, kürleşme sırasında düşük uçuculuğa ve epoksi ile takviyesi arasındaki bağın büyük kesme gerilmeleri alma eğilimini azaltan düşük büzülme oranlarına sahip olduğundan en yaygın matris malzemesidir[38].

2.2.1.2 Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri

Polimer matrisli kompozit üretim teknikleri, filament sarma yöntemi, otoklav, reçine transfer kalıplama ve vakum infüzyon yöntemini içerir.

Filament sarma yöntemi ıslak ve kuru olmak üzere iki yöntemle yapılır. Fiberler bir hat içi reçine banyosundan çekilerek veya prepregler bir merdane üzerine sarılıp reçine emdirilerek üretilir. Islak sarım ucuzdur ve kompozit özelliklerinin kontrol edilmesini sağlar. Kuru sarım temiz, ancak daha pahalıdır ve bu nedenle oldukça nadirdir. Ürünün istenilen özelliklerine bağlı olarak, çember, sarmal ve kutup gibi sarma modelleri geliştirilebilir. Daha sonra ürüne, ısı veya basınç uygulanarak ya da uygulanmadan kürlenir. Uygulamaya bağlı olarak, merdaneler ahşap, alüminyum, çelik, alçı veya tuzlardan yapılır. Örneğin, büyük miktarlarda açık uçlu silindir üretmek için çelik merdaneler seçilir ve düşük erime noktalı alaşımlar veya suda eriyen tuzlar kapalı uçlu silindirler için kullanılır, böylece merdane kolayca çıkarılabilir. Bu yöntem genellikle kompozit boru ve tank yapımında kullanılır[42].



Şekil 2. 3 (a) Filament sarma işlemi; (b) filamentli basınçlı kap[40]

Otoklav yöntemi genellikle prepreg katmanlarla kompozit üretilirken kullanılır. İlk olarak, teflon ile kaplanmış naylon veya selofandan yapılmış bir soyma katmanı kalıp üzerine yerleştirilir. Teflon, parçanın kolay çıkarılması için kullanılır ve soyma katmanı ile pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Gerekli sayıda prepreg, otomatik araçlarla veya elle her seferinde tek kat olarak yerleştirilir. Her katmana içindeki sıkışmış hava ve kırışıklıkları gidermek için bastırılır. Serme yeri, bir vakum contası oluşturmak için kenarlardan kapatılmıştır. Düşük boşluk içeriğinin ve yüksek kalitenin önemli olduğu yapılar için karmaşık şekillerin ve düz panellerin yapımında kullanılır. Daha sonra izleyen ısıtma ve vakum işlemi sırasında uçucu madde ve aşırı reçineden kurtulmak için boşaltma sistemi kurulur. Boşaltma sistemi birkaç boşaltma levhasından oluşur. Bunlar serme yerinin kenarlarına ve köşelerine yerleştirilmiştir. Daha sonra, vakum bağlantıları boşaltıcıların üzerine yerleştirilir ve serme yeri torbalanır. Torba yüzeyini düzeltmek için kısmi bir vakum geliştirilmiştir. Tüm montaj, ısı ve basıncın nitrojen gibi inert bir gazla uygulandığı bir otoklav içine konur. Vakum sistemi, kurlenme döngüsü sırasında uçucuları uzaklaştırmak ve parçayı kalıba uygun tutmak için işlevini sürdürmektedir. Kurlenme döngüsü 5 saatten fazla sürebilir[40], [41].



Şekil 2. 4 Polimer matris kompozitlerin işlenmesinde kullanılan otoklav[40]

Polimerik kompozit malzeme parçalarının imalat süreçleri arasında, diğer imalat tekniklerine kıyasla en iyi özelliklere sahip parçalar üreten işlem reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemidir[43]. Reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi aynı zamanda sıvı kalıplama olarak da adlandırılır. Polyester veya epoksi reçine gibi düşük viskoziteli bir reçine, düşük basınç altında, fiber katmanını içeren kapalı bir kalıp içine enjekte edilir. Reçine akışı durdurulur ve kısım sertleşmeye bırakılır. Elyaf-reçine karışımı, elyafların etrafındaki katalize edilmiş reçineyi sertleştiren yüksek sıcaklıklara maruz bırakılır ve kür olarak adlandırılan çapraz bağlayıcı bir kimyasal reaksiyonla bileşik parçayı oluşturur[44]. Kürlenme, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda yapılır.

Bir diğer polimer matrisli kompozit malzeme üretim yöntemi olan vakum infüzyon yöntemi, bu çalışmada testleri yapılan numunelerin üretim şekli olduğundan, üretim bölümünde bütün ayrıntılarıyla anlatılmıştır.

Kalıplı kompozit üretim yöntemleri kıyaslandığında reçine transfer yönteminin ana avantajları:

- i) Çok düşük boşluk içerikli yüksek lif hacimli laminatlar elde edilebilmesi,
- ii) Reçinenin muhafazası nedeniyle daha sağlıklı ve çevreci üretimler yapılabilmesi,
- iii) Üretim maliyetlerinin az olması,
- iv) Bileşenin her iki tarafının kalıplanmış bir yüzeye sahip olmasıdır.

Dezavantajları;

- i) Eşleşen kalıplar, basınçlara dayanmak için pahalıdır ve ağırdır.
- ii) Genel olarak daha küçük bileşenlerle sınırlıdır.
- iii) Yanlış işlemlerde pahalı hurda malzemeler çıkabilir.

Vakum infüzyon yöntemi gibi vakum destekli reçine infüzyon yöntemlerinin ana avantajları ise:

- i) Bileşenin sadece bir tarafı hariç kalıplanmış bir yüzeye sahip olması,
- ii) Parçanın bir vakum torbasında üretilmesi nedeniyle çok daha düşük takım maliyeti olması,
- iii) Büyük parçalar imal edilebilmesi.
- iv) Standart ıslak döşeme araçlarının işlem için değiştirilebilmesidir.

Dezavantajları:

- i) İyi performans için nispeten karmaşık bir süreç gereklidir.
- ii) Reçinelerin viskozitesi çok düşük olmalıdır[45].

Kompozitlerde plak harici üretim yapılırken bir kalıba ihtiyaç vardır. Kalıp parçanın üretimi sırasında destek görevi görür. Parçanın nasıl görünmesi gerektiğine, ne tür bir malzemenin kullanıldığına ve kaç parçanın üretileceğine bağlı olarak, özellikle belirli amaçlar için kalıp takımları imal edilir. Kompozitler için kalıp imalatı, birçok teknolojiyi içeren geniş bir alandır[46].

Kalıp, içinde veya üzerinde bir parça yapmak için bir araçtır. Bu, laminatın en az bir taraftaki kalıp gibi tam bir görünüme sahip olacağı, sadece yansıtılmış olduğu anlamına gelir. Böylece kalıp yüzeyindeki her çizik veya kusur, üretilen malzemede görünecektir. "Takım yüzeyi, üretim parçasının kalite seviyesini belirler, bu nedenle parça şekli ve yüzey kalitesi, takımdan daha iyi olamaz" [47]. Eğer kalıp mükemmel bir yüzeye sahipse, ürün de buna sahip olacaktır. Mükemmel bir yüzeye sahip olmak için bazı malzemeler daha sonra ilave olarak işlenmelidir.

Kalıbı yapmada en etkili faktörlerden birisi de maliyettir. Kalıbın fiyatı büyük bir yatırımdır. Kalıbı düşük maliyetli bir şekilde üretmek için harcanan malzeme,

işçilik ve işleme saatlerinin kullanımının optimize edilmesi gerekir. Kullanılmadan önce kalıp üzerine çok fazla son işlem yapılması gerektiğinde, büyük ek masraflara yol açabilir[48].

Kalıp malzemesi için malzeme seçerken ortaya çıkan en büyük zorluklardan ve ana hususlardan biri termal genişlemedir. Bu, mümkün olduğu kadar, kompozitin termal genişleme katsayısına yakın olmalıdır[46]. Farklı malzemeler için farklı kür teknikleri vardır. Bazıları oda sıcaklığında, diğerinde örneğin 60 °C'de ve diğerinde 500 °C'ye kadar sertleştirilebilir. Kürleme metodu, kalıbın malzeme seçimini de etkileyecektir. Özel kalıp için hangi malzemenin en iyisi olduğunu söylemek her zaman mümkün değildir[49]. Kalıp malzemesi, üzerinde üretilen kompozitten daha büyük bir genişleme oranına sahip olarak seçildiğinde, bu takımın boyutlandırılması sırasında dikkate alınmalıdır. Takım daha sonra ısınma sırasında daha fazla genişler ve sertleşme sırasında üretilen parçadan daha fazla büzülür. Her ikisi de yanlış yöntemde parçalarda çatlaklara neden olabilir[50].

Ne tür bir malzeme kullanıldığından bağımsız olarak, kalıbın bakımlarına özen gösterilmesi gerekir. Eğer kalıp üretim sonrası temizlenmezse ve yüzey pürüzlülüğüne dikkat edilmezse, ya kalıp için daha kısa kullanım ömrü ya da bitmiş parça için son işlemlerde artış gösterecektir. Kalıp özensiz bir şekilde kullanılırsa, kalıbın kapsamlı bakım ve hatta yenileme ihtiyacı meydana gelir[47].

Genel olarak kalıplarda kullanılan malzemeler; alüminyum, çelik, Invar, titanyum, seramik, tahta ve nikeldir.

Alüminyum, kompozit üretimdeki kalıplar için iyi bilinen bir malzemedir. Mükemmel bir yüzey elde etmek mümkündür ve göreceli olarak yüksek sıcaklıkta kürleme işlemlerinde kullanılabilir. Alüminyumun termal genişleme katsayısı kompozit malzemelerden daha yüksektir. Kompozit malzeme oldukça pahalıdır ve işleme maliyeti de yüksektir eğer daha iyi yüzey kalitesi istenirse bu maliyet daha da artmaktadır. Bu şartlarda kalıp malzemesi olarak alüminyum seçmek doğru olacaktır[46], [51]. Kompleks geometrili kompozit malzemelerin imalatı için kalıpların hassas olarak üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Serbest formlu yüzeylere sahip kalıpların, boyut ve form doğrulukları üzerinde; imalat

parametrelerinin ve takım yolu stratejilerinin çok büyük etkisi olduğu ilgili literatürde sunulmuştur[52].

2.2.2 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitler, adından da anlaşılacağı gibi, bir metal matrisine sahiptir. Bu tür kompozitlerdeki matrislerin örnekleri arasında alüminyum, magnezyum ve titanyum bulunur. Tipik fiberler karbon ve silisyum karbür içerir. Metaller, tasarım ihtiyaçlarını karşılamak için güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme, özelliklerinin artırılması veya azaltılması şeklinde yapılmıştır. Örneğin, metallerin elastik rijitliği ve dayanımı artırılabilir. Aynı şekilde silisyum karbür gibi fiberlerin eklenmesiyle büyük ısıl genleşme, ısı iletkenliği ve elektrik iletkenliği katsayıları düşürülebilir. Uzay mekiğı, gövde, füze kılavuz sistemleri, otomotiv sanayi gaz türbini motorları gibi farklı alanlarda kullanılırlar[40], [42].

2.2.3 Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler fiberlerle takviyelendirilmiş alümina kalsiyum, alümina silikat gibi bir seramik matrise sahiplerdir. Seramik matrisli kompozitler, metal ve polimer matrisli kompozitlerin kullanılmadığı yüksek sıcaklık alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadırlar. Tipik uygulamalar arasında, oksitleyici ve yüksek sıcaklık ortamlarında ve kesici takım parçalarında kullanılmaları sayılabilir[40], [42].

2.2.4 Karbon Matrisli Kompozitler

Bu kompozitlerde karbon matrisin içinde karbon fiberler kullanılır. Bir kompozitin karbon matrisine sahip olması, kompozitin aşamalı olarak bozulmasına ve yüksek sıcaklıklara dayanmasına, yüksek sıcaklıklarda düşük sürünmesine, düşük yoğunluğa, iyi çekme ve basınç dayanımlarına, yüksek yorulma direncine, yüksek termal iletkenlik ve yüksek sürtünme katsayısına sahip olmasını sağlar. Ancak, yüksek maliyet, düşük kayma mukavemeti ve yüksek sıcaklıklarda oksidasyonlara karşı hassasiyet gibi dezavantajları vardır. Özellikle uzay mekiğı burun konileri, uçak frenleri ve mekanik bağlantı elemanlarında kullanılmaktadır[40], [42].

2.3 Kompozit Malzemelerin Gemi Endüstrisinde Kullanımı

Günümüzde denizcilik endüstrisi gittikçe artan bir şekilde polimerik kompozitleri kullanmaktadır; örneğin; tekne, baca ve pervane gövdeleri ve güverte gövdeleri. Bu eğilim, üretim süreçlerinin zaman ve maliyetlerinin azaltılmasına ve daha iyi kalitede parçaların elde edilmesine yardımcı olmak için hesaplama modellemesinin kullanımı olarak yeni teknolojilerin aranmasını zorlamaktadır[53]. Gemilerde kullanılan sevk pervanelerinin çoğu hala bronz veya çelik olarak, metalik malzemelerden üretilmektedir. Bununla birlikte, metalik malzemenin polimerik kompozit malzeme ile değiştirilmesinin avantajları, ikincisinin daha hafif ve korozyona dirençli olmasıdır. Bir diğer önemli avantaj, kompozit pervane deformasyonunun, performansını iyileştirmek için kontrol edilebilmesidir. Bu nedenle, denizcilik uygulamaları için polimerik kompozit malzemelerin kullanımı, karmaşık geometrilere ve belirli spesifik özelliklere sahip parçalar üretmeye izin vermektedir.

Deniz yapıları denildiğinde akla; tankerler, petrol platformları, konteyner gemileri, kuru yük gemileri gibi dev yapılar gelebildiği gibi yüksek hızlı tekneler, gezinti tekneleri, yatlar gibi diğerlerine nazaran daha küçük yapılar da gelmektedir. Tabi olarak bu dev yapıların temel üretim malzemesi çelik ve birleştirme yöntemi de elbette kaynak ile birleştirme yöntemidir. Geminin boş ağırlığı (DWT) birçok durum için çok önemlidir. Bu ağırlık dizayn aşamasında ne kadar az tutulursa, yük kapasitesi, hızı o kadar artacağı gibi, işletme maliyetleri (yakıt masrafları, bakım masrafları vb.) de o denli azalacaktır. Ayrıca ticaret gemilerinden ziyade örneğin hızlı tekneler gibi hızın daha ön planda olduğu bir teknede, ağırlığın minimum olması istenir. Bu amaçla geçmişte, çeliğe göre daha hafif ve neredeyse aynı mukavemet değerine sahip yüksek mukavemetli alüminyum kullanılarak tekne imalatı yapılmıştır. Alüminyumun istenilen mukavemet değerlerini sağlayabilmesi için ısıtılma işlemi ihtiyacı duyması ve birleştirme yöntemi olarak kaynak yöntemine başvurulduğundan; kaynak yöntemi de nihayetinde bir ısıtılma işlem olduğundan, birleşme noktalarındaki istenilen mukavemet değerlerinden sapmalar yaşanmıştır. Buna rağmen yine de bu yöntemle üretim yapılmaktaydı[54]. Şekil 2.5'de alüminyumdan yapılmış bir tekne gösterilmiştir.



Şekil 2. 5 Tamamen alüminyumdan yapılmış bir tekne[55]

Ağırlığın çok önemli olduğu havacılık endüstrisinde bu yöntem kabul edilmemiş ve bu sebeble kaynaklı birleştirme yöntemi yerine başka birleştirme yöntemleri uygulanmaktadır[56]. Yapıştırıcıların kullanılmasında hava-uzay endüstrisi öncü olmuştur. Yapıştırıcılar, zamanla farklı tür teknelerde; örneğin eğlence ve dinlence amaçlı teknelerde de kullanılmaya başlanarak tekne endüstrisinde yerini hızla almaya başlamıştır. Aynı zamanda yapıştırıcılarla beraber kompozit malzemeler de tekne endüstrisinde hızla yerini almıştır. Metal ile tahtadan oluşan kompozitleri oluşturmak için yapıştırıcı kullanılmaya başlanmış ve ilk başta kabinlerde daha sonra teknenin gövdesinde kompozitler kullanılmıştır. Yakın geçmişte daha hafif ve daha mukavim, katı bir yapı oluşturarak performansta iyileştirmeler sağlanmıştır. Daha sonra bu uygulama enerji maliyetleri, işletme maliyetleri gibi giderlerin artmasından dolayı okyanus gemilerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler çelik ve alüminyumdan hafif olduğundan geminin ağırlığı azaldı ve bu yüzden yakıt başta olmak üzere birçok şeyden tasarruf edildi. Ayrıca kompozit malzemelerin hafifliği ve yüksek mukavemetinin yanı sıra, korozyon dayancının yüksek olmasından dolayı bakım masrafları ve geminin ömrü boyunca servise harcadığı zamanda azaltılmıştır[57]–[61].

13 Haziran 1992 tarihinde denize indirilen Fransa'nın La Fayette Class Firkateyn (125 m uzunluğunda 3500 ton ağırlığında) savaş gemisinin gövdesi çelikten ve yaşam mahalli kompozitten yapılmıştır. Bu gemide kompozit malzeme, taşıt gibi nesnelerin varlığını ve mesafesini saptama sistemi olan radarların emilimini

sağlayan bir malzeme olarak kullanılmış ve bu şekilde, La Fayette Sınıfı “gizli hareket” fırkateynleri olarak anılmışlardır.



Şekil 2. 6 La Fayette Fırkateyni[62]

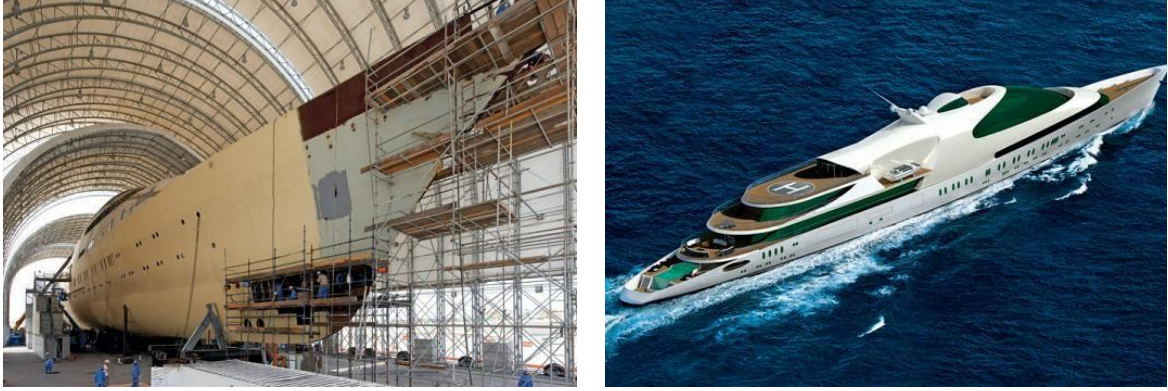
Bu uygulamadan sonra İsveç'in Visby Class Korvet (74 m uzunluğunda ve 600 ton ağırlığında) savaş gemisi tamamen kompozitten yapılmış ve 8 Haziran 2000 tarihinde denize indirilmiştir. Kompozit malzemelerin emilim sağlayarak radyo frekanslarını dağıtmasından dolayı bu gemi için de “%99 görünmez” tabiri kullanılmıştır. Bunun yanında büyük gemiler için dalga yükleri, statik ve dinamik yükler de çok büyük değerlere ulaştığı için alüminyum veya çelik gövde ile kompozitten köprüüstü(yaşam mahalli) yapılmasına başlanmıştır[63].



Şekil 2. 7 Visby Sınıfı Korvet[64]

Askeriyenin yaptığı bu kompozit veya kompozit-metal birleşimi gemilerden sonra yakın geçmişte özel bir firma olan Logistics International, orijinalleri Alman Hükümeti'nde olan iki fırkateynin(135 m ve 141 m) gövdesinin planlarını elde ederek Abu Dubai MAR tersanesinde bu iki gövdeyi gigayat gövdesine çevirmek ve

metal köprüüstü yerine tamamen kompozit köprüüstü inşa çalışmasını yapmıştır. Yapısal olarak bazı değerleri (mukavemet) sağlaması gerektiğinden bu hususla ilgili DNV'ye (Det Norsk Vents-Norveç Loydu) başvurulmuş ve Edison Kaynak enstitüsünün yaptığı bazı çalışmalardan sonra bu gemi DNV tarafından klaslama almıştır[15].



Şekil 2. 8 Abu Dubai'deki MAR Tersanesinde Yapılan Gigayat[65]

2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Terminolojisi

Bir kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşen içerir. Kompozit malzemedan yapılan bir yapı genellikle birbiri üzerine yığılmış çeşitli tabakalardan yapılan katmanlı bir yapıdır. Bu yüzden bu tür materyallerin analizi ve tasarımı, metaller gibi geleneksel malzemelerden farklıdır.

2.4.1 Malzemenin Nihai Mukavemet Değerlerinin Bulunması

Tek yönlü tabaka beş nihai mukavemet parametresine sahiptir ve bu parametreler malzemenin dört mühendislik sabitine bağlıdır. Bu parametreler,

- Boyuna çekme mukavemeti (σ_{1T})_{ult}
- Boyuna basma mukavemeti (σ_{1C})_{ult}
- Enine çekme mukavemeti (σ_{2T})_{ult}
- Enine basma mukavemeti (σ_{2C})_{ult}
- Düzlem içi kayma mukavemeti (τ_{12})_{ult} ' dir.

Bu parametreler mukavemet yaklaşımı metodu kullanılarak sırasıyla;

$$(\sigma_1^T)_{ult} = (\sigma_f)_{ult} V_f + (\varepsilon_f)_{ult} E_m (1 - V_f) \quad (2.2)$$

$$(\sigma_1^c)_{ult} = \frac{E_1 (\varepsilon_2^T)_{ult}}{\nu_{12}} \quad (2.3)$$

$$(\sigma_2^T)_{ult} = E_2 (\varepsilon_2^T)_{ult} \quad (2.4)$$

$$(\sigma_2^C)_{ult} = E_2 (\varepsilon_2^C)_{ult} \quad (2.5)$$

$$(\tau_{12})_{ult} = G_{12} (\gamma_{12})_{ult} = G_{12} \left[\frac{d}{s} \frac{G_m}{G_f} + \left(1 - \frac{d}{s} \right) \right] (\gamma_{12})_{ult} \quad (2.6)$$

olarak bulunur.

2.4.2 Termal ve Nem Katsayıların Bulunması

Termal genleşme katsayısı, birim sıcaklık başına birim uzunluktaki değişiklik olarak tanımlanır.

$$\alpha_1 = \frac{1}{E_1} (\alpha_f E_f V_f + \alpha_m E_m V_m) \quad (2.7)$$

$$\alpha_2 = (1 + \nu_f) \alpha_f V_f + (1 + \nu_m) \alpha_m V_m - \alpha_1 \nu_{12} \quad (2.8)$$

Burada α_f ve α_m , sırasıyla fiber ve matris için termal genleşme katsayılarıdır.

Polimer matrisli kompozitler de, herhangi bir parça gibi suyu emdiğinde genişler. Nem genleşme katsayısı birim nem artışında, birim uzunluk ve birim ağırlıkta meydana gelen değişiklik olarak tanımlanır.

$$\beta_1 = \frac{E_m}{E_1} \frac{\rho_c}{\rho_m} \beta_m \quad (2.9)$$

$$\beta_2 = (1 + \nu_m) \frac{\rho_c}{\rho_m} \beta_m - \beta_1 \nu_{12} \quad (2.10)$$

2.4.3 Kompozit Tabakanın(Katman) Yapısal Davranışları

2.4.3.1 Farklı Malzeme Tipleri İçin Hooke Yasası

Lineer elastik olmayan ve izotropik olmayan bir genel malzeme için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi bilinen Hooke Yasası'ndan daha karmaşıktır. Kompozit malzeme için doğrusal ve elastik davranış kabul edilebilir ama izotropik olduğu varsayımı genellikle kabul edilemez. Bu yüzden gerilme ve birim şekil değiştirme ile ilgili sabitler normalden daha fazladır. Ortogonal kartezyen koordinat sisteminde üç boyutlu bir cismin en genel gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi aşağıdaki gibi verilmiştir[40], [66].

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

6x6'lık C matrisi, katılık matrisi olarak adlandırılır ve 36 sabit içerir. En genel gerilme-birim şekil değiştirme matrisinin inversi aşağıda verilmiştir. Buradaki 6x6'lık S matrisi uygunluk matrisi olarak adlandırılır ve katılık matrisinde olduğu gibi 36 sabit içerir[40], [66].

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{23} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Genel hali verilen Hooke Yasası'nın farklı malzeme tipleri için, bazı eşitliklerden dolayı sabit sayısında değişiklikler olmaktadır. Bu sabit sayıları anizotropik malzemede 21, monoklinik malzemede 13, ortotropik malzemede 9, enine izotropik malzemede 5 ve izotropik malzemede 2'dir. Yukarıdaki gerilme-birim şekil değiştirme matrisini izotropik bir malzeme için düşündüğümüzde uygunluk matrisinin doğrudan mühendislik sabitlerine bağlı olduğunu buluruz.

2.4.3.2 İki Boyutlu Açılı Tabaka için Hooke Yasası

Genellikle, bir kompozit malzeme, enine yönde düşük mukavemet özellikleri nedeniyle sadece tek yönlü katmanlardan oluşmaz. Bu nedenle, çoğu kompozit malzemede, bazı katmanlar belli bir açıda yerleştirilir. Bu nedenle, bir açılı tabaka için genel gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

1-2 koordinat sistemindeki eksenler, yerel eksenler veya malzeme eksenleri olarak adlandırılır. Yön 1 fiberlere paraleldir ve yön 2 fiberlere diktir. x-y koordinat sistemindeki eksenler global eksenler veya eksen dışı olarak adlandırılır. İki eksen arasındaki açı, θ ile gösterilir. 1-2 koordinat sistemindeki gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinden yararlanılarak x-y koordinat sistemi için oluşturulur. Bir açılı tabakadaki global ve yerel gerilmeler, katman açısı θ ile ilişkilidir[40], [66].

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1}[Q][R][T][R]^{-1} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Elde edilen denklemin sağ tarafındaki ilk beş matrisin çarpımına tek bir matris yazılır. Bu matrise indirgenmiş katılık matrisi olarak yeni isim verilir.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{16} \\ \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{26} \\ \bar{S}_{16} & \bar{S}_{26} & \bar{S}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

2.4.3.3 Açılı Tabakalardaki Higrotermal Gerilmeler

Bir açılı tabaka için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi aşağıdaki şekli alır.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{16} \\ \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{26} \\ \bar{S}_{16} & \bar{S}_{26} & \bar{S}_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_x^T \\ \varepsilon_y^T \\ \gamma_{xy}^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_x^C \\ \varepsilon_y^C \\ \gamma_{xy}^C \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^T \\ \varepsilon_y^T \\ \gamma_{xy}^T \end{bmatrix} = \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^C \\ \varepsilon_y^C \\ \gamma_{xy}^C \end{bmatrix} = \Delta C \begin{bmatrix} \beta_x \\ \beta_y \\ \beta_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

α_x , α_y ve α_{xy} terimleri, bir açılı tabaka için termal genişleme katsayılarıdır ve dönüşüm matrisi yardımıyla 1 ve 2 doğrultusundaki değerlerinden bulunur.

$$\begin{bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_{xy} / 2 \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Benzer şekilde, β_x , β_y ve β_{xy} , bir açılı tabaka için nem genişleme katsayılarıdır ve dönüşüm matrisi yardımıyla 1 ve 2 doğrultusundaki değerlerinden bulunur.

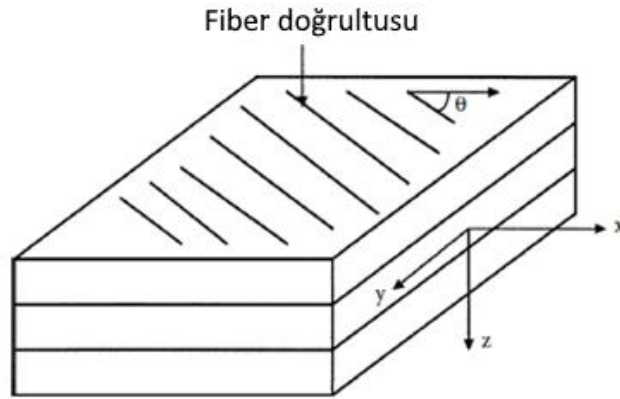
$$\begin{bmatrix} \beta_x \\ \beta_y \\ \beta_{xy} / 2 \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Daha sonra bulunan birim şekil değiştirmeler 2.16 nolu denklemde yerine konularak gerilme değerleri bulunur.

2.4.4 Tabakalı Kompozit Malzemenin Yapısal Davranışları

2.4.4.1 Tabaka Kodlaması

Bir kompozit malzeme birçok tekli tabakanın birbirlerine bağlanması ile oluşur. Her bir tabaka, konumu, materyali ve yönelim açısı ile tanımlanabilir. Şekil 2.9'da bir tabakanın şekli gösterilmiştir.



Şekil 2. 9 Bir tabakanın şekli[40]

Aşağıdaki Tablo 2.2'de örnek tabaka dizilimleri ve bu dizilimlerin gösterimleri verilmiştir.

Tablo 2. 2 Tabaka kodlaması gösterimi

Gösterim	$[0/-45/90/60/30]$	$[0/-45/90_2/60/0]$	$[0/-45/60]_s$	$[0/-45/60^-]$
Dizilim	0 -45 90 60 30	0 -45 90 90 60 0	0 -45 60 60 -45 0	0 -45 60 60 -45 0

3.1 Deney Tasarımı

Verilerden anlamlı sonuçların çıkarılması istenildiğinde deneysel tasarıma istatistiksel yaklaşım gereklidir. Deneylerin istatistiksel tasarımı, deneyi planlama sürecine atıfta bulunur, böylece istatistiksel yöntemlerle analiz edilebilecek uygun veriler toplanır ve sonuçların geçerli ve objektif olması sağlanır. Problem, deneysel hatalara maruz kalan verileri içerdiğinde, istatistiksel yöntem, analize yönelik tek objektif yaklaşımdır[67].

Deney tasarımının üç temel ilkesi, tekrarlama, rassallık ve bloklamadır. Tekrarlama, temel denemenin tekrarı anlamına gelir ve iki önemli özelliğe sahiptir. İlk olarak, deneysel hatanın tahmin edilmesini sağlar. Bu hata tahmini, verilerdeki gözlemlenen farklılıkların gerçekten de kesin olarak farklı olup olmadığını belirlemek için temel bir ölçüm birimi haline gelir. İkinci olarak, deneydeki bir faktörün etkisini tahmin etmede önemli rol oynar[67].

Rassallık ile, hem deneysel materyalin belirlenmesinin hem de deney denemelerinin gerçekleştirileceği sıranın rastgele belirlendiği kastedilmektedir. İstatistiksel yöntemler, gözlemlerin veya hataların bağımsız olarak rasgele değişkenler dağıtmasını gerektirir. Rassallık genellikle bu varsayımı geçerli kılar. Deneyi doğru bir şekilde rastgele hale getirerek, mevcut olabilecek dış etkenlerin etkilerini en aza indirir[67].

Bloklama, ilgi faktörleri arasında yapılan karşılaştırmaların doğruluğunu geliştirmek için kullanılan bir tasarım tekniğidir. Bir deneyde, deneysel malzeme bütününden farklılık gösteren; ancak birbiri içinde homojen dağılmış verilere sahip olan deneysel malzeme parçası, bir blok oluşturur. Yani, deneysel cevabı etkileyebilecek ancak doğrudan ilgilenmediğimiz faktörlerdir[67].

3.1.1 Deney Tasarımı Aşamaları

Bir deneyi tasarlama ve analiz etme konusunda istatistiksel yaklaşımı kullanmak için, veriler aşağıdaki sırayla analiz edilebilir.

a. Problemin ifadesi

Deneyin amaçları ile ilgili tüm fikirlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bir deney gerçekleşeceği zaman, amaç ile ilgili tüm detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Problemin iyi belirlenmesi ve anlaşılması, problemin çözümü için çok önemli bir role sahiptir[67], [68].

b. Faktörlerin, seviyelerinin ve aralıklarının seçimi

Deneyde değiştirilecek faktörler seçilerek, bu faktörlerin değişim aralıkları ve denemelerde hangi seviyelerde tutulacağı belirlenmelidir. Bu faktörlerin istenilen seviyelerde nasıl kontrol altında tutulacağı ve nasıl ölçülmeleri gerektiği de üzerinde düşünülmesi gerekli konulardan biridir. Bunun için de süreç bilgisi gerekli olacaktır. Deneyin amacı faktör inceleme olduğu zaman, faktör seviyelerini az sayıda tutmakta fayda vardır. Genelde iki seviye seçme, bu tür çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Aralık seçme de önemli bir konudur. Faktör incelemede ilgilenilen aralığın geniş seçilmesi yine verimli sonuçlar çıkaracaktır. Daha sonra, hangi değişkenlerin önemli olduğunu ve hangi seviyelerde iyi sonuçlar verdiğini öğrendikçe, ilgilenilen aralık daha çok daraltılabilir[68].

c. Çıktı değişkenlerinin (kalite karakteristiklerinin) seçimi

Ölçülen değerlerin ortalama veya standart sapması (veya her ikisi) çıktı değişkeni olarak tanımlanır. Çıktı değişkeninin seçilmesinde dikkat edilecek nokta, üzerinde çalışılan süreç hakkında gerekli bilgiyi sağlamasıdır. Ölçme yeteneği (veya ölçüm hatası) da önemli bir faktördür. Ölçme kabiliyeti yetersiz ise, deney tarafından sadece nispeten büyük faktör etkileri tespit edilir. Ölçme kabiliyetinin zayıf olduğu bazı durumlarda, tekrarlanan ölçümlerin ortalaması kullanılabilir. Bazen tasarlanan deneyler, ölçüm sistemlerinin performansını incelemek ve geliştirmek için kullanılır[67], [68].

d. Deney tasarımının seçimi

Deney tasarımı; örnek sayısının seçilmesi, her bir deney koşulunun deneme sırasının ve tekrarlanma sayısının belirlenmesi, bloklama veya başka kısıtlayıcı şartların bulunup bulunmadığının saptanması gibi kriterlerden oluşur. Tasarımı seçerken, deneysel hedefleri akılda tutmak önemlidir. Birçok mühendislik deneyinde, hangi faktörlerin çıktıda farklılık oluşturduğu ve ne derecede etkili oldukları bu çerçevede incelenir. Sonuç olarak, hangi faktörlerin bu farklılığa yol açtığı ve çıktı üzerinde ne derece etkili olduğu bulunmak istenmektedir[67], [68].

e. Deneylerin uygulanması (rastgele sırada)

Deneyi gerçekleştirirken, her şeyin plana göre yapıldığından emin olmak için süreci dikkatli bir şekilde izlemek çok önemlidir. Bu aşamada ön planlamanın başarısı için çok önemli olan deneysel prosedürdeki hatalar, genellikle deneysel geçerliliği bozar[67], [68].

f. İstatistiksel analiz

Verileri analiz etmek için istatistiksel yöntemler kullanılmalıdır. Böylece sonuçların objektif olması sağlanabilir. İstatistiksel yöntemler, sadece sonuçların güvenilirliği ve geçerliliği ile ilgili yönergeler sağlarlar. Uygun şekilde uygulanan istatistiksel yöntemler, herhangi bir şeyin deneysel olarak kanıtlanmasına izin vermez. Sadece olası bir hatayı bir sonuçta ölçmemize ya da bir ifadeye bir güven düzeyini eklememize izin verir. İstatistiksel yöntemlerin birincil avantajı, karar verme sürecine objektiflik katmalarıdır[67].

g. Sonuç ve tavsiyeler

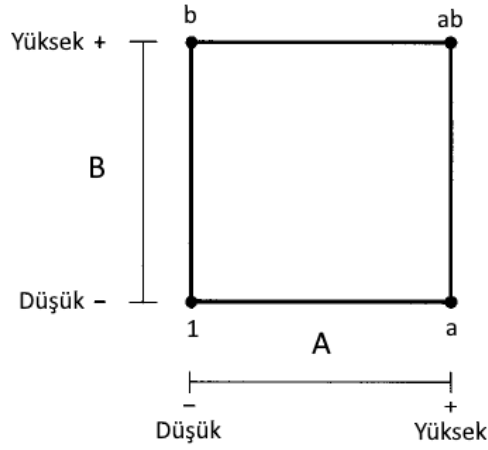
Veriler analiz edildikten sonra, deney sahibi sonuçlara göre çıkarımlar yapmalı ve bir eylem planı önermelidir. Bu aşamada, özellikle sonuçların başkalarına sunulmasında grafiksel yöntemlerden sıkça faydalanılmaktadır. Deneme sonuçlarının doğrulanması için izleme ve onay testleri de yapılmalıdır[67], [68].

3.1.2 Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

En az iki veya daha fazla parametre ve bu parametrelere ait en az iki veya daha fazla seviyelerin bulunduğu deneylerde, seviyelerin birbirleri ile çarpımları ile oluşan kombinasyondur[69]. Bilimsel olarak deney tasarımı 3 temel prensibe sahiptir. Bunlar deney tekrarı, deneyin sırasının rastgele yapılması ve deneyin bloklanmasıdır[70]. Tam faktöriyel deney tasarımında rassal tam bloklamalar kullanılır. Bloklamanın temel amacı bilinmeyen ve kontrol edilemeyen hataların deneyi etkilemesinin önlemesidir. Deney esnasında oluşabilecek hatalardan ve sapmalardan sakınmak için iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar deneylerin rastgele yapılması ve geriye dönük detayların incelenerek gerekli düzeltmelerin yapılmasıdır[71]. Deney sonrasında varyasyon analizinin yapılabilmesi için deneyin en az üç kez tekrar edilmesi gerekmektedir. Böylece istatistiksel olarak yorumlanabilir. Tam faktöriyel deneylerin analizinde ANOVA varyasyon analizi ve regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile bir parametrenin deney üzerindeki etkisi hesaplanabilir. Varyasyon ve regresyon analizi teknikleri işlem sırasınca bir değişiklik yapmadan farklılıkların kaynağının belirlenmesine yardımcı olur[72].

3.1.3 Faktör Etkilerinin Hesaplanması

A ve B faktörlerinin her birinin 2 seviyeden oluştuğu 2^2 ($2^1 \times 2^1$) faktörlü bir tasarımda analitik hesaplamaların nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Ayrıca aşağıdaki şekilde; 1, a, b ve ab sembolleri 2^2 faktörlü tasarım kombinasyonunda n defa yapılan deney tekrarlarını temsil etmektedir. Şekil 3.1'de 2^2 faktörlü tasarım kombinasyonları görülmektedir.



Şekil 3. 1 2^2 Faktörlü Tasarım Kombinasyonları[67]

A ve B faktörlerinin ana etkileri, diğer faktöre göre olan düşük ve yüksek etkilerinin ortalamasına eşittir. Yani A'nın ana etkisi; A faktörünün, B faktörünün düşük seviyesindeki ve yüksek seviyesindeki etkisinin ortalamasına eşittir.

$$A = \frac{1}{2n} \{ [ab - b] + [a - (1)] \} = \frac{1}{2n} [ab + a - b - (1)] \quad (3.1)$$

Benzer şekilde B faktörünün ana etkisi; B faktörünün, A faktörünün düşük seviyesindeki ve yüksek seviyesindeki etkisinin ortalamasına eşittir.

$$B = \frac{1}{2n} \{ [ab - a] + [b - (1)] \} = \frac{1}{2n} [ab + b - a - (1)] \quad (3.2)$$

AB etkileşim etkisi ise A faktörünün, B faktörünün yüksek seviyesinde ve düşük seviyesindeki ortalamaları farkına eşittir. Benzer şekilde AB'yi; B faktörünün, A faktörünün yüksek seviyesinde ve düşük seviyesindeki ortalamaları farkından da bulunabilir.

$$AB = \frac{1}{2n} \{ [ab - b] - [a - (1)] \} = \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b] \quad (3.3)$$

A, B ana etkilerinin ve AB etkileşim etkisinin genel kareler toplamı değerleri aşağıda verilmiştir.

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n} \quad (3.4)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n} \quad (3.5)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (3.6)$$

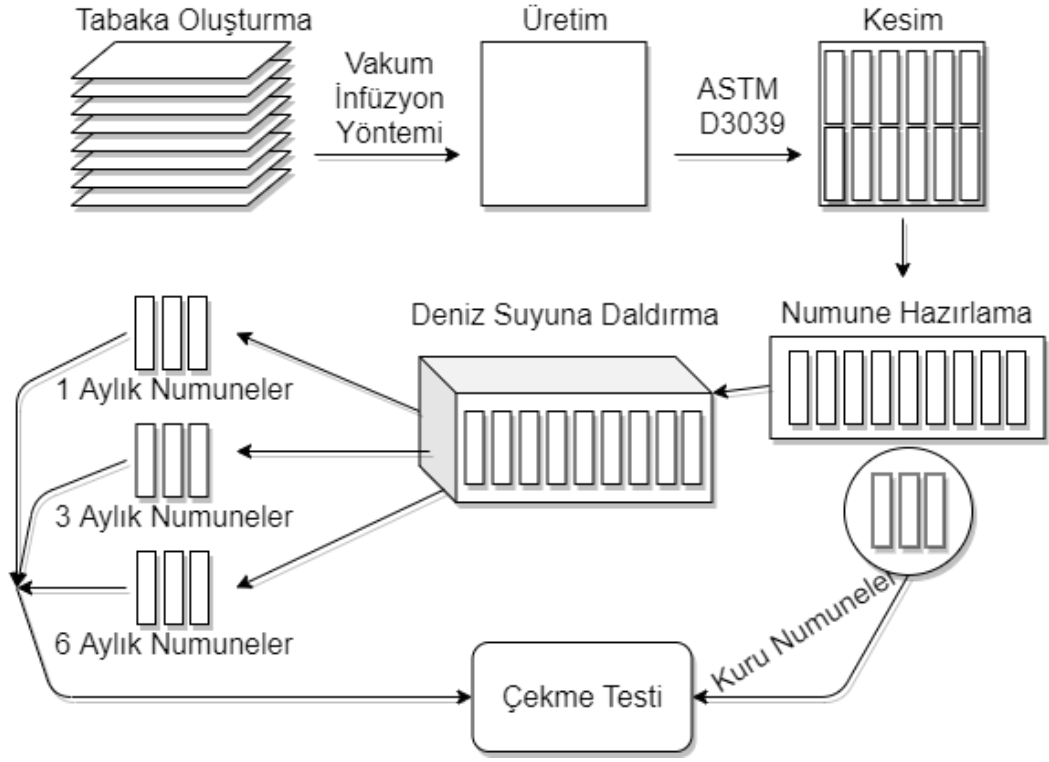
Bulunan eşitlikler sayesinde, deney prosedürü ANOVA tablosunda özetlenir. Tablo 3.1'de 2 faktörlü deney için ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 3. 1 2 faktörlü deney için ANOVA tablosu[67]

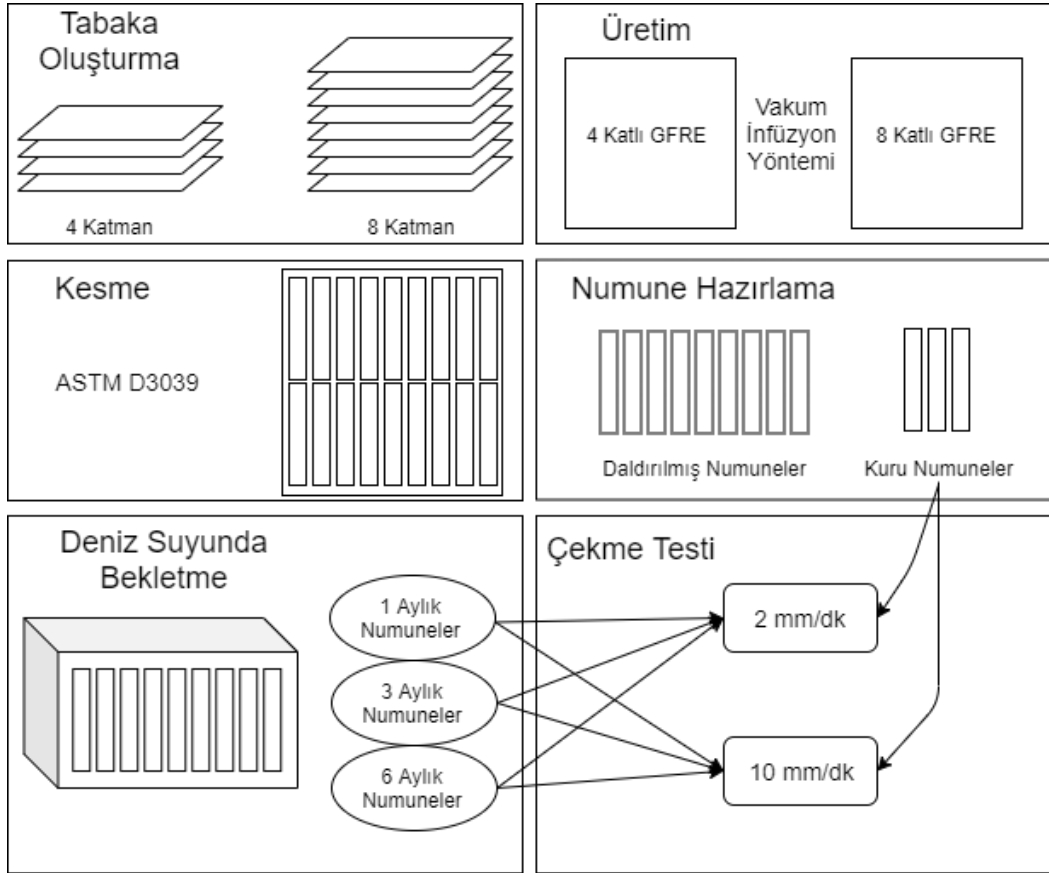
Değişkenlik Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Dereceleri	Kareler Ortalaması	F ₀ değeri
A Faktörleri	SS _A	a-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B Faktörleri	SS _B	b-1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Etkileşim	SS _{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Hata	SS _E	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Toplam	SS _T	abn-1		

3.2 Kompozit Üretim Aşamaları ve Malzemeler

Üretimden çekme testi evresine kadar geçen süreçte, cam ve karbon fiber takviyeli epoksi numuneler için yapılan işlemler sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Burada gösterilen işlemlerin detayları sonraki bölümlerde anlatılmıştır. Bu süreç şemaları sayesinde yapılan işlemlerin tamamı özet halinde resmedilmiştir.



Şekil 3. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi numuneler için süreç şeması



Şekil 3. 3 Cam fiber takviyeli epoksi numuneler için süreç şeması

3.2.1 Altyapı ve Malzemeler

Bu çalışma için deneylerde kullanılacak numunelerin üretimi amacıyla yeni bir laboratuvar oluşturulmuştur. Bu kapsamda sıcaklık kontrollü vakum infüzyon makinesi ve deneylerde kullanılacak sarf malzemeler temin edilmiştir.



Şekil 3. 4 Üretimlerin yapıldığı kompozit laboratuvarı



Şekil 3. 5 Sıcaklık kontrollü vakum infüzyon makinesi

Şekil 3.4 ve 3.5'te kompozit laboratuvarı ve sıcaklık kontrollü vakum infüzyon makinesi, Şekil 3.6 ve 3.7'de üretimde kullanılan ilgili teçhizatlara yer verilmiştir.



Şekil 3. 6 Sarf malzemeler

Şekil 3.7’de ise epoksi Araldite LY 1564, sertleştirici Aradur 3487 ve hassas terazi gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 Epoksi, sertleştirici ve hassas terazi

3.2.2 Kompozit Malzemelerin Üretimi

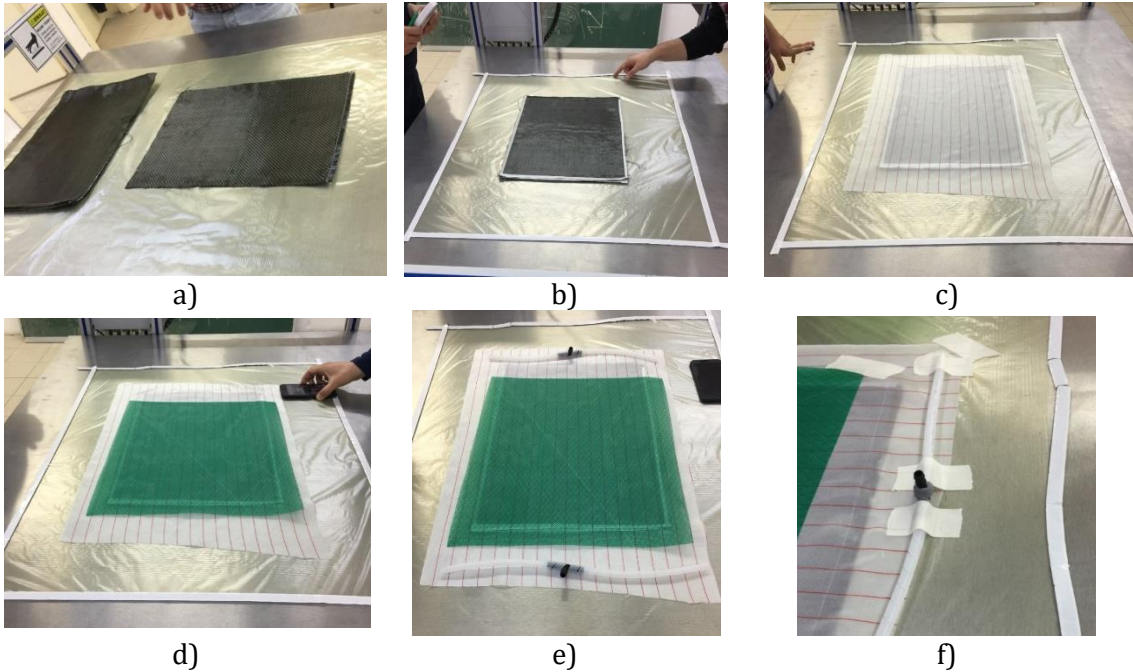
Deney numunelerinin hazırlanması için ilk olarak vakum infüzyon yöntemi ile 650x650 mm boyutlarında 8’er adet cam fiber takviyeli epoksi (GFRE) ve karbon fiber takviyeli epoksi (CFRE) kompozit plakalar üretilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi 1 atm basınç altında gerçekleştirilmiştir. Karbon ve cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakalarının üretiminde aynı reçine ve sertleştirici kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin matrisini oluşturan epoksi için; reçine olarak Araldite LY 1564 ve sertleştirici olarak Aradur 3487 kullanılmıştır. Reçine ve sertleştiricinin kütlece karışım oranı 100/34’ tür. Her bir plakanın kürlenme işlemi yaklaşık 7 saat sürmüştür. Kürlenme için önce 1 saat 100 °C’de bekletilmiş ve sonra geri kalan

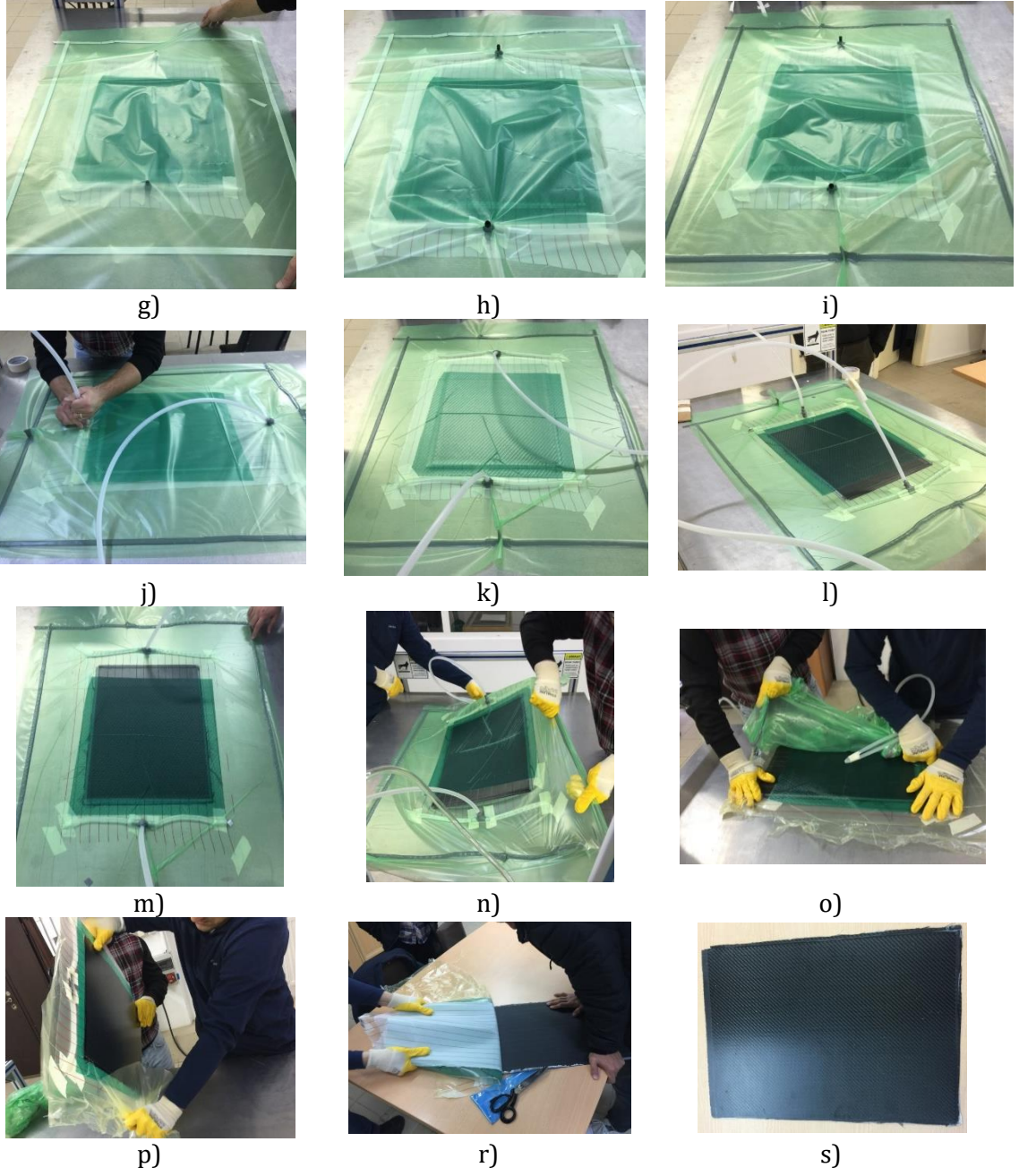
sürede oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakalar üretilirken özelliği düz örgülü 300 g/m² olan cam fiber kumaşlar, karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakalar üretilirken de özelliği düz örgülü 245 g/m² olan karbon fiber kumaşlar kullanılmıştır. Kompozit plakalar, boyutları 650 x 650 mm ve 4 tanesi 4 katlı, 4 tanesi de 8 katlı olacak şekilde, hem cam hem de karbon olmak üzere toplam 16 adet üretilmiştir. 16 adet kompozit plakanın yarısı karbon fiber takviyeli epoksi ve diğer yarısı da cam fiber takviyeli epoksidir. Şekil 3.9'da örnek bir plakanın üretim süreçleri anlatılmıştır. Kullanılan epoksinin, sertleştiricinin, cam ve karbon fiberin mekanik özellikleri EK-A' da verilmiştir.

3.2.2.1 Üretim Aşamaları

Üretime ilk olarak sıcaklık kontrollü vakum infüzyon makinesinin yüzeyine release film serilerek başlanır. Daha sonra bu film üzerine hangi oryantasyonda kompozit malzeme üretilmek isteniyorsa ilgili kumaşlar dizilir(Şekil 3.8a). Aralarında iplik vs. kalmamasına özen gösterilir. Bu işlemden sonra release film kenarlarından makinenin yüzeyine sızdırmazlık bandı ile yapıştırılır(Şekil 3.8b). Bir kenarda 2 tane boşluk bırakılmak suretiyle makinenin yüzeyinde de vakum oluşturulur. Kumaşların üzerini fazlaca örtecek şekilde soyma kumaşı yerleştirilir(Şekil 3.8c). Soyma kumaşının üzerine epoksi ve sertleştiricinin kolayca ilerleyebilmesi için akış(infüzyon) filesi konulur(Şekil 3.8d). Akış filesi yerleştirildikten sonra epoksi ve sertleştirici karışımının giriş ve çıkış yapacağı kenarlara spiral hortum koyulur ve bu hortumların orta kısmına t bağlantı borusu takılır(Şekil 3.8e). T bağlantı boruları takılmış spiral hortumlar, hareket etmemesi için kâğıt bant ile sabitlenir(Şekil 3.8f). Sabitleme işlemi gerçekleştirildikten sonra ilk yerleştirilen release filminden daha büyük bir vakum naylonu kesilir ve hepsinin üzerine örtülür(Şekil 3.8g). Bu arada t bağlantı borularının uç kısmı delinir ve sızdırmazlık bandı ile o kısımlar tekrar bantlanır(Şekil 3.8h). Sızdırmazlık bandı çift taraflıdır. İlk olarak yapıştırılan sızdırmazlık bandının diğer kısmı açılır ve vakum naylonu hiç boşluk kalmayacak şekilde yapıştırılır(Şekil 3.8i). Yapıştırma işlemi bütün kenarlarda gerçekleştirildikten sonra t bağlantı borularına infüzyon hortumu takılır(Şekil 3.8j). İnfüzyon hortumunun bir ucu vakum pompasına takılacak, diğer

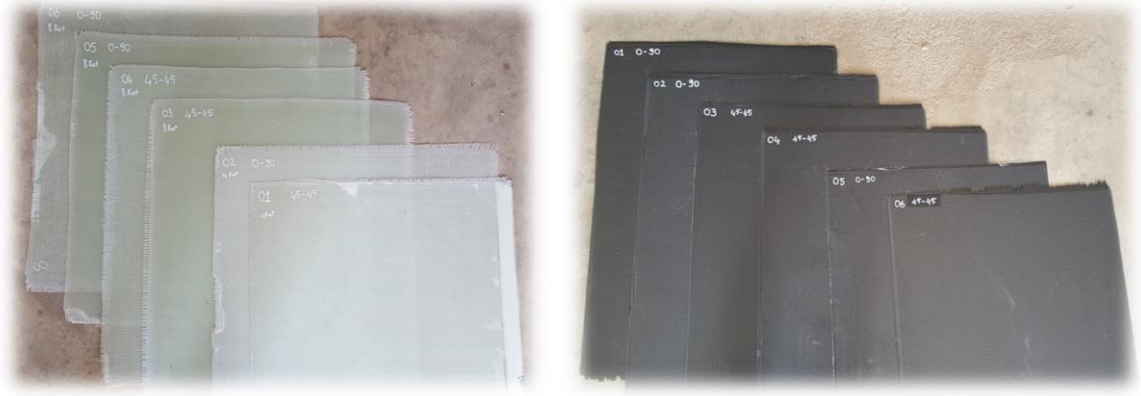
ucu ise epoksi sertleştirici karışımına daldırılacaktır. Epoksi sertleştirici karışımına daldırmadan önce vakum pompası çalıştırılır ve vakum işlemi başlatılır(Şekil 3.8k). Vakum kabı üzerindeki basınç saatinden herhangi bir kaçak olup olmadığı kontrol edilir çünkü kaçak var ise bulunmak zorundadır. Yoksa kürleme işlemi vakum altında olmayacağından üretim sağlıklı olmayacaktır. Vakumda herhangi bir problem yoksa pompa yeniden çalıştırılır ve sisteme epoksi sertleştirici karışımı verilir. Kumaşların ıslanması takip edilir(Şekil 3.8l). Islanma yüzde 80'i geçtikten sonra makinenin sıcaklık ünitesi aktif hale getirilir ve kürlenme başlamış olur. Kürleme yaklaşık 4 -5 saat sürmektedir(Şekil 3.8m). Kürlenme işlemi bittikten sonra ilk olarak oluşturulan yapı yüzeyden ayrılır(Şekil 3.8n). Yüzeyden ayırma işlemi gerçekleştirildikten sonra ilk olarak vakum naylonu ve infüzyon hortumları dikkatlice ayrılır(Şekil 3.8o). Çünkü infüzyon hortumunun içinde kürlenmemiş epoksi ve sertleştirici karışımı kalmış olabilir. Ardından release film sökülür ve üretilen kompozit malzemenin pürüzsüz tarafına ulaşılmış olur(Şekil 3.8p). En son soyma kumaşı soyulur(Şekil 3.8r) ve kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiş olur. (Şekil 3.8s)





Şekil 3. 8 Vakum infüzyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimi

Bu yöntemle toplam 16 plaka üretilmiş olup, plakaların 8 adedi karbon fiberlerden ve diğer 8 tanesinde cam fiberlerden imal edilmişlerdir. Sekizer adet imal edilen cam ve karbon plakalardan dört tanesi 4 katlı ve diğer dördü ise 8 katlı olarak üretilmiştir. Üretilen cam ve karbon plakalar Şekil 3. 9'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 9 Üretilen cam ve karbon plakalar

3.3 Kesim İşlemi

4 ve 8 katlı, cam ve karbon fiber takviyeli epoksi kompozit plakalardan sırasıyla oryantasyonları (0/90), (15/-75), (30/-60), (45/-45) olacak şekilde, Şekil 3.10'da gösterilen bilgisayar kontrollü giyotin aracılığıyla numuneler kesilmiştir.



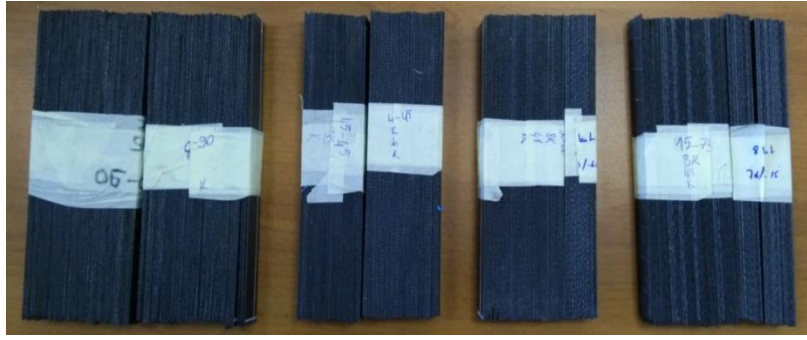
Şekil 3. 10 Bilgisayar kontrollü giyotin yardımıyla numunelerin kesilmesi

Numunelerin boyutları ASTM D 3039 standartlarına göre belirlenmiştir. Karbon fiber takviyeli epoksi plakalardan, kontrol edilen her bir ortam için; statik deneylerde tek çekme hızı(2 mm/dk) için 3 numune olmak üzere en az 12 numune hazırlanmıştır. Cam fiber takviyeli epoksi plakalardan ise, kontrol edilen her bir ortam için; statik deneylerde çift çekme hızı(2 mm/dk ve 10 mm/dk) için 6 numune olmak üzere en az 24 numune hazırlanmıştır. Numune kesme işlemleri cam fiber takviyeli epoksi 8 katlı, karbon fiber takviyeli epoksi 4 katlı ve karbon fiber takviyeli epoksi 8 katlı kompozit plakalar için tekrarlanmıştır. Kesme işlemleri sonunda statik deneyler için; kuru ortam 72, 1 aylık deniz ortamı 72, 3

aylık deniz ortamı 72 ve 6 aylık deniz ortamı 72 olmak üzere, toplamda 288 adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 3. 11 Plakalardan kesilen cam fiber takviyeli epoksi numuneler

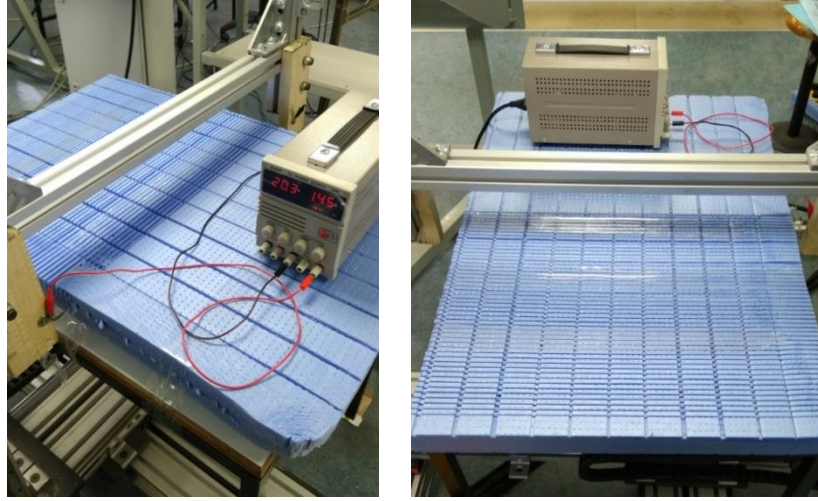


Şekil 3. 12 Plakalardan kesilen karbon fiber takviyeli epoksi numuneler

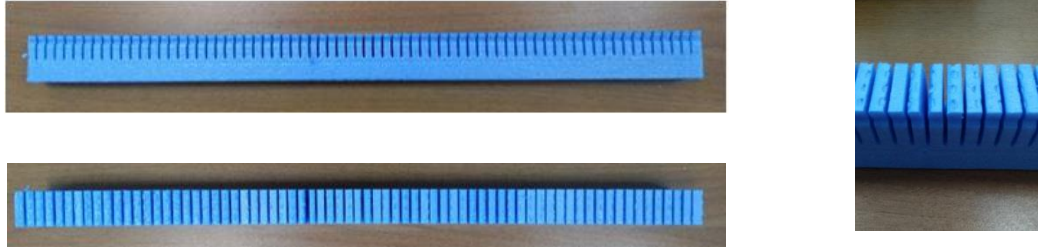
3.4 Deniz Suyunda Bekletme

3.4.1 Sistem Düzenegi

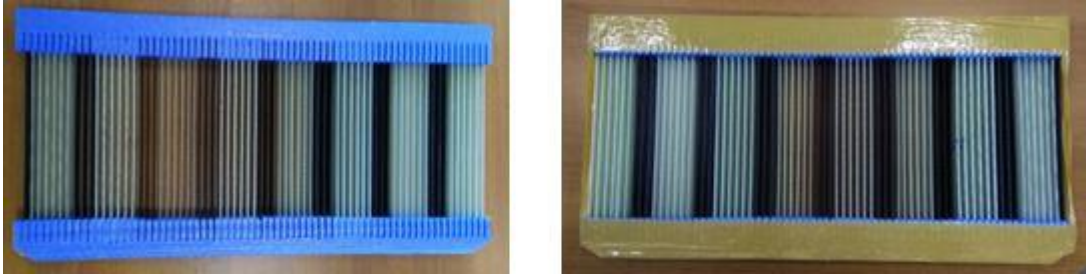
Kuru ortamda numunelerinin deneyleri bekletilmeden gerçekleşmiştir. Deniz ortamı için hazırlanan 216 adet statik test numuneleri ise deniz suyu dolu özel bir akvaryumda bekletilmiştir. Numuneler suya daldırılmadan önce suda bekletme için tasarım yapılmıştır. İlk tasarım numunelerin deniz suyu içinde nasıl bekletileceğiyle alakalıdır. Bunun için mantolamada kullanılan ısı yalıtım levhaları kullanılmıştır. Çünkü kullanılacak malzemenin deniz suyundan etkilenmemesi ve kompozit malzemelerle etkileşime girmemesi gerekmektedir. Isı yalıtım levhasının kesilmesinde bilgisayar kontrollü 3 eksenli CNC kullanılmıştır. CNC'nin koluna direnç teli bağlanmış ve bu tele akım verilmiştir. Bu sayede ısı yalıtım levhası kolayca ve pürüzsüz bir şekilde kesilebilmiştir. CNC'nin hareket kodu tarafımda yazılmış ve bilgisayara yüklenmiştir.



Şekil 3. 13 CNC'de ısı yalıtım levhasının hazırlanması



Şekil 3. 14 Numunelerin dizileceği platform



Şekil 3. 15 Numunelerin dizili ve akvaryuma konulmaya hazır hali

Diğer bir tasarım ise deniz suyunun doldurulacağı ve içine numunelerin yerleştirileceği akvaryum olmuştur. Akvaryum minimum hacme maksimum numune alacak şekilde tasarlanmıştır. Ölçüleri belirlendikten sonra, Şekil 3. 16'da görülen parçaları pleksiglastan kestirilmiştir.



Şekil 3. 16 Akvaryum için kesilen parçalar

Hazırlanan parçalar özel pleksiglas yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Sızdırmazlık için ayrıca bütün birleşim noktaları akvaryum silikonu ile desteklenmiştir. Şekil 3. 17’de görüldüğü üzere kısa kenarlara numunelerin yerleştirilmesi ve birbirine değmemesi için oluklar yapılmıştır.



Şekil 3. 17 Akvaryumun son hali

Numuneler önce CNC yardımıyla kesilip hazırlanan platformlara dizilmiş ve akvaryumdaki oluklara yerleştirilmiştir. 6 petek hazırlanmış ve her iki petek bir ortam için olmak üzere test edilmiştir. Yani 2 petek 1 ay, 2 petek 3 ay ve diğer 2 petek ise 6 ay deniz suyunda bekletilmiştir.



Şekil 3. 18 Altı peteğin akvaryuma yerleştirilmesi.

Pleksiglas malzemesi cam kadar rijit olmadığından akvaryuma su doldurulduğunda bombe yapacaktır. Bunu engellemek adına akvaryumun dışına çerçeve yapılmıştır. Bu çerçeve hem deformasyonu hem de peteklerin yukarı çıkmasını engellemiştir.

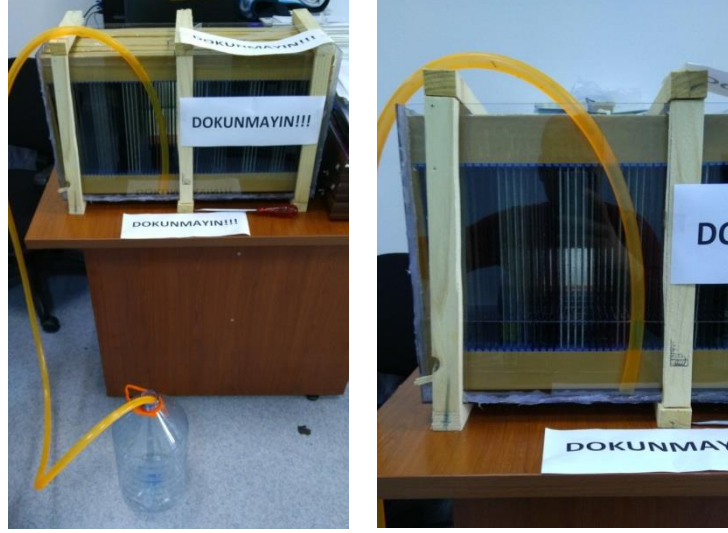


Şekil 3. 19 Akvaryumun etrafına çerçevenin monte edilmesi

Akvaryumun deniz suyu İstanbul Boğazı'ndan temin edilmiştir. Beşiktaş iskelesine 2 haftada bir kova ve bidonlarla gidilip denizden su alımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20). Böylece deniz suyu 2 haftada bir yenilenmiştir. Şekil 3.21'de görülen değiştirme işleminde akvaryumdaki su boşaltılmış ve yeni deniz suyu ile doldurulmuştur.



Şekil 3. 20 Beşiktaş iskelesinden deniz suyu alımı



Şekil 3. 21 Deniz suyunun değiştirilmesi

Akvaryum, bekletme süresi boyunca çekme cihazının bulunduğu Gemi Mukavemeti Laboratuvarında muhafaza edilmiştir. Deniz suyunun sıcaklığı oda sıcaklığındadır. Numuneler özel bir tasarım ile birbirine değmeden, bal peteği gibi deniz suyu içerisine daldırılmıştır.

3.4.2 Deniz Suyu Absorbsiyonu

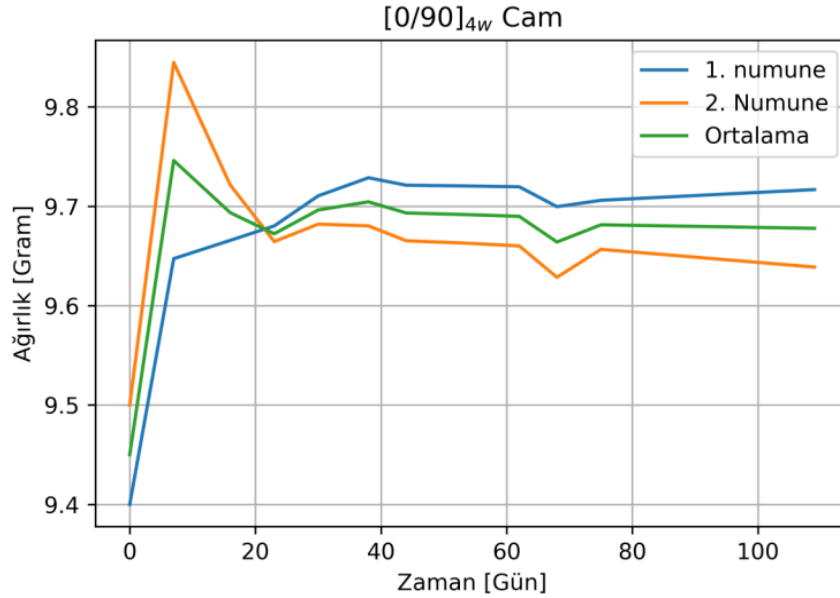
Deniz suyunda bekletilen numunelerdeki nem absorbsiyonunun belirlenmesi için, numuneler genel olarak haftada bir hassas terazi yardımıyla tartılmıştır. Her çeşit numuneden iki örnek deniz suyunda bekletilmiş ve ölçümleri yapılmıştır. Toplam 12 farklı zamanda ölçüm yapılmıştır. Elde edilen bu ölçüm sonuçlarına göre, her farklı oryantasyon için, iki numunenin ve bu numunelerin ortalama değerine göre ağırlık artışı grafikleri çizilmiştir.

3.4.2.1 4 katmanlı cam fiber takviyeli epoksi numunelerin ağırlık değişimleri

$[0/90]_{4w}$ oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.2’de ve grafiği Şekil 3.22’de verilmiştir.

Tablo 3. 2 $[0/90]_{4w}$ Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

$[0/90]_{4w}$ Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	9,4000	9,6473	9,6657	9,6802	9,7105	9,7287
2.numune	9,5000	9,8448	9,7214	9,6645	9,6820	9,6803
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	9,7212	9,7204	9,7196	9,6996	9,7060	9,7168
2.numune	9,6653	9,6627	9,6601	9,6285	9,6567	9,6388

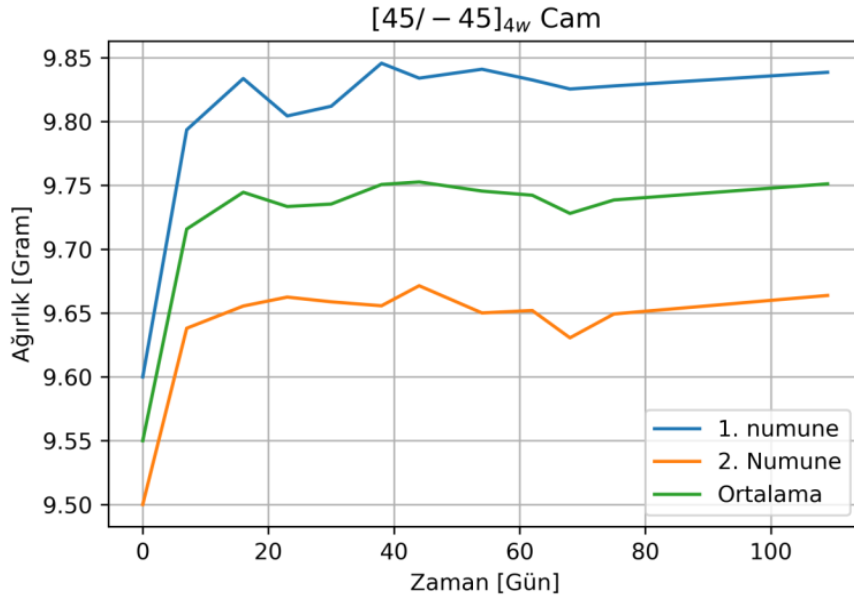


Şekil 3. 22 $[0/90]_{4w}$ Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45]_{4w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.3'te ve grafiği Şekil 3.23'te verilmiştir.

Tablo 3. 3 [45/-45]_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	9,6000	9,7935	9,8337	9,8044	9,8120	9,8457
2.numune	9,5000	9,6381	9,6555	9,6625	9,6588	9,6557
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	9,8340	9,8410	9,8326	9,8255	9,8279	9,8386
2.numune	9,6714	9,6501	9,6520	9,6306	9,6493	9,6638

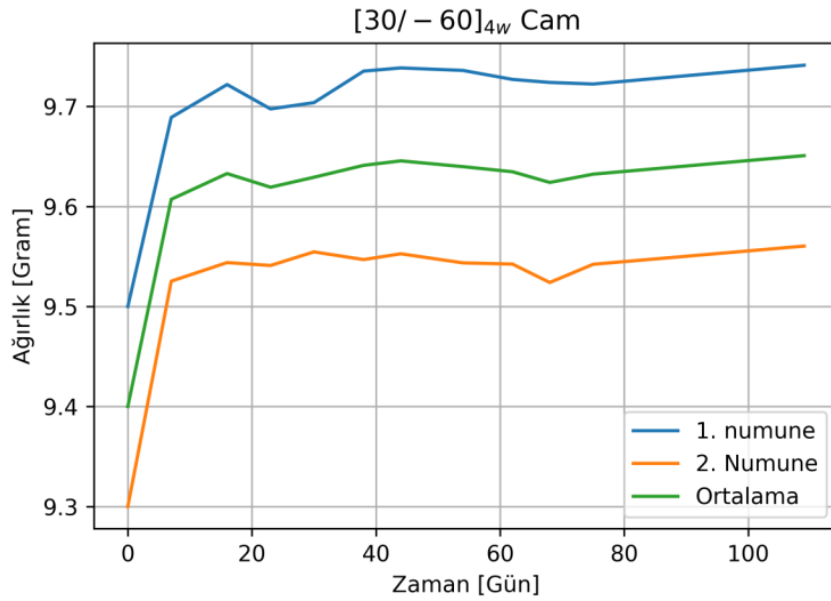


Şekil 3. 23 (45/-45)_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60]_{4w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.4'te ve grafiği Şekil 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3. 4 [30/-60]_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	9,5000	9,6890	9,7219	9,6975	9,7038	9,7353
2.numune	9,3000	9,5253	9,5439	9,5410	9,5546	9,5469
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	9,7385	9,7360	9,7270	9,7240	9,7224	9,7412
2.numune	9,5527	9,5436	9,5424	9,5240	9,5422	9,5604

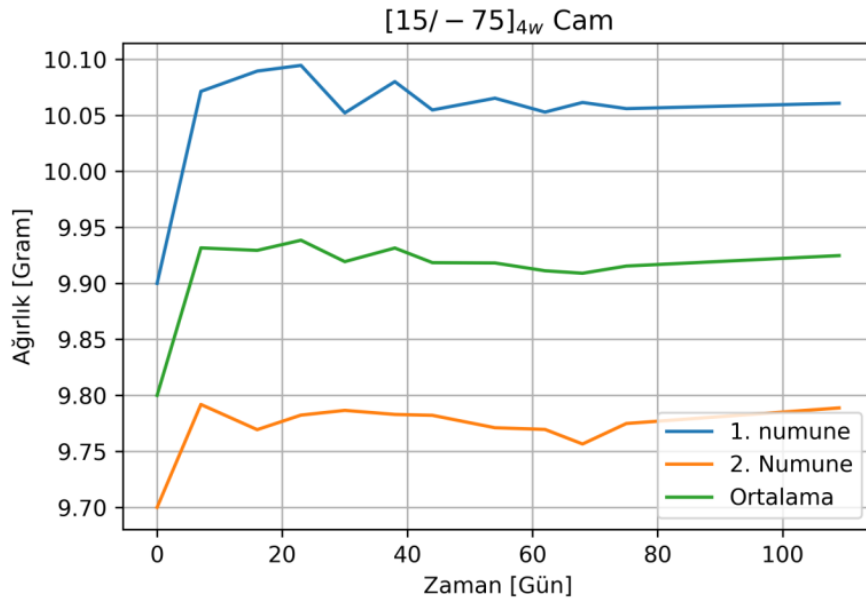


Şekil 3. 24 (30/-60)_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75]_{4w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.5'te ve grafiği Şekil 3.25'te verilmiştir.

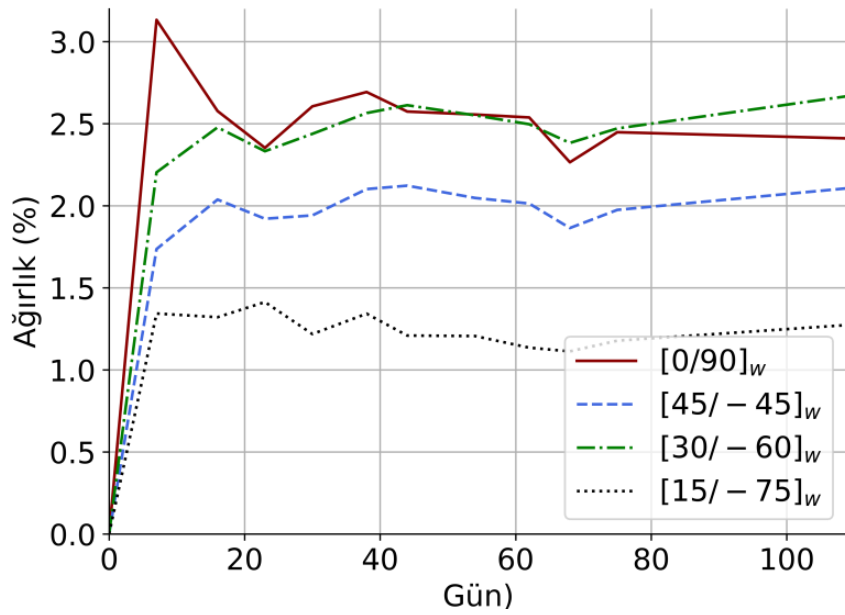
Tablo 3. 5 [15/-75]_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75] _{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	9,9000	10,0714	10,0895	10,0946	10,0522	10,0801
2.numune	9,7000	9,7919	9,7694	9,7824	9,7866	9,7830
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	10,0548	10,0653	10,0529	10,0615	10,0560	10,0608
2.numune	9,7822	9,7711	9,7696	9,7566	9,7749	9,7888



Şekil 3. 25 (15/-75)_{4w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

Deniz suyu içinde kaldığı zamanda, numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri hassas terazi ile ölçülmüş ve hem grafiklerde hem de tablolarda bu değerler verilmiştir. Oryantasyonlardaki değişim kıyaslanmak istendiğinde gram olarak değişimler anlamlı sonuçlar vermemiştir. Bu sebeple katmanlar arasındaki deniz suyu emilimini kıyaslamak için yüzde artışlar belirlenmiş ve grafik olarak sunulmuştur. Şekil 3.26'da 4 katlı cam fiber takviyeli epoksi numunelerin zamana bağlı yüzde ağırlık değişimleri verilmiştir.



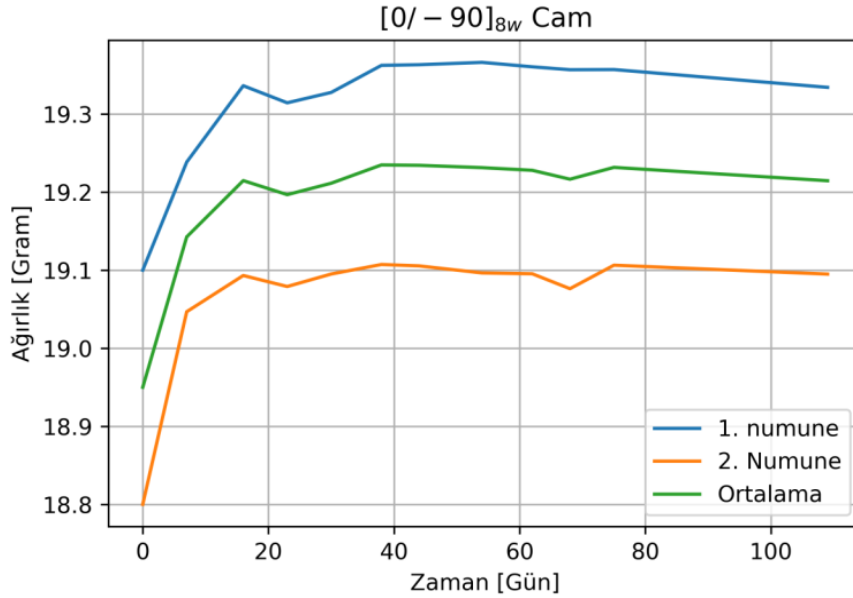
Şekil 3. 26 4 katlı cam fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi

3.4.2.2 8 katmanlı cam fiber takviyeli epoksi numunelerin ağırlık değişimleri

[0/90]_{8w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.6'da ve grafiği Şekil 3.27'de verilmiştir.

Tablo 3. 6 [0/90]_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[0/90] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	19,1000	19,2385	19,3363	19,3144	19,3277	19,3624
2.numune	18,8000	19,0468	19,0932	19,0791	19,0951	19,1073
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	19,3632	19,3662	19,3605	19,3568	19,3570	19,3342
2.numune	19,1055	19,0965	19,0954	19,0763	19,1064	19,0950

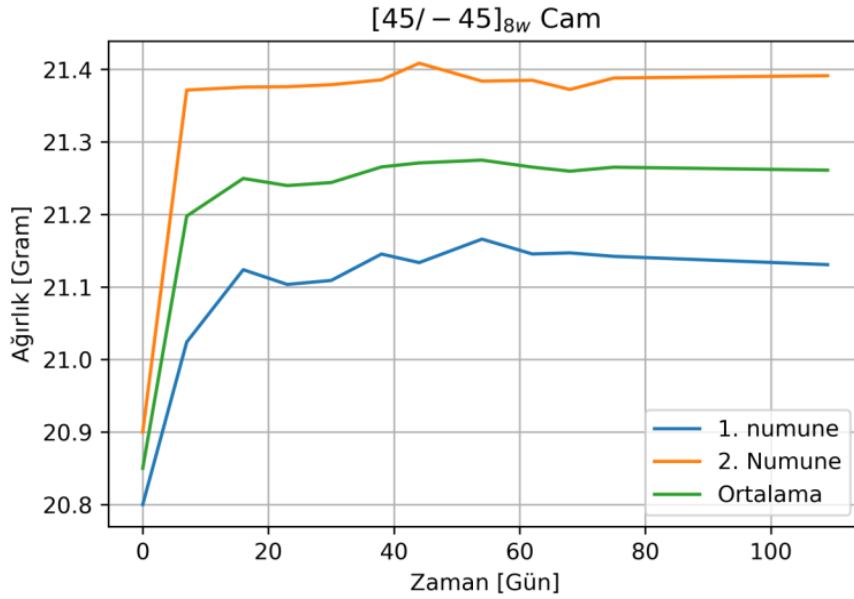


Şekil 3. 27 [0/90]_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45]_{8w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.7'de ve grafiği Şekil 3.28'de verilmiştir.

Tablo 3. 7 [45/-45]_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	20,8000	21,0240	21,1238	21,1035	21,1090	21,1454
2.numune	20,9000	21,3715	21,3755	21,3761	21,3789	21,3856
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	21,1336	21,1660	21,1455	21,1470	21,1422	21,1308
2.numune	21,4085	21,3838	21,3850	21,3723	21,3881	21,3913

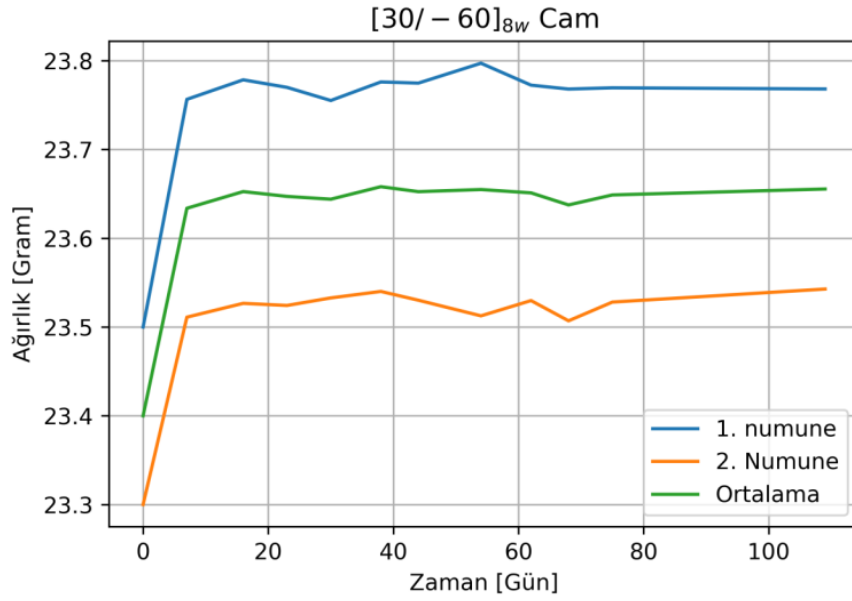


Şekil 3. 28 (45/-45)_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60]_{8w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.8'de ve grafiği Şekil 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3. 8 [30/-60]_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	23,5000	23,7565	23,7785	23,7700	23,7552	23,7761
2.numune	23,3000	23,5111	22,5267	23,5243	23,5328	23,5401
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	23,7748	23,7972	23,7725	23,7681	23,7695	23,7682
2.numune	23,5302	23,5126	23,5298	23,5070	23,5281	23,5428

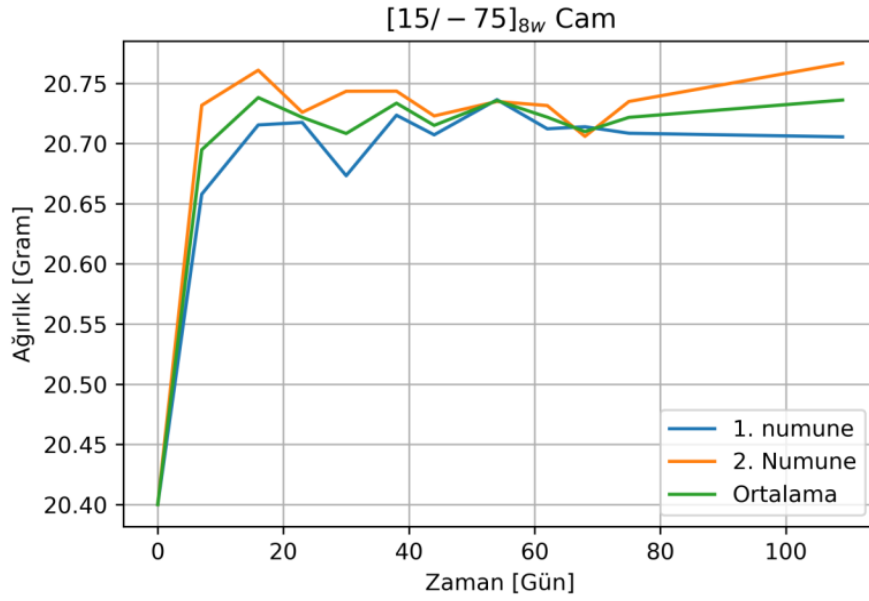


Şekil 3. 29 (30/-60)_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75]_{8w} oryantasyona sahip cam takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.9'da ve grafiği Şekil 3.30'da verilmiştir.

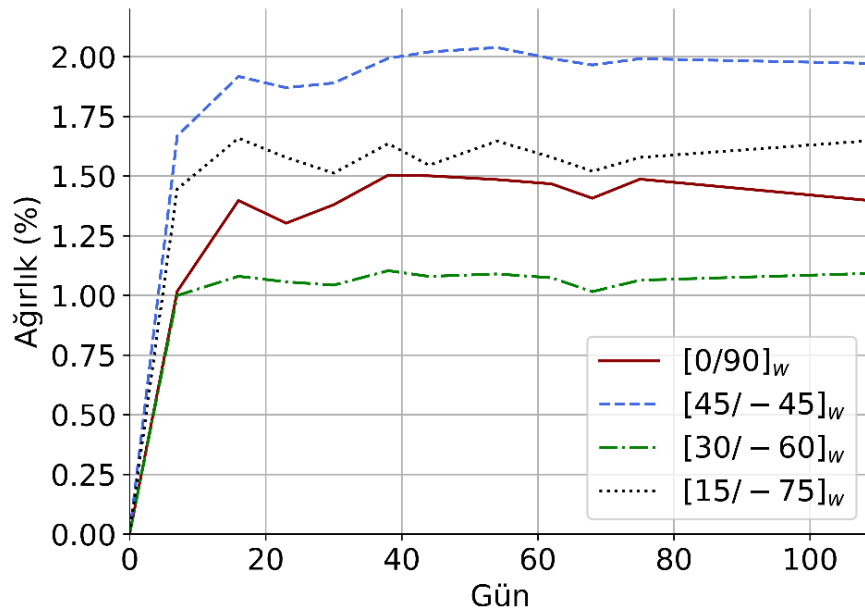
Tablo 3. 9 [15/-75]_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75] _{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	20,4000	20,6579	20,7155	20,7176	20,6733	20,7236
2.numune	20,4000	20,7318	20,7610	20,7260	20,7435	20,7436
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	20,7073	20,7365	20,7123	20,7140	20,7086	20,7056
2.numune	20,7230	20,7350	20,7316	20,7060	20,7350	20,7668



Şekil 3. 30 (15/-75)_{8w} Cam takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

Deniz suyu içinde kaldığı zamanda, numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri hassas terazi ile ölçülmüş ve hem grafiklerde hem de tablolarda verilmiştir. Oryantasyonlardaki değişim kıyaslanmak istendiğinde gram olarak değişimler anlamlı sonuçlar vermemiştir. Bu sebeple katmanlar arasındaki deniz suyu emilimini kıyaslamak için yüzdece artışlar belirlenmiş ve grafik olarak sunulmuştur. Şekil 3.31’de 8 katlı cam fiber takviyeli epoksi numunelerin zamana bağlı yüzdece ağırlık değişimleri verilmiştir.



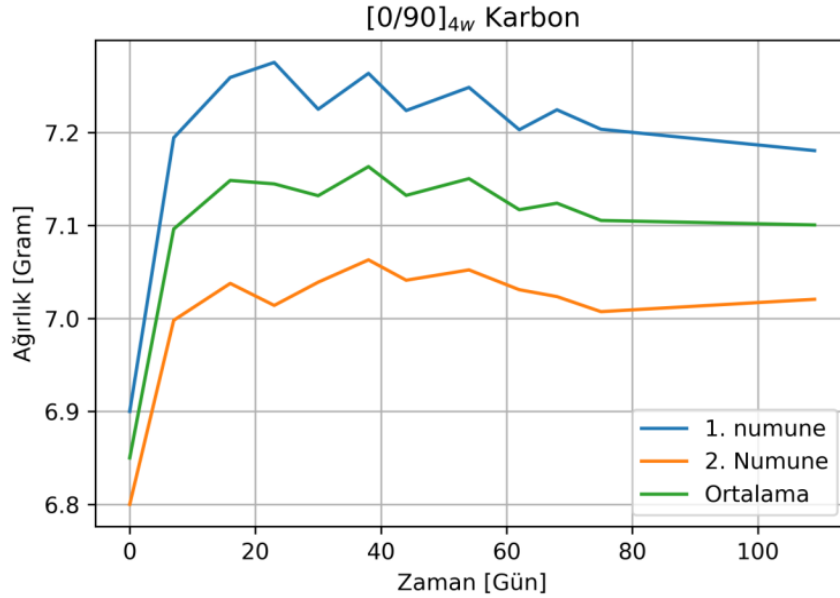
Şekil 3. 31 8 katlı cam fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi

3.4.2.3 4 katmanlı karbon fiber takviyeli epoksi numunelerin ağırlık değişimleri

[0/90]_{4w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.10'da ve grafiği Şekil 3.32'de verilmiştir.

Tablo 3. 10 [0/90]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[0/90] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	6,9000	7,1943	7,2592	7,2754	7,2250	7,2636
2.numune	6,8000	6,9980	7,0377	7,0140	7,0390	7,0630
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	7,2236	7,2485	7,2030	7,2244	7,2035	7,1805
2.numune	7,0411	7,0522	7,0309	7,0235	7,0073	7,0206

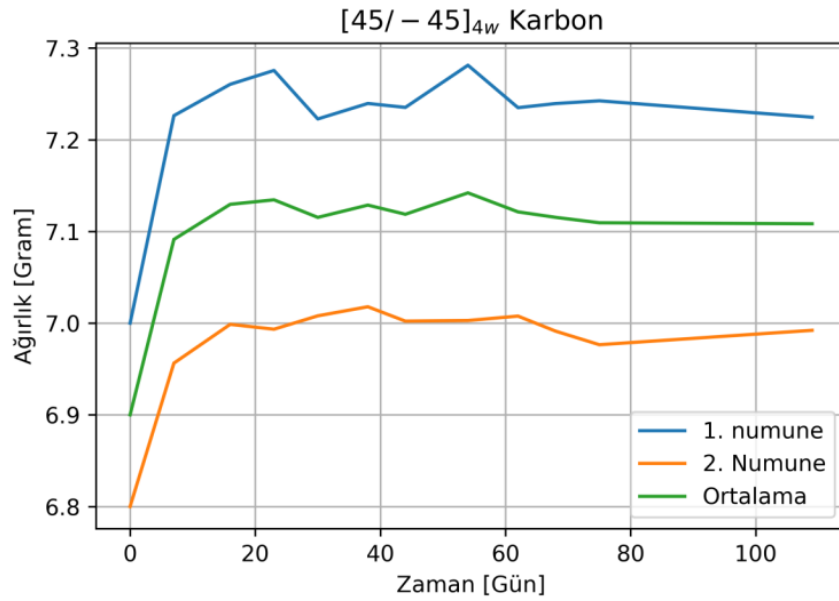


Şekil 3. 32 [0/90]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45]_{4w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.11'de ve grafiği Şekil 3.33'te verilmiştir.

Tablo 3. 11 [45/-45]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	7,0000	7,2263	7,2605	7,2756	7,2227	7,2396
2.numune	6,8000	6,9564	6,9987	6,9934	7,0080	7,0179
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	7,2353	7,2813	7,2350	7,2395	7,2425	7,2246
2.numune	7,0022	7,0029	7,0077	6,9913	6,9765	6,9922

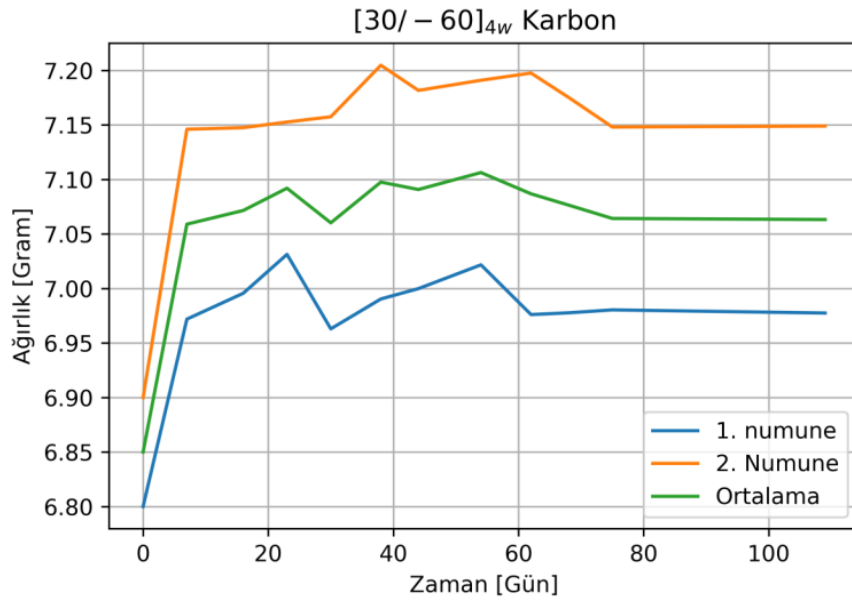


Şekil 3. 33 [45/-45]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60]_{4w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.12'de ve grafiği Şekil 3.34'te verilmiştir.

Tablo 3. 12 [30/-60]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	6,8000	6,9719	6,9956	7,0313	6,9630	6,9904
2.numune	6,9000	7,1461	7,1475	7,1527	7,1575	7,2048
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	6,9999	7,0217	6,9761	6,9777	6,9804	6,9775
2.numune	7,1817	7,1910	7,1976	7,1753	7,1481	7,1490

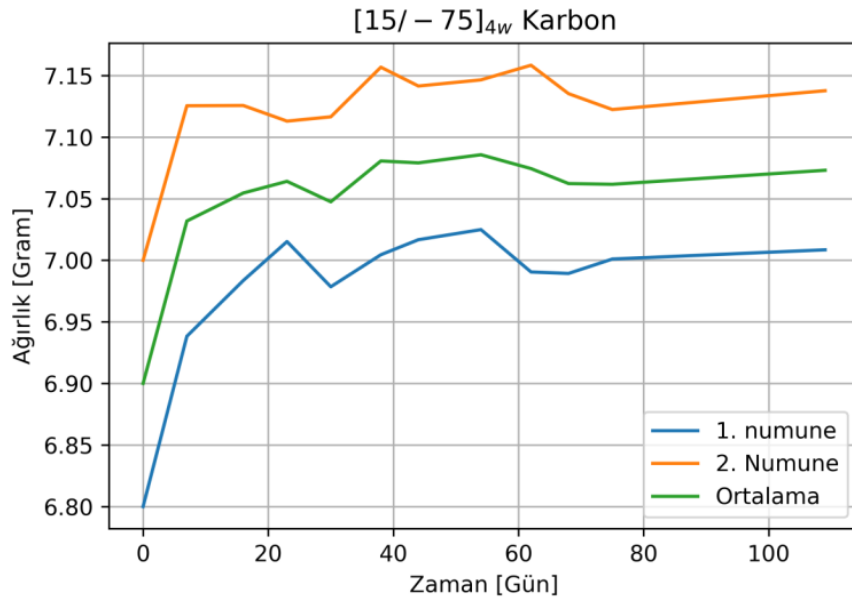


Şekil 3. 34 [30/-60]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75]_{4w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.13'te ve grafiği Şekil 3.35'te verilmiştir.

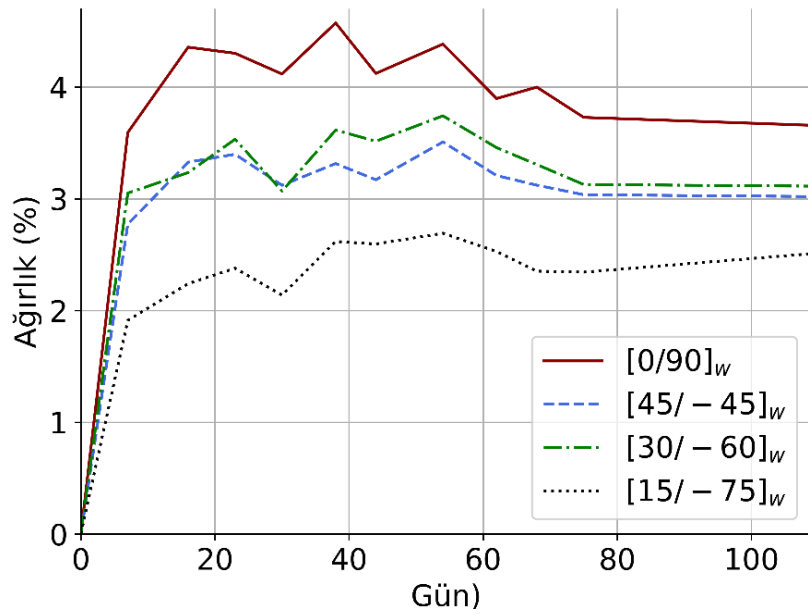
Tablo 3. 13 [15/-75]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75] _{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	6,8000	6,9383	6,9835	7,0152	6,9785	7,0045
2.numune	7,0000	7,1255	7,1257	7,1130	7,1165	7,1568
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	7,0167	7,0249	6,9905	6,9893	7,0010	7,0085
2.numune	7,1415	7,1465	7,1584	7,1353	7,1224	7,1377



Şekil 3. 35 [15/-75]_{4w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

Deniz suyu içinde kaldığı sürede, numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri hassas terazi ile ölçülmüş ve hem grafiklerde hem de tablolarda verilmiştir. Oryantasyonlardaki değişim kıyaslanmak istendiğinde gram olarak değişimler anlamlı sonuçlar vermemiştir. Bu yüzden katmanlar arasındaki deniz suyu emilimini kıyaslamak için yüzde artışlar belirlenmiş ve bu amaçla grafik çizilmiştir. Şekil 3.36'da 4 katlı karbon fiber takviyeli epoksi numunelerin zamana bağlı yüzde ağırlık değişimleri verilmiştir.



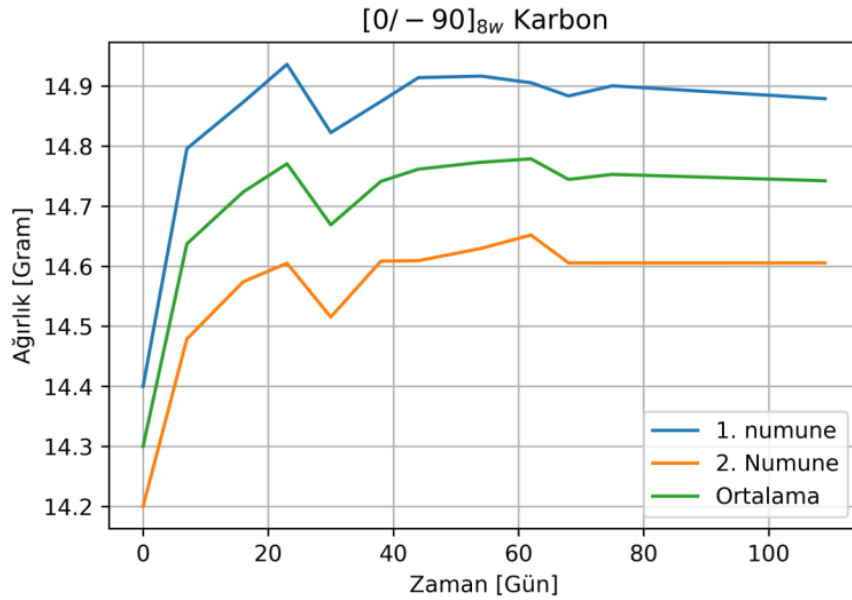
Şekil 3. 36 4 katlı karbon fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi

3.4.2.4 8 katmanlı karbon fiber takviyeli epoksi numunelerin ağırlık değişimleri

[0/90]_{8w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.14'te ve grafiği Şekil 3.37'de verilmiştir.

Tablo 3. 14 [0/90]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[0/90] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	14,4000	14,7958	14,8732	14,9361	14,8225	14,8742
2.numune	14,2000	14,4788	14,5741	14,6050	14,5154	14,6084
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	14,9140	14,9166	14,9055	14,8835	14,9004	14,8790
2.numune	14,6092	14,6296	14,6520	14,6055	14,6054	14,6055

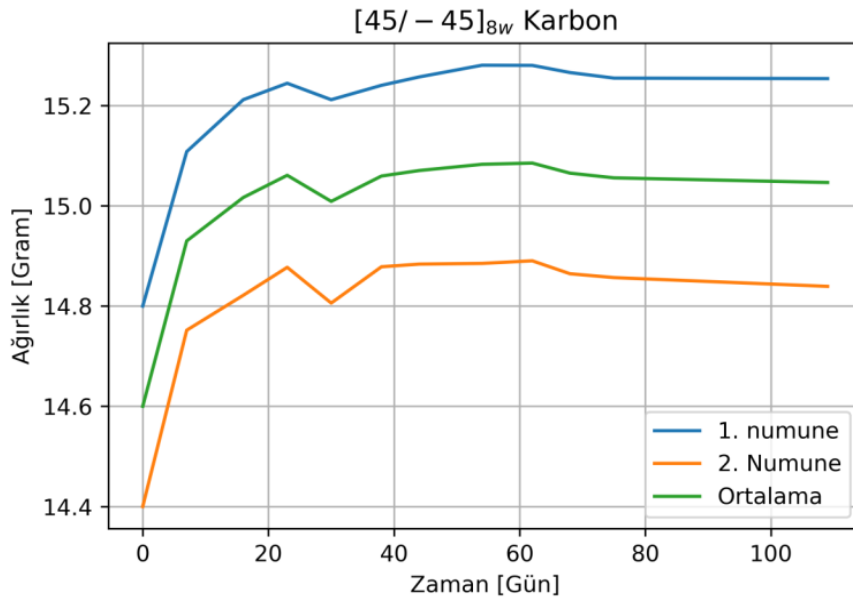


Şekil 3. 37 (0/90)_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45]_{8w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.15'te ve grafiği Şekil 3.38'de verilmiştir.

Tablo 3. 15 [45/-45]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[45/-45] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	14,8000	15,1081	15,2117	15,2445	15,2117	15,2404
2.numune	14,4000	14,7518	14,8215	14,8773	14,8060	14,8784
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	15,2571	15,2805	15,2802	15,2659	15,2548	15,2538
2.numune	14,8837	14,8851	14,8903	14,8645	14,8568	14,8393

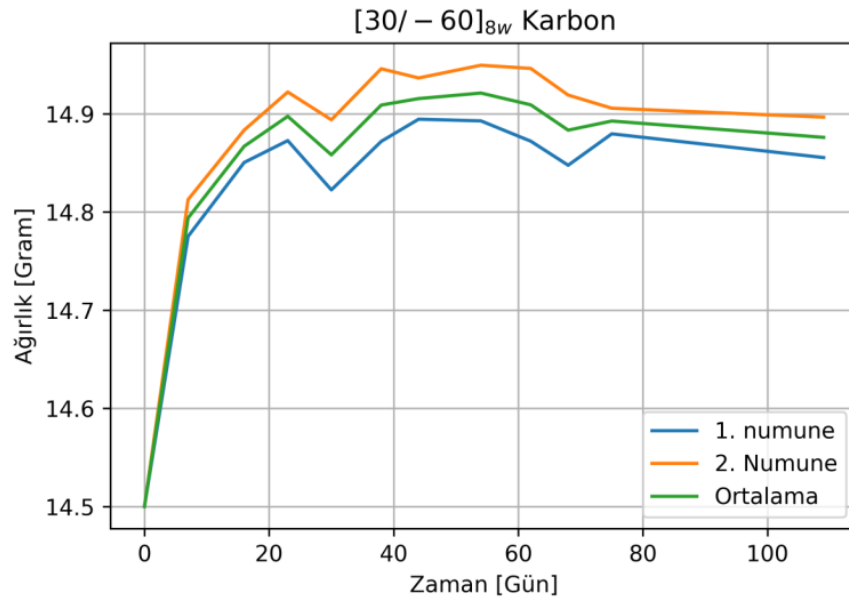


Şekil 3. 38 [45/-45]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60]_{8w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.16'da ve grafiği Şekil 3.39'da verilmiştir.

Tablo 3. 16 [30/-60]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[30/-60] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	14,5000	14,7752	14,8505	14,8728	14,8226	14,8720
2.numune	14,5000	14,8127	14,8835	14,9223	14,8940	14,9460
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	14,8946	14,8929	14,8722	14,8477	14,8797	14,8555
2.numune	14,9366	14,9496	14,9463	14,9192	14,9058	14,8967

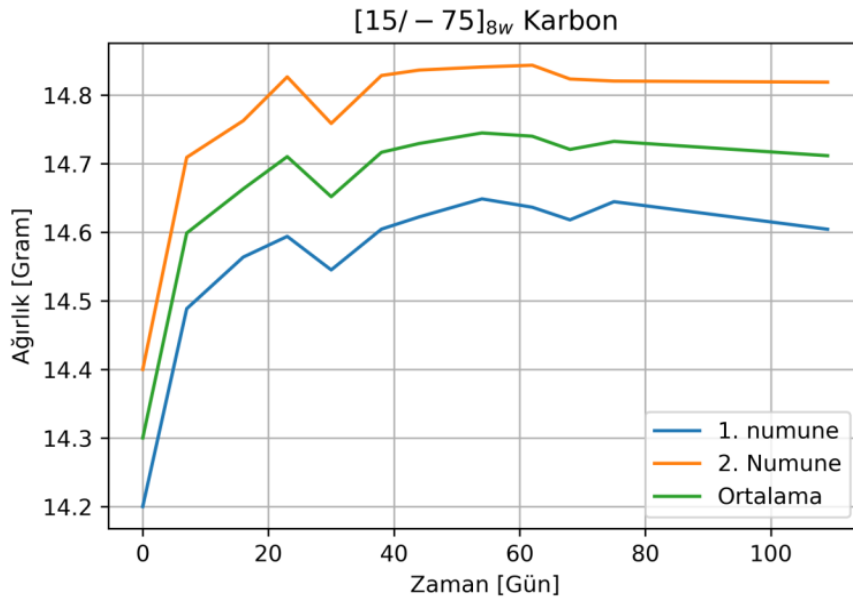


Şekil 3. 39 [30/-60]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75]_{8w} oryantasyona sahip karbon takviyeli kompozit malzemenin deniz suyu absorpsiyonu için yapılan ölçümlerin sonuçları Tablo 3.17'de ve grafiği Şekil 3.40'da verilmiştir.

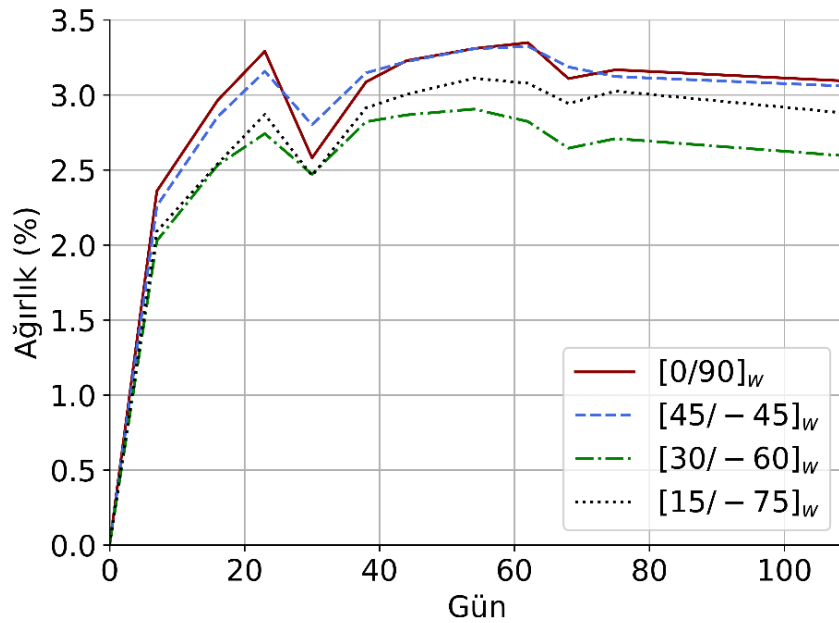
Tablo 3. 17 [15/-75]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

[15/-75] _{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi [Gram]						
Ölçüm	1	2	3	4	5	6
Tarih	02.06.18	09.06.18	18.06.18	25.06.18	02.07.18	10.07.18
1.numune	14,2000	14,4885	14,5638	14,5940	14,5451	14,6046
2.numune	14,4000	14,7092	14,7627	14,8266	14,7587	14,8286
Ölçüm	7	8	9	10	11	12
Tarih	16.07.18	26.07.18	03.08.18	09.08.18	16.08.18	19.09.18
1.numune	14,6224	14,6487	14,6365	14,6181	14,6446	14,6044
2.numune	14,8365	14,8410	14,8436	14,8235	14,8205	14,8189



Şekil 3. 40 [15/-75]_{8w} Karbon takviyeli kompozit malzemenin ağırlık değişimi

Deniz suyu içinde kaldığı sürede, numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri hassas terazi ile ölçülmüş ve hem grafiklerde hem de tablolarda verilmiştir. Oryantasyonlardaki değişim kıyaslanmak istendiğinde gram olarak değişimler anlamlı sonuçlar vermemiştir. Bu sebeple katmanlar arasındaki deniz suyu emilimini kıyaslamak için yüzde artışlar belirlenmiş ve grafik çizilmiştir. Şekil 3.41'de 8 katlı karbon fiber takviyeli epoksi numunelerin zamana bağlı yüzde ağırlık değişimleri verilmiştir.



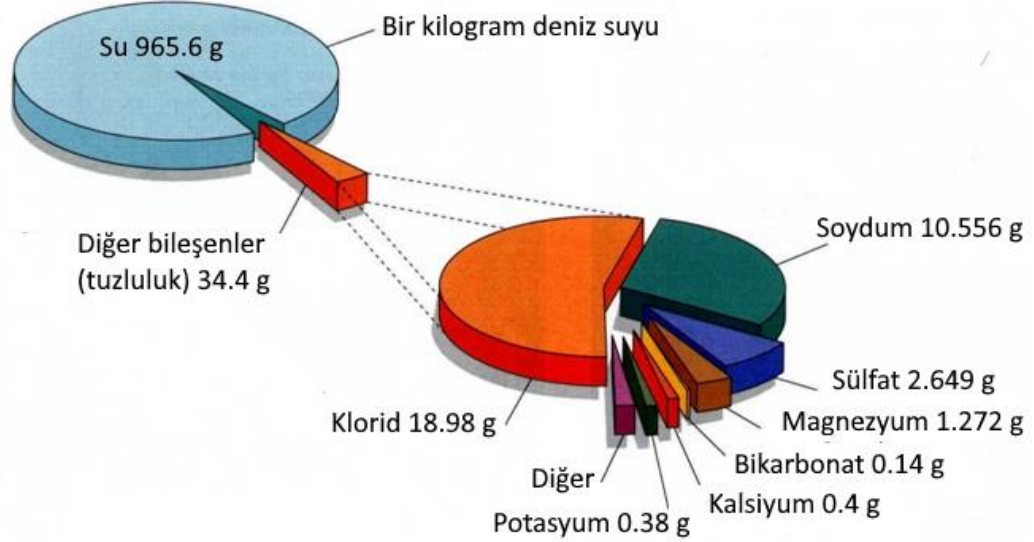
Şekil 3. 41 8 katlı karbon fiber takviyeli epoksi kompozitin zamana bağlı nem emilimi

3.4.3 Deniz Suyu Kimyası

Kompozit malzemeler özellikle gemilerde kullanılacaksa, o zaman korozyonun etkisinin de araştırılması gerekmektedir. O yüzden öncelikle deniz suyu ortamının bilinmesi ve nasıl oluşturulacağına karar verilmelidir.

Deniz suyunun, özgül direnci düşük ve yüksek miktarda pasifliği bozucu klorür iyonu içermesi çelik yapılar için yüksek bir aşınmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan yüzey bölgelerde çözünmüş halde yüksek miktarda oksijen bulunması da yapının korozyonunu arttırmaktadır. Deniz suyunun pH'ı 8 civarındadır. Bu pH

değerinde katodik reaksiyon oksijen mevcudiyetinde gerçekleşeceği için yüzey bölgeler korozyon için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle gemiler hareket halinde iken sürekli yüzeye çözülmüş oksijen teması kolaylaşacağından ve sürekli dalgalar etkisiyle ıslanma ve kuruma etkisine maruz kalacağı için korozyon için çok uygun bir ortam oluşturmaktadır[73]. Deniz suyunun bileşimi Şekil 3.42'te verilmiştir.



Şekil 3. 42 Deniz suyu bileşimi[57]

İklim şartlarına bağlı olarak farklı coğrafyalardaki denizlerde farklı oranlarda tuz bulunmaktadır. Bu tuz oranı Baltık Denizi'nde litrede 7 g iken Hazar'da 13, Pasifik Okyanusu'nda 34, Atlantik Okyanusu'nda 36 g arasında değişmektedir. Normalde deniz suyu tuz oranı ise 35 gramdır [75].

Deneylerde kullanılan deniz suyu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Çevre Koruma Müdürlüğü bünyesinde bulunan Çevre ve Yakıt Analiz Laboratuvarında analiz edilmiştir. Bu laboratuvar TS EN ISO/IEC 17025 "Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar" Standardı kapsamında TÜRKAK(Türk Akreditasyon Kurumu)'dan "Akreditasyon Belgesine", Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan "Çevre Analizleri Yeterlilik Belgesi"ne sahiptir. Kalibrasyonu yapılmış tuzluluk ve pH ölçme cihazları ile yapılan analiz sonucu, deneylerde kullanılan deniz suyunun 8,28 pH değerine ve 18 ppt tuz oranına sahip olduğuna ulaşılmıştır.

3.5 Test Hazırlıkları

3.5.1 Numune Hazırlanması

Numunelerin çekme testi esnasında, çekme cihazının çeneleri tarafından hasara uğramaması için uç kısımlarına Şekil 3.43'teki 2.5 x 5.5 mm boyutlarında bakır parçalar(tab) yapıştırılmıştır. Tab yapıştırılmış numuneler Şekil 3.44'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 43 Tab malzemelerin hazırlanması



Şekil 3. 44 Tab malzemelerin yapıştırıldığı numunelerin görünümü

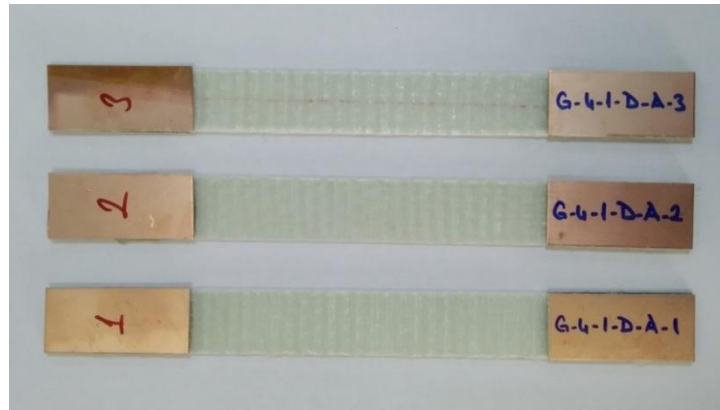
Yapıştırma işleminde siyanoakrilit bazlı MITREAPEL yapıştırıcısı kullanılmıştır. Deneylerde bu yapıştırma bölgelerinde adezyon ya da kohezyon hasarı meydana gelmemiştir. İlk önce kuru ortam numuneleri, sonra 1 aylık deniz suyu ortam numuneleri, daha sonra 3 aylık deniz suyu ortam numuneleri ve en son olarakta 6 aylık deniz suyu ortam numuneleri hazırlanmıştır.

Numuneler hazırlanırken tablara kod yazılmıştır. Kırmızı ve mavi renk kullanılan ve 6 haneli olan kodlar statik numuneleri temsil etmektedir. Numuneler karıştırılmaması için kodlandırılmıştır. Bu statik testler için hazırlanmış kodlar şu şekildedir;

Tablo 3. 18 Statik numune kodlaması

Fiber Cinsi	Katman	Oryantasyon	Ortam	Çekme Hızı	Numune Numarası
G (Cam)	4 (4 Katlı)	1 (0 / 90) _w	D (Kuru)	A (2 mm/dk)	1
C (Karbon)	8 (8 Katlı)	2 (45 / -45) _w	1M (1 Aylık)	B (10 mm/dk)	2
		3 (30 / -60) _w	3M (3 Aylık)		3
		4 (15 / -75) _w	6M (6 Aylık)		

Örneğin G-8-2-3M-B-2 kodlu numune, cam fiberden üretilmiş, 8 katlı, 45/-45 oryantasyonuna sahip 3 ay deniz suyunda bekletilmiş, 10 mm/dk hızda çekme testi yapılan 2 numaralı numune demektir. Aynı şartlardaki her numuneden en az 3 çekme deneyi yapıldığından numune numarası 3'e kadardır. Aynı özellikteki 3 numune seti Şekil 3.45'te gösterilmiştir.

**Şekil 3. 45** Statik numuneler için örnek

Numuneler çekme testine hazır hale geldiğinde, değerlerin doğru hesaplanabilmesi için numunelerin boyutlarının tam olarak bilinmesi gereklidir. Kesim işlemi giyotin ile gerçekleştiğinden aynı parametrelere sahip numuneler arasında boyut farklılıkları meydana gelebilmektedir. Bu yüzden çekme testi yapılan 288 adet numunenin boyutları elektronik kumpas ile ölçülmüş ve EK-B'de tablo halinde verilmiştir.

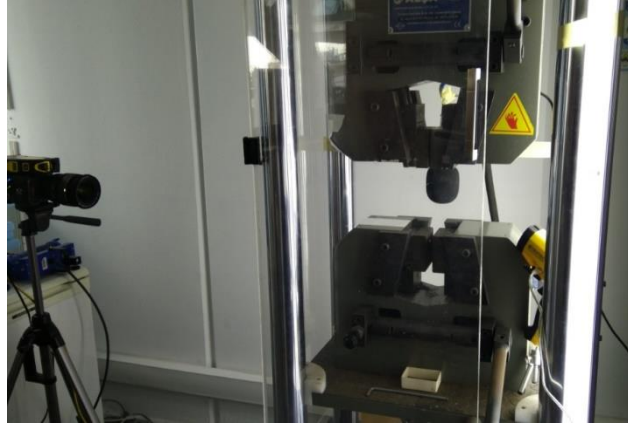
3.5.2 Deney Düzenekinin Açıklanması

Hazırlanan numunelerin ve deniz suyundaki numunelerin de çekme dayanımları incelenecektir. Çekme testleri universal çekme cihazında yapılmıştır. Testlerden

nce ekme cihazının kalibrasyonu yapılmış ve kalibrasyon belgesi EK-C'de verilmiştir. Çekme testleri gerçekleştirilirken deneyler aynı anda Phantom marka yüksek hızlı kamera ile kaydedilmiştir. lk önce kuru ortam numunelerinin deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 1 aylık deniz suyu ortamı numunelerinin, sonra 3 aylık deniz suyu ortam numunelerinin ve en son olarakta 6 aylık deniz suyu numunelerinin çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Deniz suyunda bekletilen numunelerin deneyleri, bekleme süreleri dolduğunda hazırlık aşamasından sonra testler zaman kaybetmeden yapılmıştır. Çalışmamızda karbon ve cam fiber takviyeli epoksi numunelerinin çekme testleri ASTM D3039 standardına uygun olarak çekme hızı 2 mm/dk olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ek olarak cam fiber takviyeli epoksi numuneleri ayrıca 10 mm/dk çekme hızında da teste tabi tutulmuştur. Testler sonucunda elde edilen maksimum gerilme, maksimum gerinim ve maksimum kuvvet-maksimum uzama değerleri karşılaştırılmıştır. Çekme testlerinin tamamı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sırasında IR termometre ile numunelerin sıcaklık değişimleri de kaydedilmiştir. Aynı zamanda test sırasında ses kaydı yapılmıştır. Hazırlanan test düzeneği ve cihazlar şekil 3.46 ve 3.47'de gösterilmiştir.



şekil 3. 46 ekme Cihazı, IR Termometre, Mikrofon ve Yüksek Hızlı Kamera



Şekil 3. 47 Test Düzeneği

Çekme cihazında yapılan çekme testi sonucunda bilgisayardan veri olarak kuvvet-yer değiştirme ve gerilme-birim şekil değiştirme grafiği resim olarak alınmaktadır. Aynı zamanda bilgisayardan ham data notepad dosyası olarak alınmaktadır. Bununla ilgili ham dataları işleyecek bir program yazılarak bu problem ortadan kaldırılmıştır. Yani deneyler sonrası alınan ham data, yazılmış olan program aracılığıyla istenilen grafikleri oluşturmuştur.

Çekme testi gerçekleştirilirken aynı zamanda yüksek hızlı kamera ile deformasyon durumunun kaydı yapılmıştır. 288 adet numunenin her birinin deney öncesi ve sonrası fotoğraflarıyla birlikte deney anındaki hasarın daha iyi anlaşılması için yüksek hızlı kamerayla çekilmiş görüntüleri de mevcuttur. Deney ve çekim aynı anda başlatılmıştır, bundan dolayı hızlı kamera ile çekilmiş fotoğraflar belli bir zamandaki değişimi göstermektedir. Yani bu resimlerdeki 9 farklı kare aynı zaman değişimi ile ilerlemektedir. Bu fotoğraflar görüntü işleyerek elde edilmiştir. Her numunenin numarasına göre kaydedilen görüntüler, Python programında kod yazılarak elde edilmiştir. Program sırasıyla videoyu almakta, frame sayısına bakmakta, ilk ve son frame'i 1. ve 9. resim olarak yerleştirmektedir. Daha sonra toplam frame sayısı sekize bölünerek kaç frame aralıkta bir fotoğraf alınması gerektiği belirlenmiştir. Bu şekilde 9 adet fotoğraf alınarak çekme testinin başından sonuna kadar olan değişim eşit zaman aralıklarıyla gösterilmiştir. Hem bu kod hem de ham datanın işlenmesinde kullanılan kodlar ek olarak verilmiştir.

3.6 Çekme Testleri için Deney Tasarımı

Tam faktöriyel dizayna göre cam takviyeli numunelerin testi için; katman sayısı, oryantasyon, ortam etkisi ve deney hızı parametrelerinin farklı seviye değerlerine göre deney tasarımı yapılmıştır. Cam takviyeli numunelere ait deney tasarımının, deney faktörleri ve seviyeleri Tablo 3.19'da gösterilmiştir.

Tablo 3. 19 Cam takviyeli numunelerin deney faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Üretim/Deney Parametreleri	Seviyeler			
		1	2	3	4
A	Katman Sayısı	4	8	---	---
B	Oryantasyon	(0/90) _w	(45/-45) _w	(30/-60) _w	(15/-75) _w
C	Ortam Etkisi	Kuru	1 Ay	3 Ay	6 Ay
D	Deney Hızı	2 mm/dk	10 mm/dk	---	---

Tam faktöriyel dizayna göre karbon takviyeli numunelerin testi için; katman sayısı, oryantasyon ve ortam etkisi parametrelerinin farklı seviye değerlerine göre deney tasarımı yapılmıştır. Karbon takviyeli numunelere ait deney tasarımının, deney faktörleri ve seviyeleri Tablo 3.20'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 20 Karbon takviyeli numunelerin deney faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Üretim/Deney Parametreleri	Seviyeler			
		1	2	3	4
A	Katman Sayısı	4	8	---	---
B	Oryantasyon	(0/90) _w	(45/-45) _w	(30/-60) _w	(15/-75) _w
C	Ortam Etkisi	Kuru	1 Ay	3 Ay	6 Ay

4.1 Tek Eksenli Çekme Testi Sonuçları

Üretilen ve hazırlanan bütün numunelerin çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, deney hızına (2 mm/dk ve 10 mm/dk) ve üretimde kullanılan malzemeye (cam ve karbon) göre gruplandırılmıştır.

4.1.1 Cam Numunelerin 2mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri

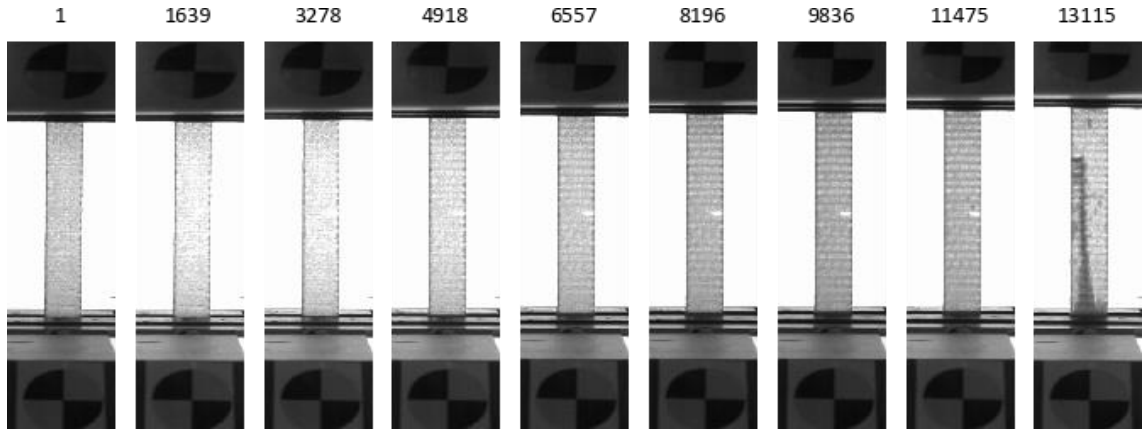
8 farklı oryantasyonda üretilen cam numuneler, 2 mm/dk çekme hızında teste tabi tutulduklarında elde edilen sonuçlar bu kısımda tartışılmıştır.

4.1.1.1 (0/90)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

(0/90)_{4w} oryantasyona sahip cam takviyeli numunelerden, aynı özellikte 12 adet hazırlanmıştır. Bu 12 adet numunenin 9 tanesi deniz suyuna maruz bırakılarak, 3 tanesi ise deniz suyuna maruz bırakılmadan teste tabi tutulmuştur. Deniz suyuna daldırılan numunelerin üçü 1 ay, üçü 3 ay ve kalan 3 tanesi de 6 ay deniz suyunda bekletilmiştir. Deniz suyunda bekletilmeyen 3 numunenin testleri hemen yapılmış ama diğer numunelerin testleri bekleme süreleri dolduğunda gerçekleştirilmiştir.

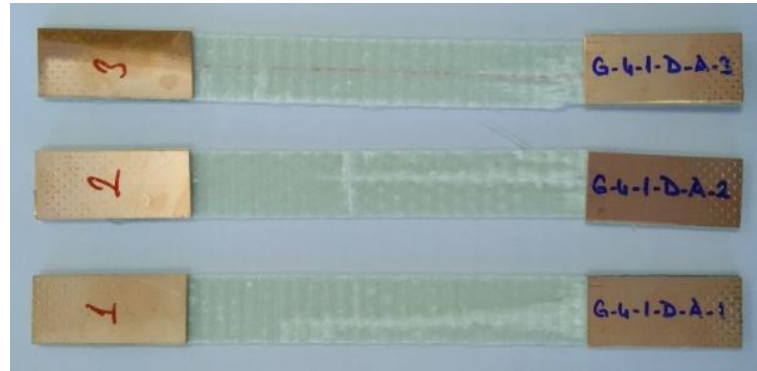
- Kuru Ortam Numuneleri (G-4-1-D-A)**

Deniz suyunda bekletilmeyen numunelerin çekme testleri numune hazırlama işleminden sonra hemen gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin aynı zaman aralığına sahip, farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı aşamaları verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 1 G-4-1-D-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyu bekletilmeyen kuru numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 1. numune 547,022 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,066 gerinim değerine, 2. numune 578,309 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,066 gerinim değerine ve son olarak 3. numune 452,757 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,057 gerinim değerine sahiptir. Bu 3 numunenin azami çekme gerilmelerinin ortalaması 526,029 MPa'dır. Şekil 4.2'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 1, 2 ve 3 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.

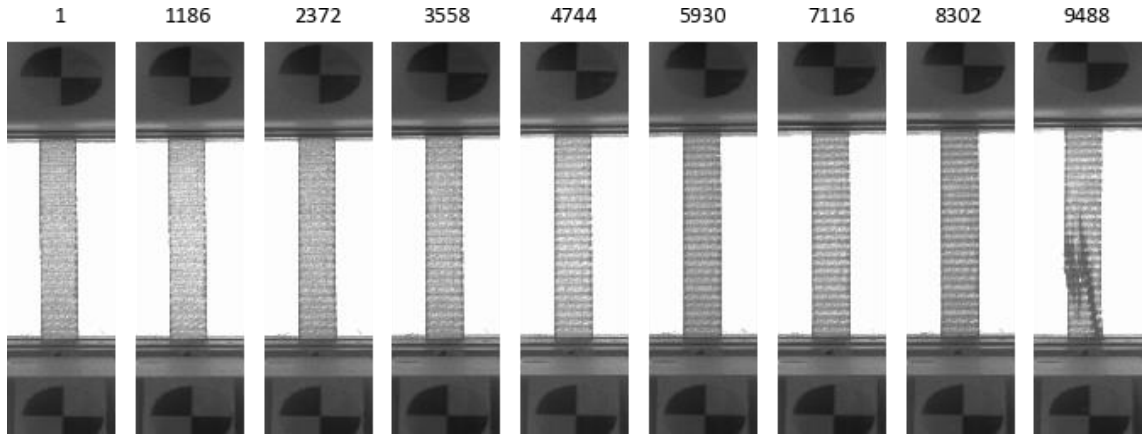


Şekil 4. 2 G-4-1-D-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **1 ay deniz suyu bekletilmiş numuneler (G-4-1-1M-A)**

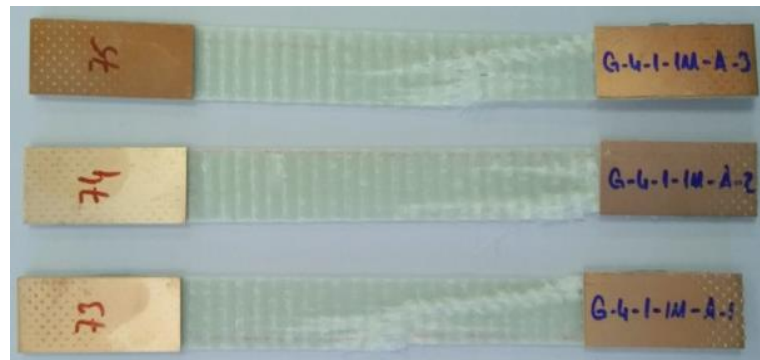
Deniz suyu bekletilen 9 adet numunenin 3 tanesi 1 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.3'te deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin

üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 3 G-4-1-1M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyuunda 1 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 73. numune 594,236 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,069 gerinim değerine, 74. numune 546,678 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,061 gerinim değerine ve son olarak 75. Numune 459,721 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,055 gerinim değerine sahiptir. Bu 3 numunenin azami çekme gerilmelerinin ortalaması 533,545 MPa'dır. Şekil 4.4'te ise çekme testleri gerçekleştirilen 73, 74 ve 75 numaralı numunelerin deney sonrası görüntüleri verilmiştir.

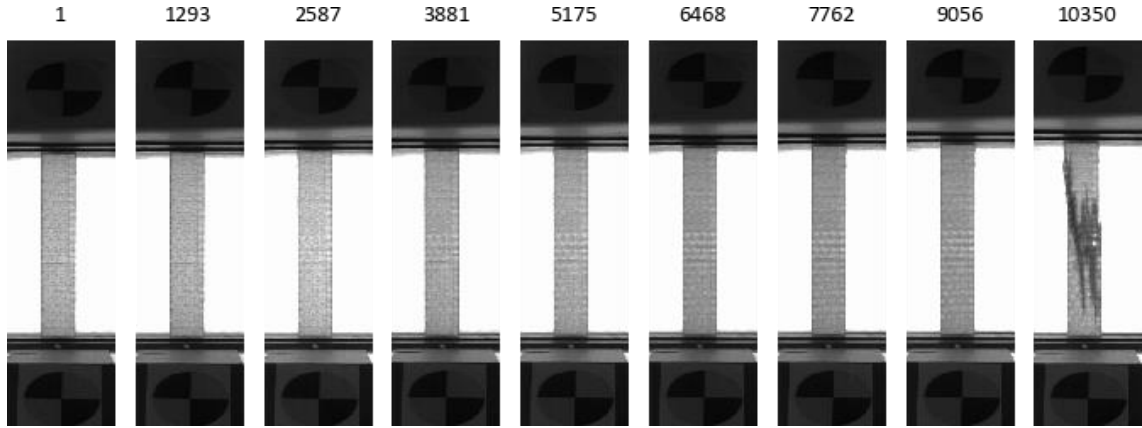


Şekil 4. 4 G-4-1-1M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **3 ay deniz suyuunda bekletilmiş numuneler (G-4-1-3M-A)**

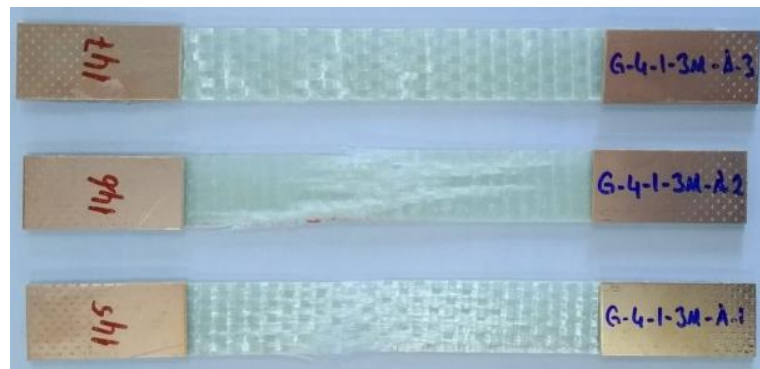
Deniz suyuunda şartlandırılan 6 adet numunenin 3 tanesi 3 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.5'te deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin

birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 5 G-4-1-3M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyunda 3 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 145. numune 555,401 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,065 gerinim değerine, 146. numune 511,779 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,060 gerinim değerine ve son olarak 147. numune 481,469 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,054 gerinim değerine sahiptir. Bu 3 numunenin azami çekme gerilmelerinin ortalaması 516,216 MPa'dır. Şekil 4.6'da ise çekme testleri gerçekleştirilen 145, 146 ve 147 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.

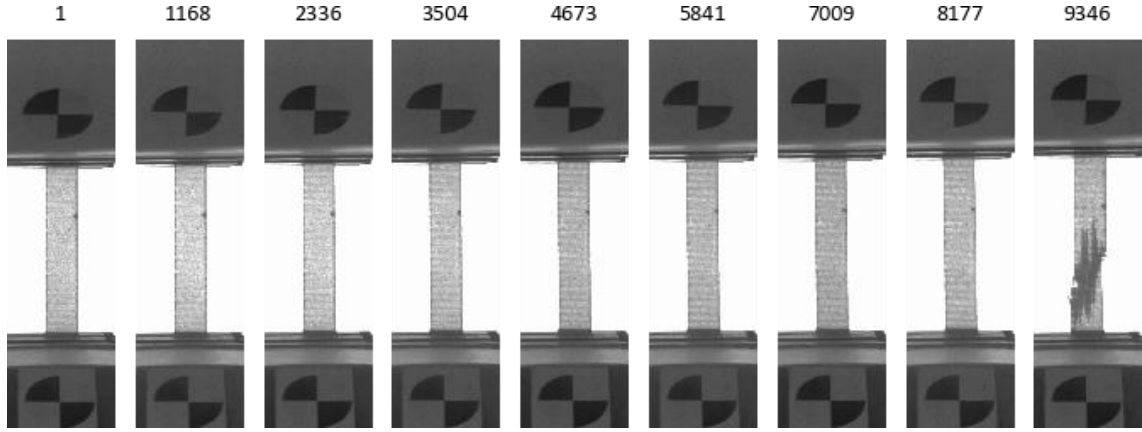


Şekil 4. 6 G-4-1-3M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **6 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (G-4-1-6M-A)**

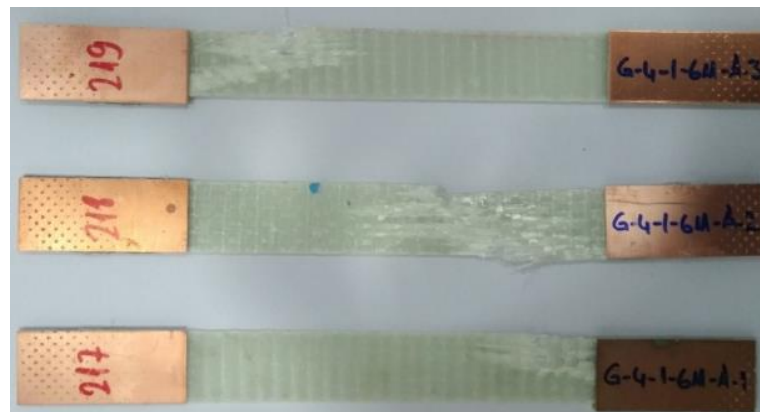
Deniz suyunda bekletilen 3 adet numune 6 ay sonra ortamdan çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.7'de deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen

numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



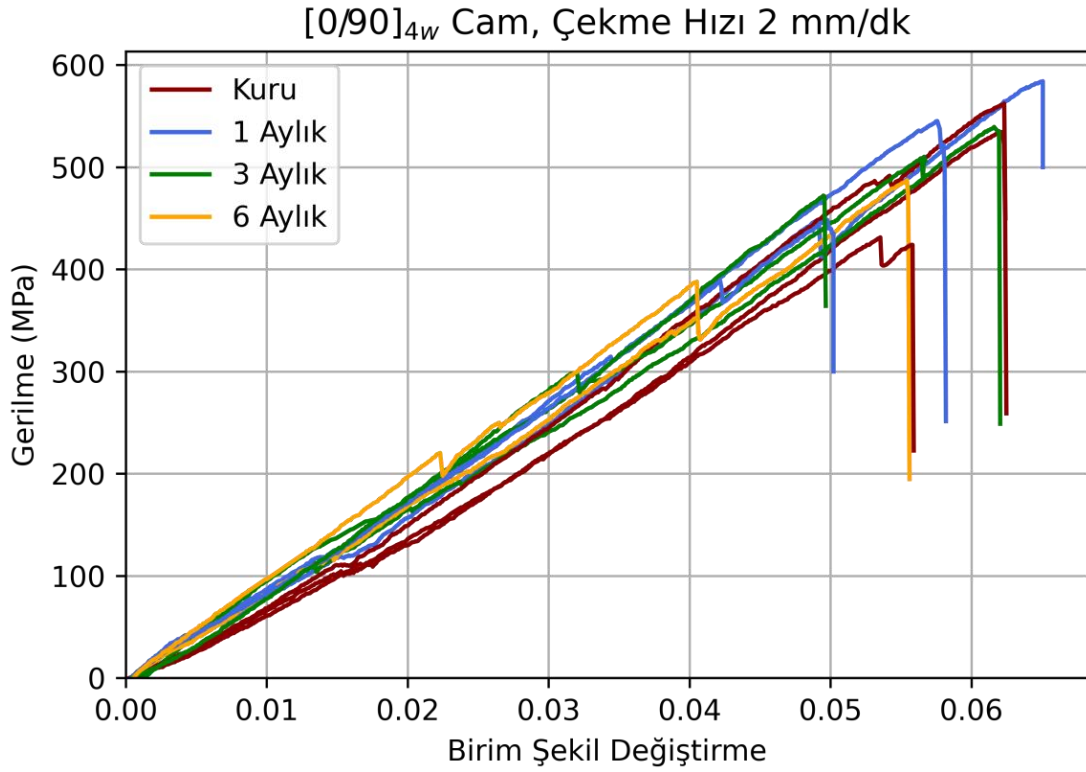
Şekil 4. 7 G-4-1-6M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyuunda 6 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 217. numune 503,966 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,059 gerinim değerine, 218. numune 503,966 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,059 gerinim değerine ve son olarak 219. numune 416,780 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,044 gerinim değerine sahiptir. Bu 3 numunenin azami çekme gerilmelerinin ortalaması 474,904 MPa'dır. Şekil 4.8'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 217, 218 ve 219 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 8 G-4-1-6M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

Şekil 4.9'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 9 (G-4-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

[0/90]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılmış numunelerin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1 [0/90]_{4w} oryantasyona sahip cam numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri

[0/90] _{4w}	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Gerilme (MPa)	526,029	533,545	516,216	474,904
Birim Şekil Değiştirme	0,063	0,062	0,060	0,054

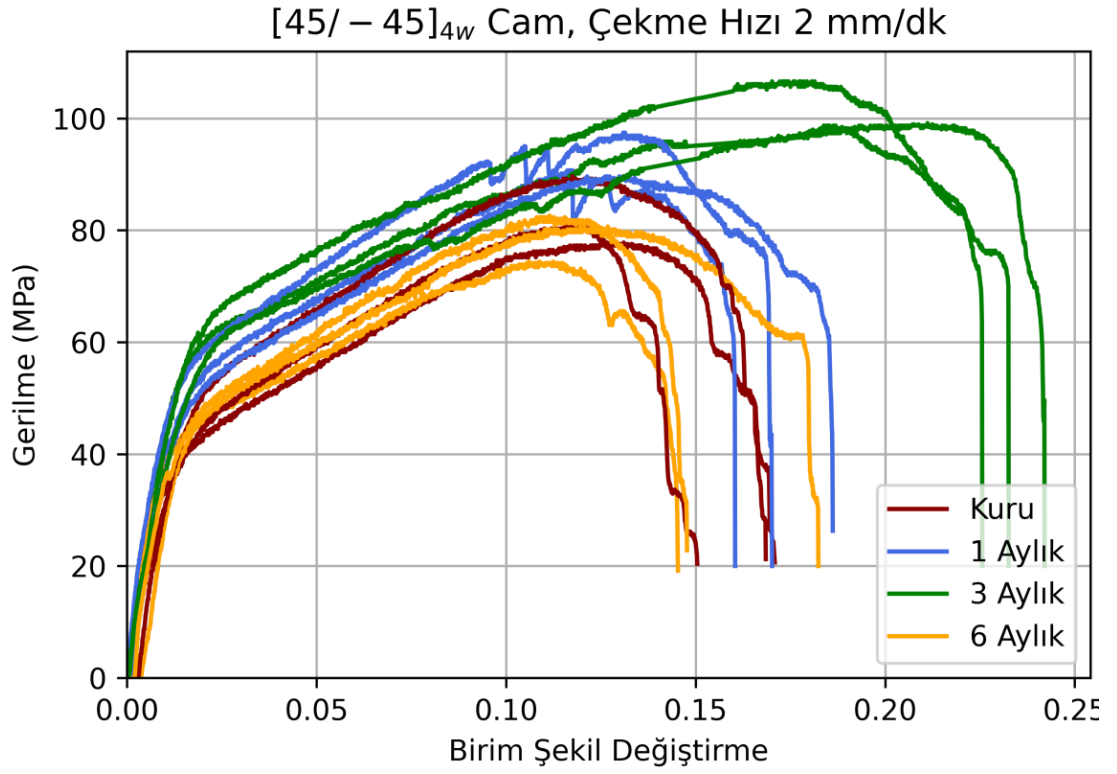
4.1.1.2 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[45/-45]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4. 2 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-2-D-A	G-4-2-1M-A	G-4-2-3M-A	G-4-2-6M-A
Gerilme (MPa)	91,313	94,150	102,900	82,880
Birim Şekil Değiştirme	0,121	0,127	0,192	0,114
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	13115 	11294 	13115 	10972 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	6 	76 	148 	222 

Şekil 4.10'da ise, 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 (G-4-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

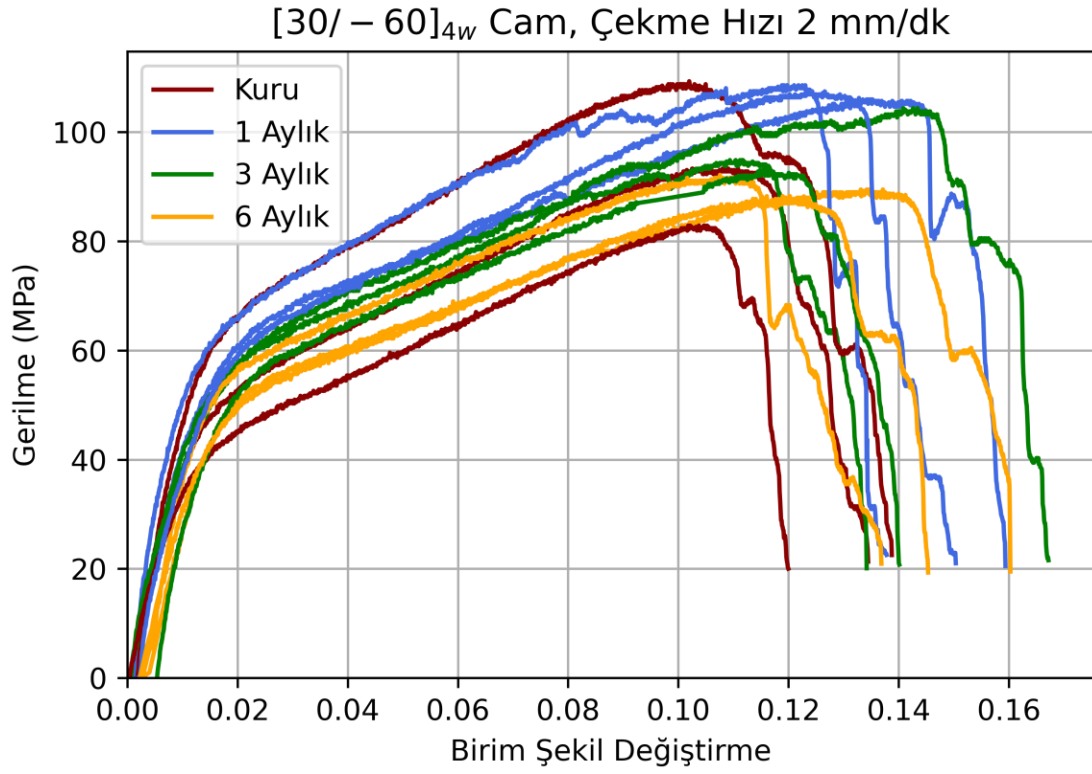
4.1.1.3 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4. 3 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-3-D-A	G-4-3-1M-A	G-4-3-3M-A	G-4-3-6M-A
Gerilme (MPa)	103,891	108,514	99,215	91,677
Birim Şekil Değiştirme	0,102	0,129	0,128	0,119
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	13115 	13115 	13115 	10563 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.11'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

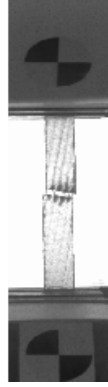


Şekil 4. 11 (G-4-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

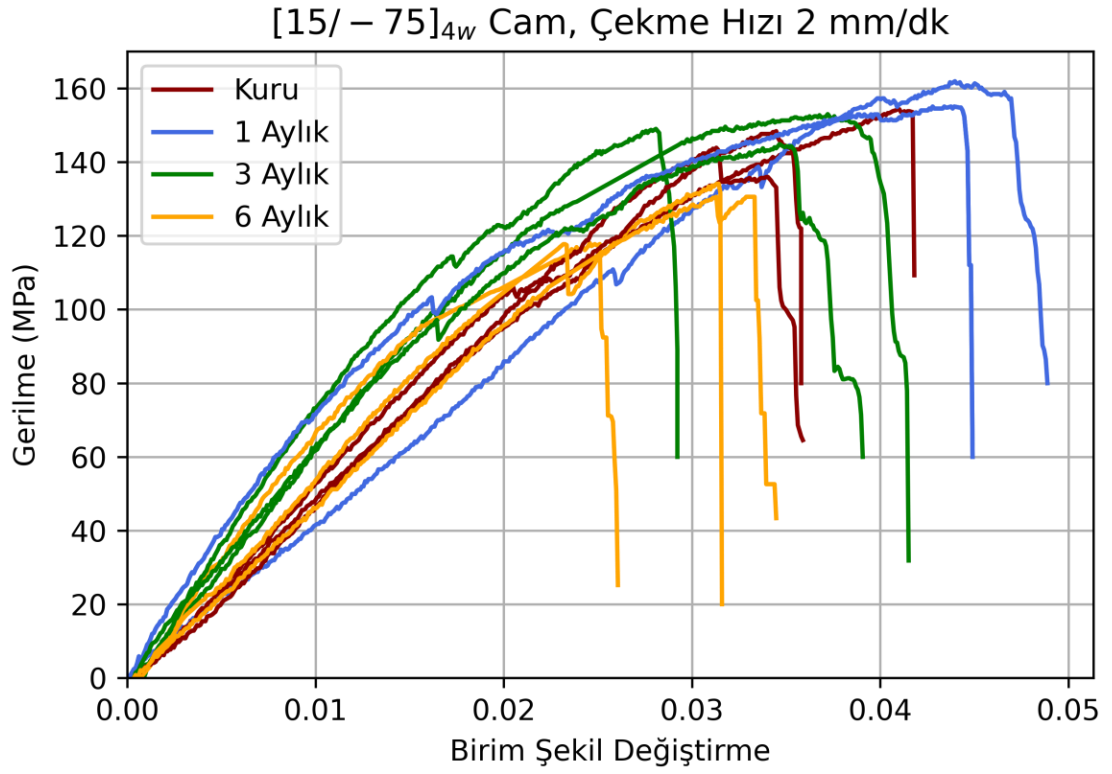
4.1.1.4 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/-75]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4. 4 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-4-D-A	G-4-4-1M-A	G-4-4-3M-A	G-4-4-6M-A
Gerilme (MPa)	166,133	158,469	152,070	144,468
Birim Şekil Değiştirme	0,040	0,050	0,037	0,034
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	7178 	10231 	6632 	5861 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.12'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

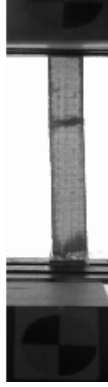
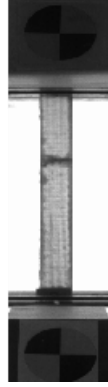


Şekil 4. 12 (G-4-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

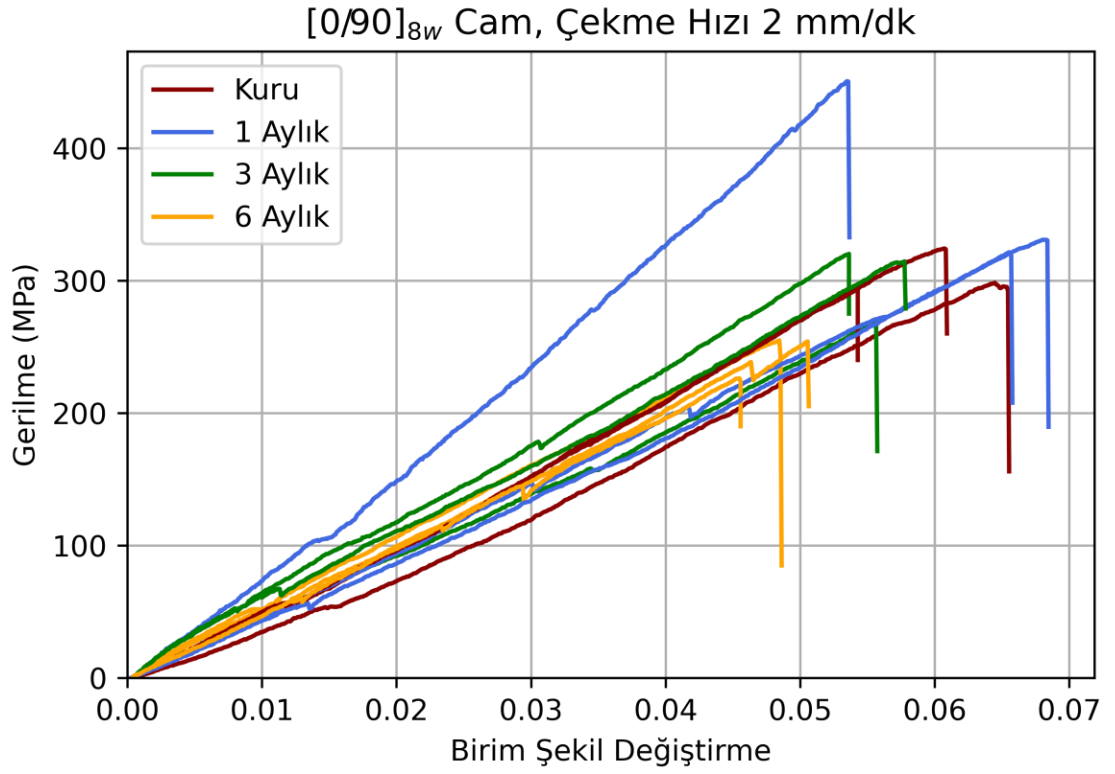
4.1.1.5 (0/90)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[0/90]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyu ortamında şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4. 5 (0/90)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-1-D-A	G-8-1-1M-A	G-8-1-3M-A	G-8-1-6M-A
Gerilme (MPa)	320,092	386,608	314,475	258,097
Birim Şekil Değiştirme	0,063	0,066	0,060	0,052
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	11899 	11854 	10690 	9310 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	13 	16 	157 	231 

Şekil 4.13'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 13 (G-8-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

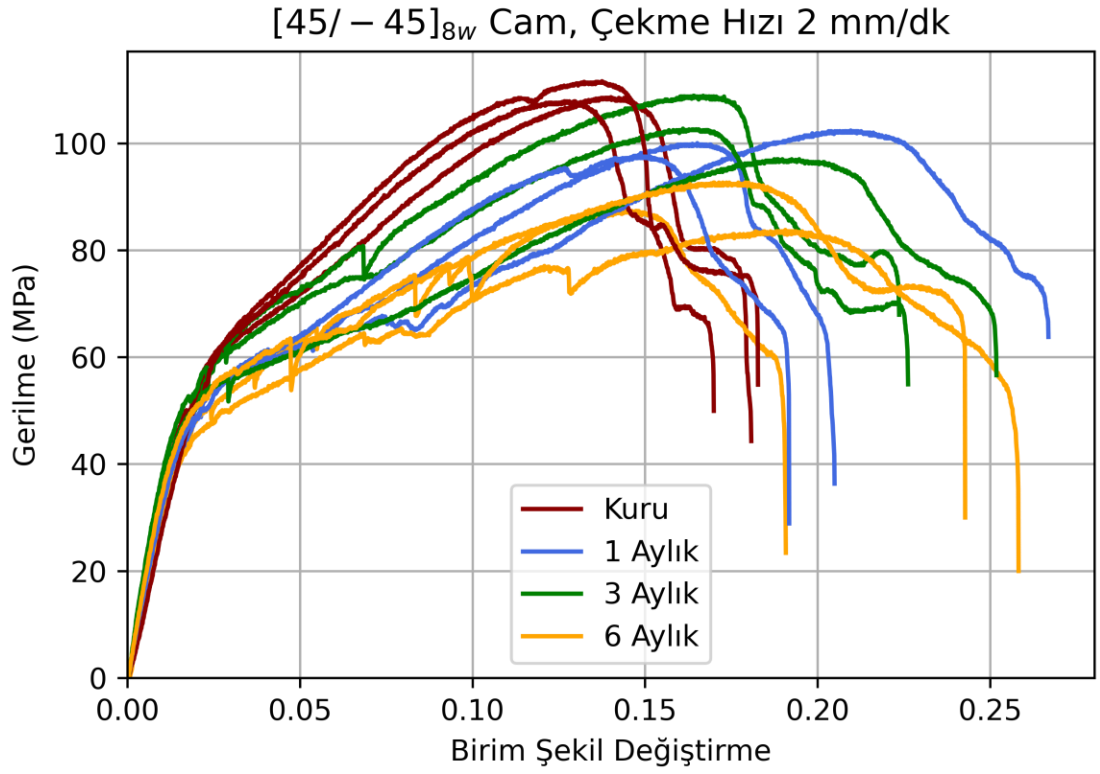
4.1.1.6 (45/-45)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[45/-45]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4. 6 (45/-45)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-2-D-A	G-8-2-1M-A	G-8-2-3M-A	G-8-2-6M-A
Gerilme (MPa)	122,400	113,374	112,225	97,402
Birim Şekil Değiştirme	0,138	0,177	0,176	0,172
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	11658 	12968 	13115 	13115 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.14'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 14 (G-8-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

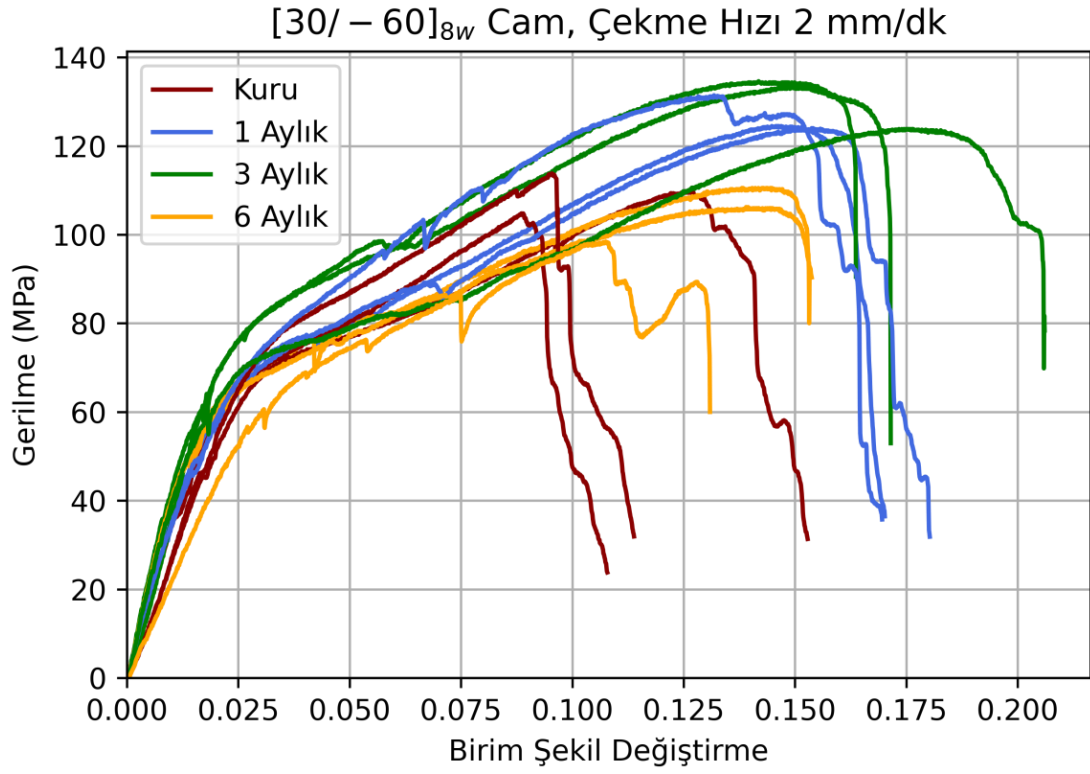
4.1.1.7 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4. 7 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-3-D-A	G-8-3-1M-A	G-8-3-3M-A	G-8-3-6M-A
Gerilme (MPa)	121,362	139,682	136,019	113,449
Birim Şekil Değiştirme	0,107	0,147	0,159	0,132
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	11643 	13115 	10571 	9907 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	21 	31 	164 	176 

Şekil 4.15'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 15 (G-8-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

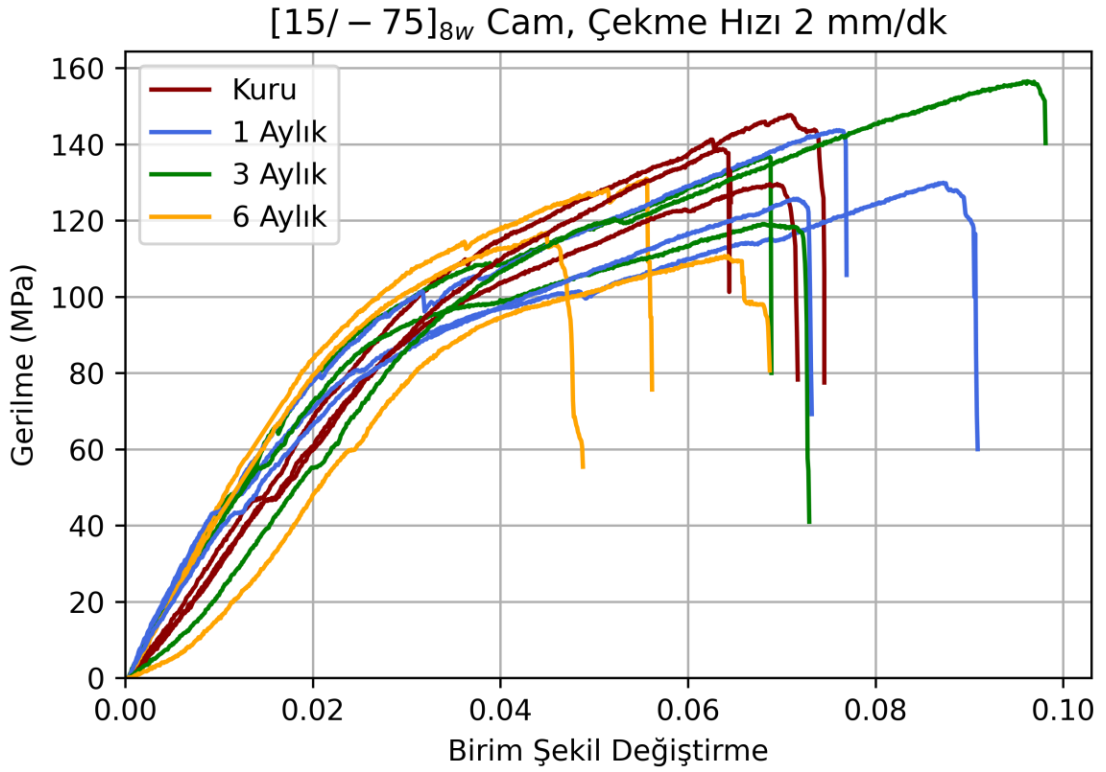
4.1.1.8 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/75]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4. 8 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-4-D-A	G-8-4-1M-A	G-8-4-3M-A	G-8-4-6M-A
Gerilme (MPa)	151,907	149,077	145,027	126,633
Birim Şekil Değiştirme	0,072	0,082	0,081	0,058
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	13115 	10810 	13115 	13115 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	23 	38 	168 	238 

Şekil 4.16'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 16 (G-8-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

4.1.2 Cam Numunelerin 10mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri

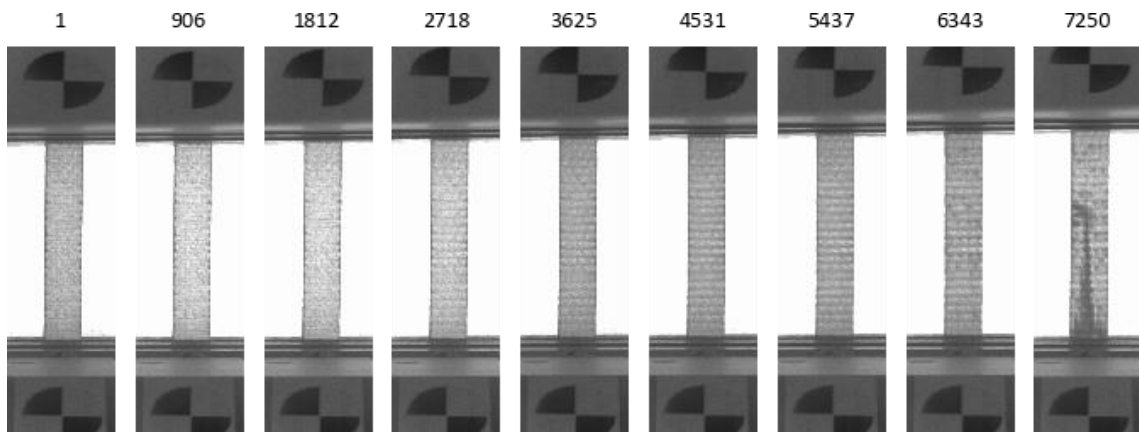
8 farklı oryantasyonda üretilen cam numuneler, 10 mm/dk çekme hızında teste tabi tutulmuşlar ve elde edilen sonuçlar bu kısımda sunulmuştur.

4.1.2.1 (0/90)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

(0/90)_{4w} oryantasyona sahip cam takviyeli numunelerden, aynı özellikte 12 adet hazırlanmıştır. Deniz suyuna daldırılan numunelerin üçü 1 ay, üçü 3 ay ve kalan 3 tanesi de 6 ay deniz suyunda bekletilmiştir. Deniz suyunda bekletilmeyen 3 numunenin testleri hemen yapılmış ama diğer numunelerin testleri bekleme süreleri dolduğunda gerçekleştirilmiştir.

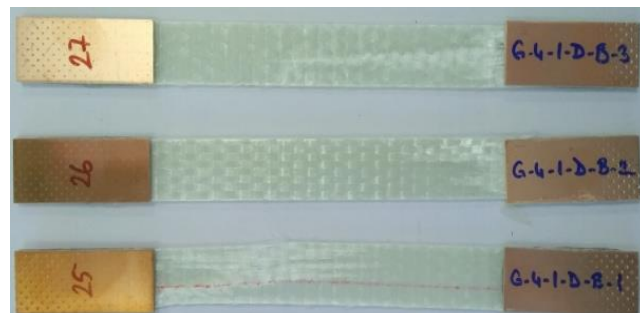
- **Kuru Ortam Numuneleri (G-4-1-D-B)**

Deniz suyunda bekletilmeyen numunelerin çekme testleri numune hazırlama işleminden sonra hemen gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.17'de deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin aynı zaman aralığına sahip, farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 300 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 17 G-4-1-D-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

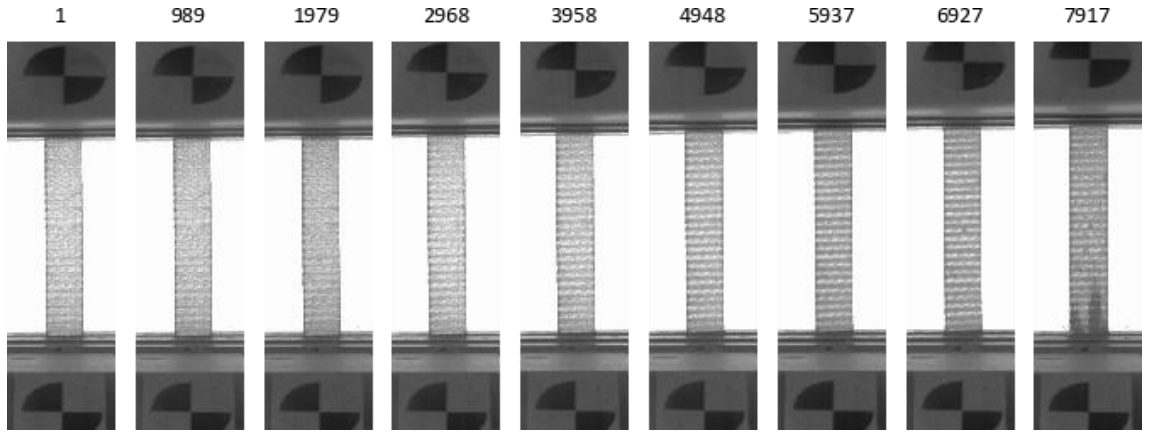
Deniz suyunda bekletilmeyen kuru numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 25. numune 518,799 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,059 gerinim değerine, 26. Numune 496,390 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,056 gerinim değerine ve son olarak 27. numune 517,680 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,058 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.18'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 25, 26 ve 27 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 18 G-4-1-D-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **1 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (G-4-1-1M-B)**

Deniz suyunda bekletilen 9 adet numunenin 3 tanesi 1 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.19'da deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 300 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 19 G-4-1-1M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

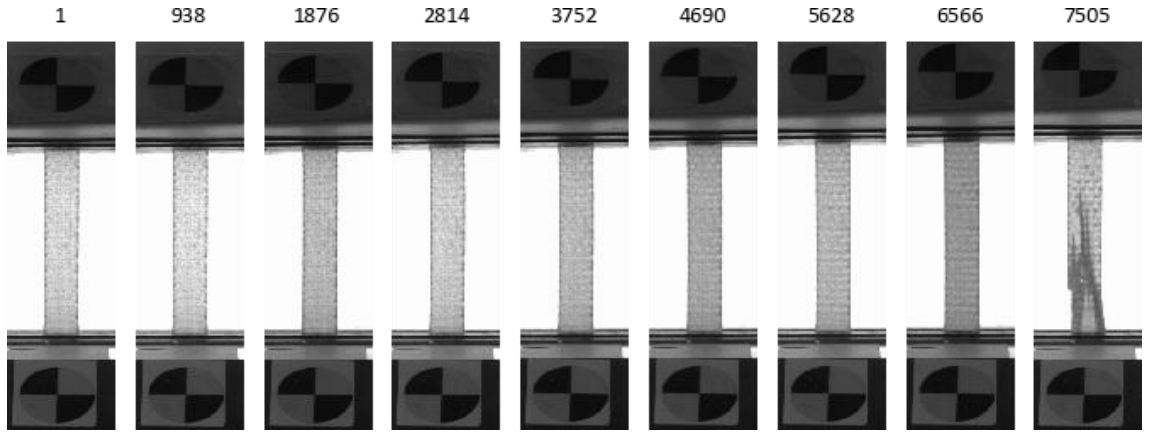
Deniz suyunda 1 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 97. numune 504,764 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,062 gerinim değerine, 98. numune 601,141 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,068 gerinim değerine ve son olarak 99. numune 504,764 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,062 gerinim değerine sahiptir Şekil 4.20'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 97, 98 ve 99 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 20 G-4-1-1M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **3 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (G-4-1-3M-B)**

Deniz suyunda şartlandırılan 6 adet numunenin 3 tanesi 3 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.21'de deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 300 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 21 G-4-1-3M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

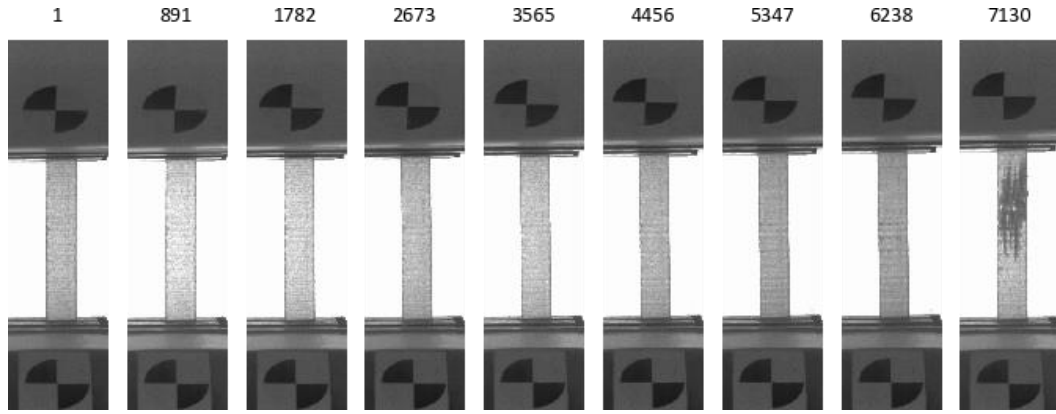
Deniz suyunda 3 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 169. numune 546,525 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,059 gerinim değerine, 170. numune 565,038 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,062 gerinim değerine ve son olarak 171. numune 576,159 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,064 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.22'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 169, 170 ve 171 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 22 G-4-1-3M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

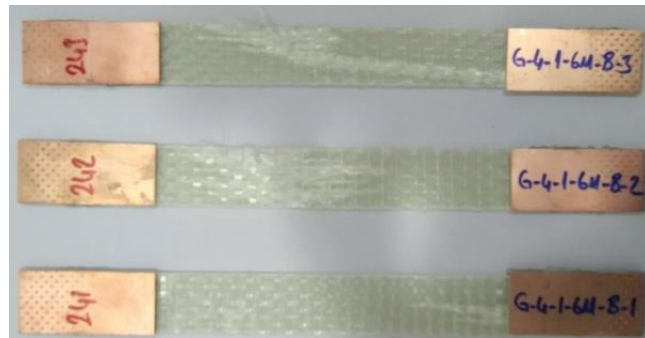
- **6 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (G-4-1-6M-B)**

Deniz suyunda kalan son 3 adet numune 6 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.23'te deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 300 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



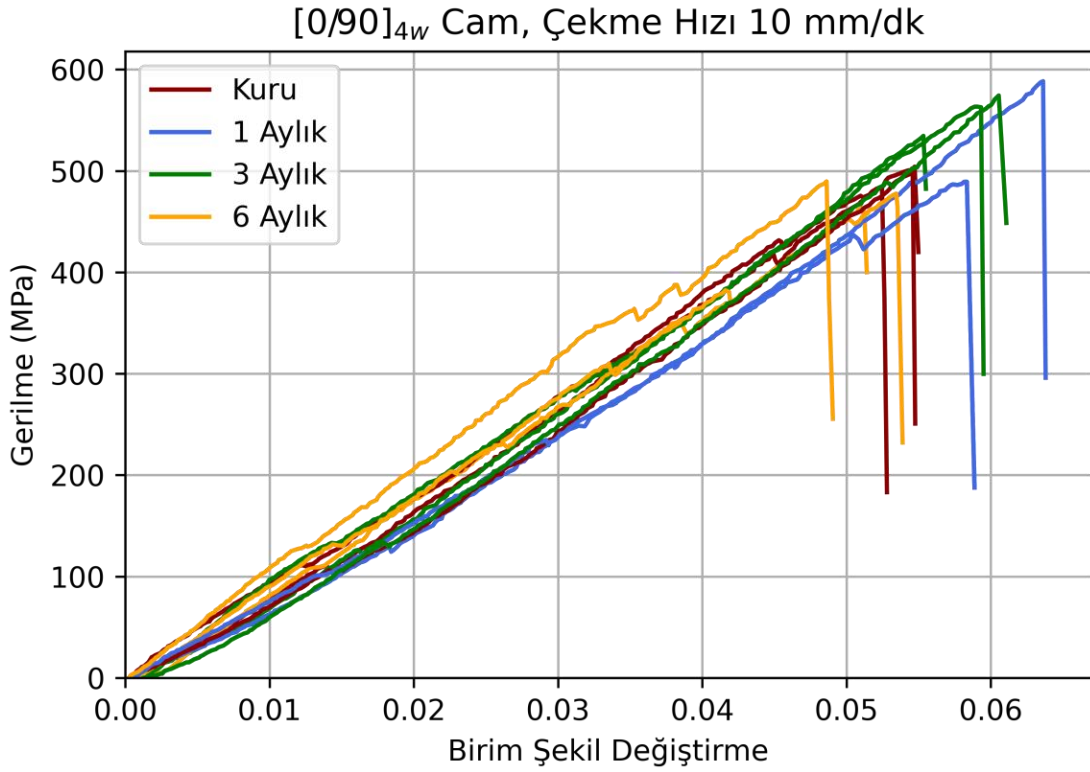
Şekil 4. 23 G-4-1-6M-B kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyunda 6 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 241. numune 470,123 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,055 gerinim değerine, 242. numune 482,118 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,057 gerinim değerine ve son olarak 243. numune 492,377 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,053 gerinim değerine sahiptir. Bu 3 numunenin azami çekme gerilmelerinin ortalaması 474,904 MPa'dır. Şekil 4.24'te ise çekme testleri gerçekleştirilen 241, 242 ve 243 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 24 G-4-1-6M-B kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

Şekil 4.25'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 25 (G-4-1-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

[0/90]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4. 9 [0/90]_{4w} oryantasyona sahip cam numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri

[0/90] _{4w}	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Gerilme (MPa)	510,956	536,890	562,574	481,539
Birim Şekil Değiştirme	0,058	0,064	0,062	0,055

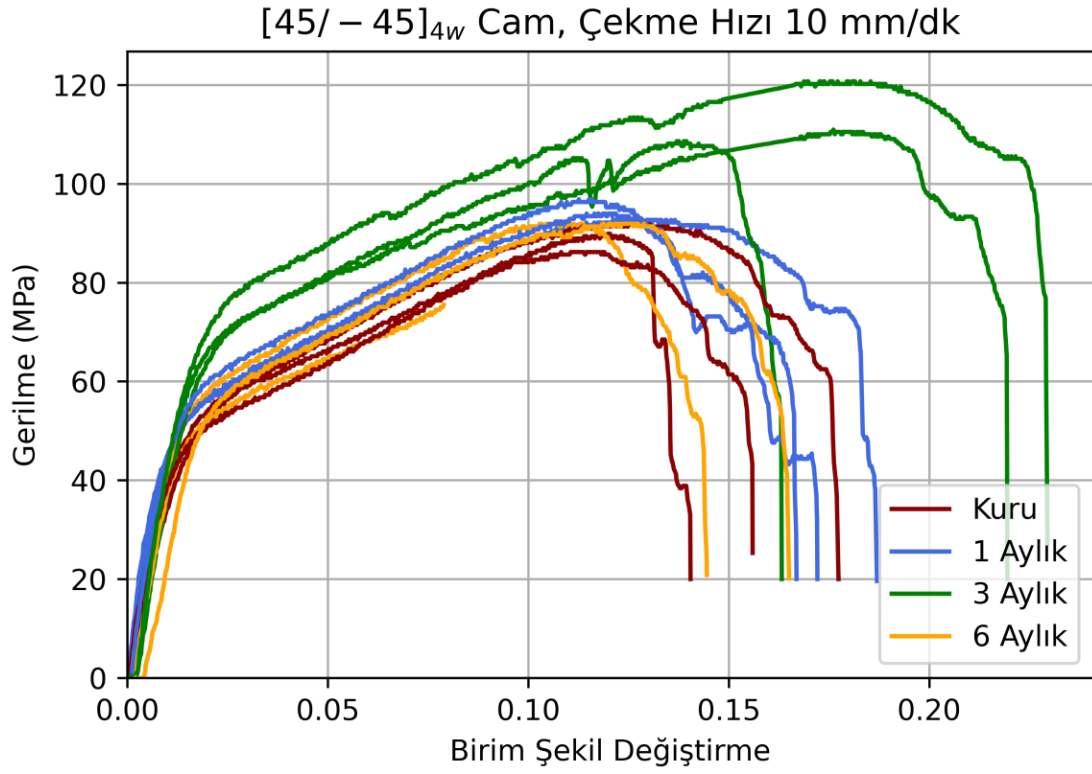
4.1.2.2 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[45/-45]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4. 10 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-2-D-B	G-4-2-1M-B	G-4-2-3M-B	G-4-2-6M-B
Gerilme (MPa)	94,540	97,534	15,082	88,226
Birim Şekil Değiştirme	0,116	0,117	0,170	0,105
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	5948 	13115 	7627 	6161 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.26'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 26 (G-4-2-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

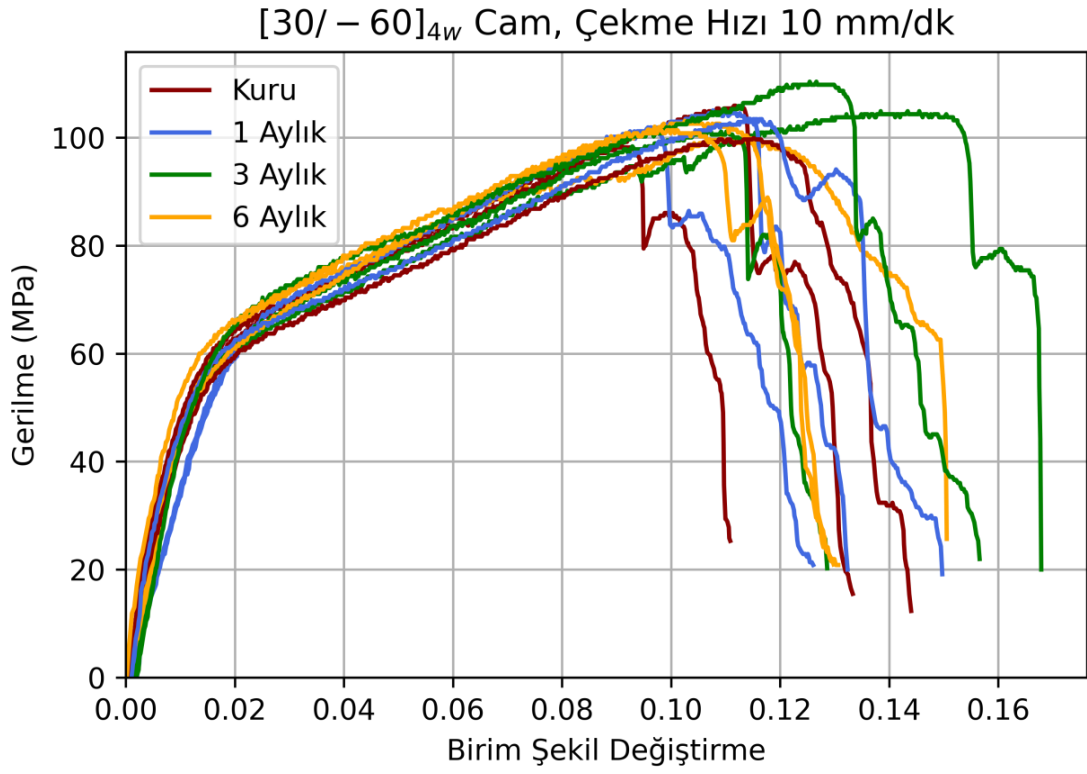
4.1.2.3 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4. 11 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-3-D-B	G-4-3-1M-B	G-4-3-3M-B	G-4-3-6M-B
Gerilme (MPa)	104,838	104,923	107,129	105,567
Birim Şekil Değiştirme	0,105	0,106	0,132	0,107
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	5079 	4580 	6571 	4927 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	32 	409 	175 	249 

Şekil 4.27'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 27 (G-4-3-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

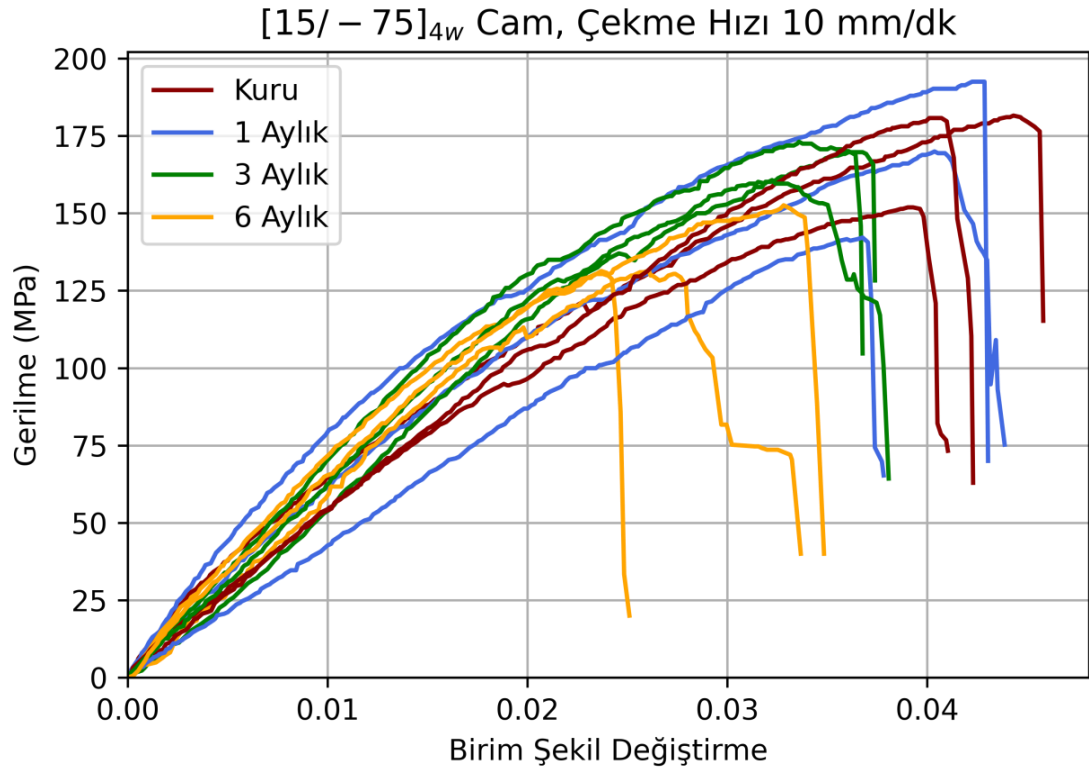
4.1.2.4 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/-75]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4. 12 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-4-4-D-B	G-4-4-1M-B	G-4-4-3M-B	G-4-4-6M-B
Gerilme (MPa)	181,783	174,814	169,206	140,299
Birim Şekil Değiştirme	0,045	0,046	0,041	0,033
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	4956 	5217 	4749 	4865 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	36 	106 	179 	282 

Şekil 4.28'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

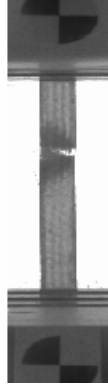
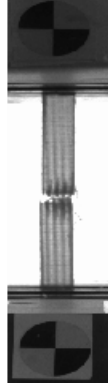
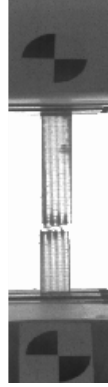


Şekil 4. 28 (G-4-4-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

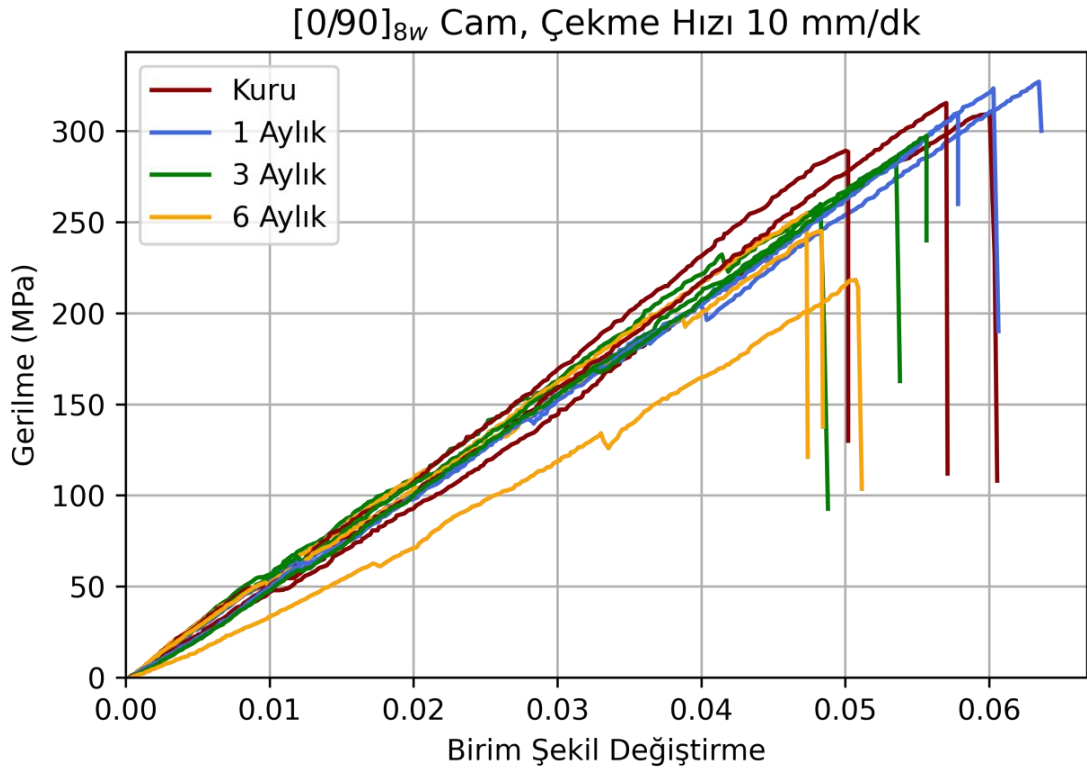
4.1.2.5 $(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

$[0/90]_w$ oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4. 13 $(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-1-D-B	G-8-1-1M-B	G-8-1-3M-B	G-8-1-6M-B
Gerilme (MPa)	322,837	327,587	286,902	253,025
Birim Şekil Değiştirme	0,059	0,064	0,056	0,053
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	7196 	7567 	6544 	6672 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.29'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 29 (G-8-1-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

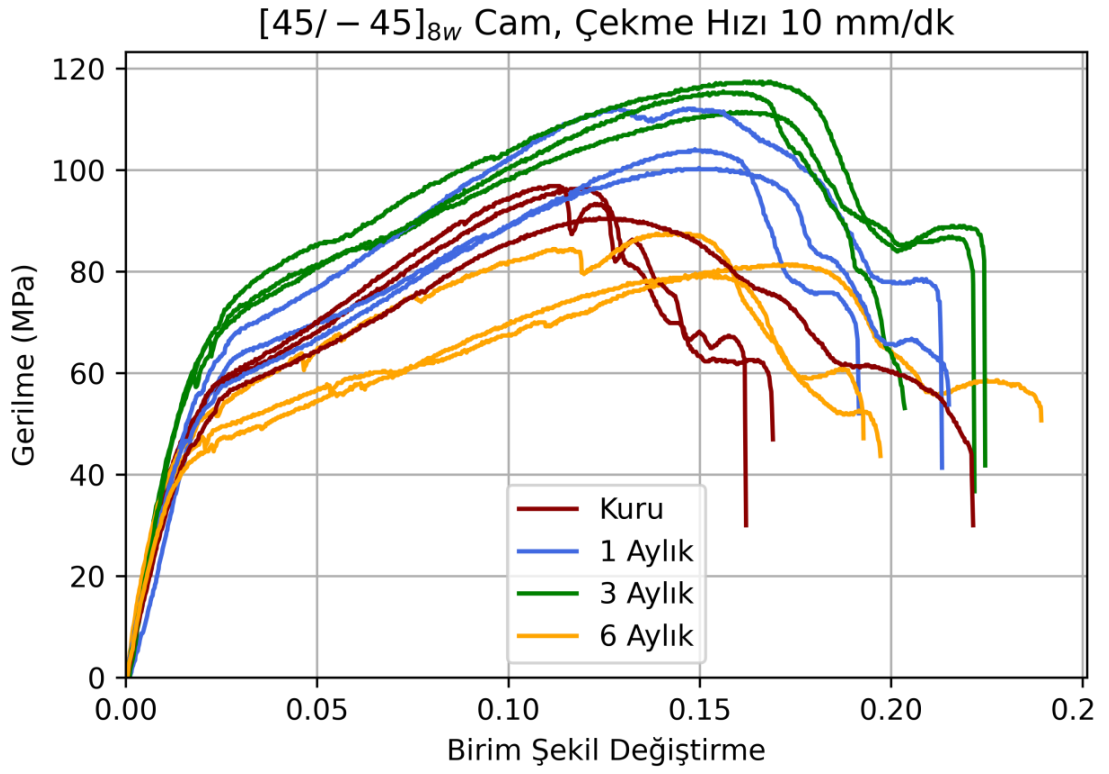
4.1.2.6 (45/-45)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[45/-45]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.14'te verilmiştir.

Tablo 4. 14 (45/-45)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-2-D-B	G-8-2-1M-B	G-8-2-3M-B	G-8-2-6M-B
Gerilme (MPa)	108,697	113,001	119,786	99,280
Birim Şekil Değiştirme	0,124	0,148	0,164	0,158
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	7448 	7281 	6903 	8121 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	42 	114 	185 	256 

Şekil 4.30'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 30 (G-8-2-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

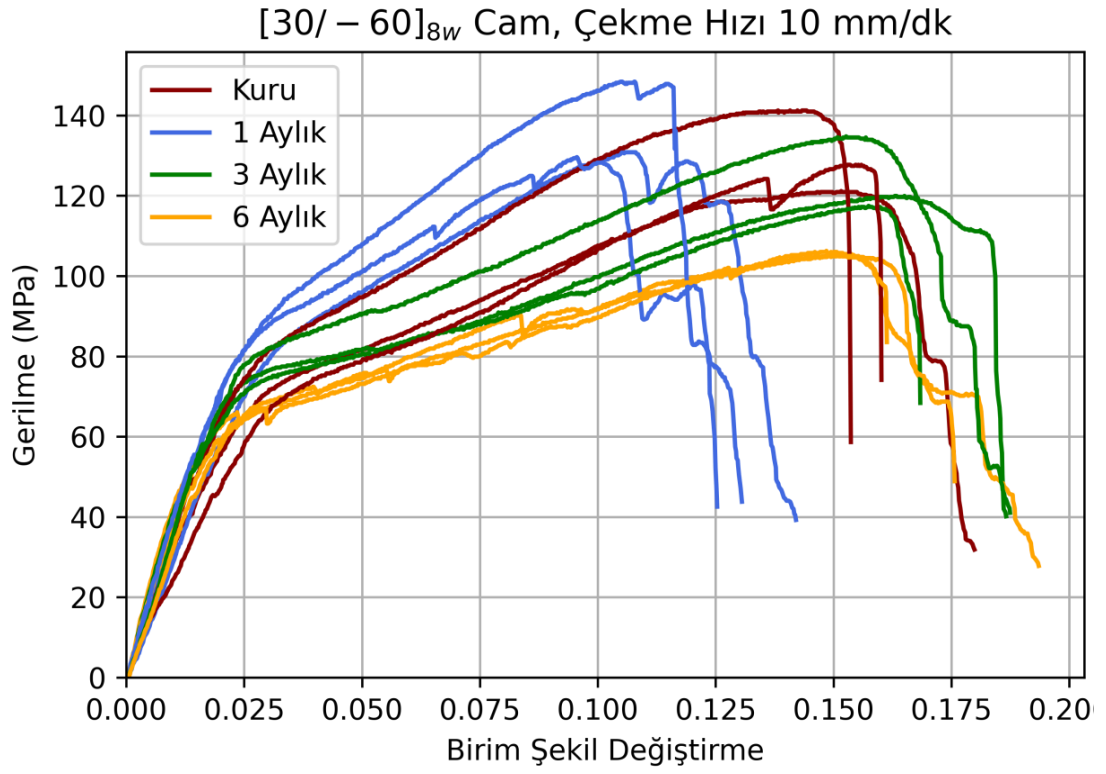
4.1.2.7 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4. 15 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-3-D-B	G-8-3-1M-B	G-8-3-3M-B	G-8-3-6M-B
Gerilme (MPa)	143,901	144,613	130,419	118,516
Birim Şekil Değiştirme	0,152	0,106	0,162	0,154
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	5705 	5371 	5851 	5609 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	44 	185 	199 	261 

Şekil 4.31'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 31 (G-8-3-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

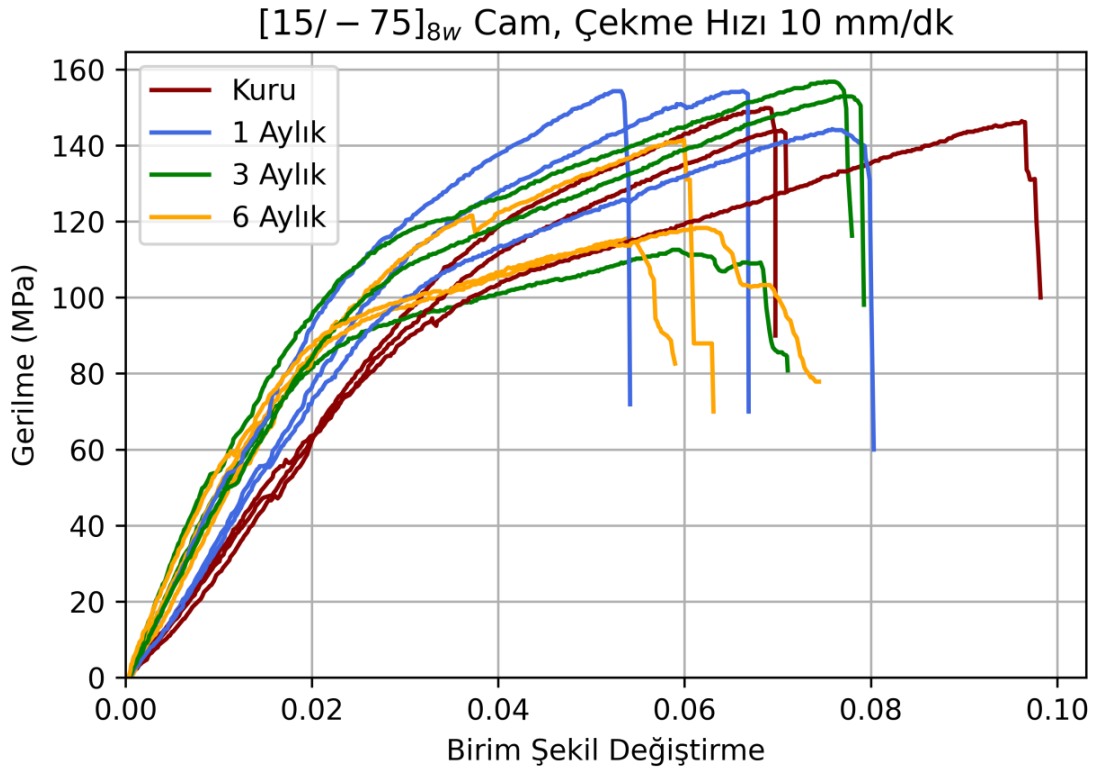
4.1.2.8 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/-75]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı cam takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 10 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4. 16 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip cam numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	G-8-4-D-B	G-8-4-1M-B	G-8-4-3M-B	G-8-4-6M-B
Gerilme (MPa)	160,101	156,938	150,865	132,413
Birim Şekil Değiştirme	0,082	0,069	0,074	0,062
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	6861 	7664 	8970 	6618 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	47 	120 	191 	263 

Şekil 4.32'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 32 (G-8-4-D/1M/3M/6M-B) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

4.1.3 Karbon Numunelerin 2mm/dk Hızında Gerçekleştirilen Deneyleri

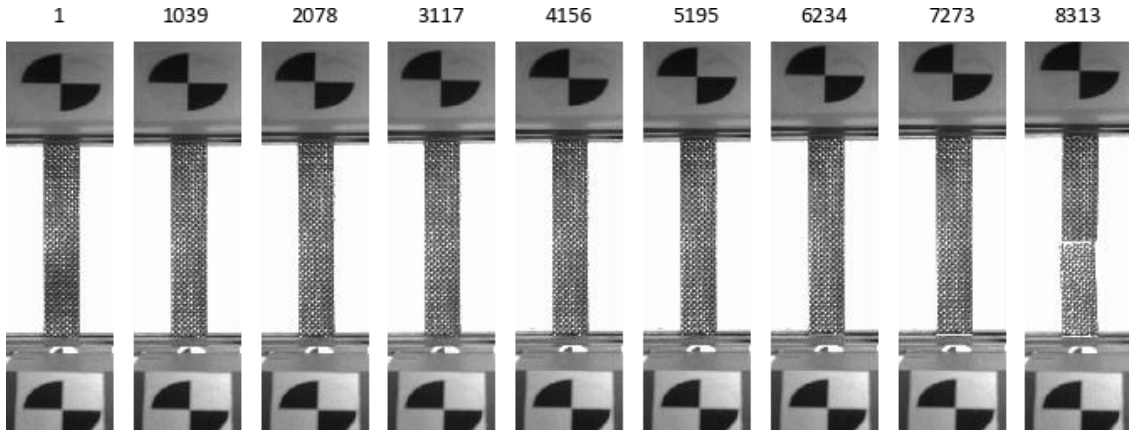
8 farklı oryantasyonda üretilen karbon kompozit numuneler, 2 mm/dk çekme hızında teste tabi tutulduklarında elde edilen sonuçlar bu kısımda tartışılmıştır.

4.1.3.1 (0/90)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

(0/90)_{4w} oryantasyona sahip karbon takviyeli numunelerden, aynı özellikte 12 adet hazırlanmıştır. Deniz suyuna daldırılan numunelerin üçü 1 ay, üçü 3 ay ve kalan 3 tanesi de 6 ay deniz suyunda bekletilmiştir. Deniz suyunda bekletilmeyen 3 numunenin testleri hemen yapılmış ama diğer numunelerin testleri bekleme süreleri dolduğunda gerçekleştirilmiştir.

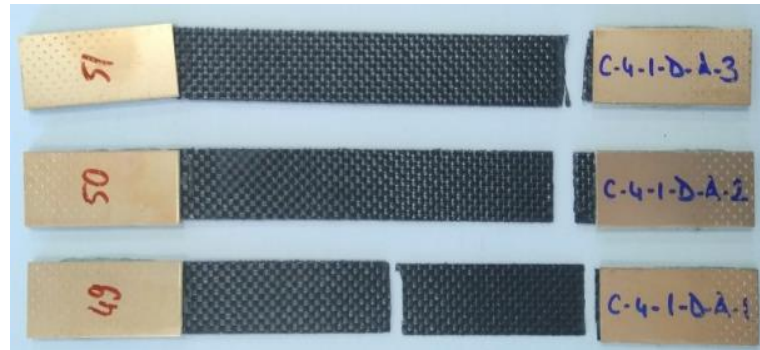
- **Kuru Ortam Numuneleri (C-4-1-D-A)**

Deniz suyunda bekletilmeyen kuru numunelerin çekme testleri numune hazırlama işleminden sonra hemen gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.33'te deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin aynı zaman aralığına sahip, farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 33 C-4-1-D-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

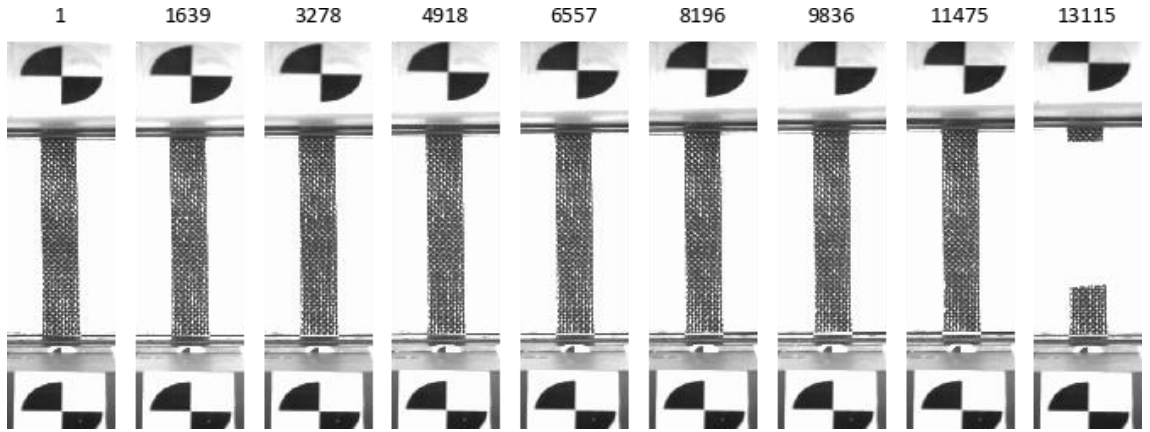
Deniz suyunda bekletilmeyen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 49. numune 538,401 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,045 gerinim değerine, 50. numune 501,193 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,041 gerinim değerine ve son olarak 51. numune 478,993 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,038 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.34'te ise çekme testleri gerçekleştirilen 50, 51 ve 52 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 34 C-4-1-D-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

- **1 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (C-4-1-1M-A)**

Deniz suyunda bekletilen 9 adet numunenin 3 tanesi 1 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.35'te deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 150 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 35 C-4-1-1M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

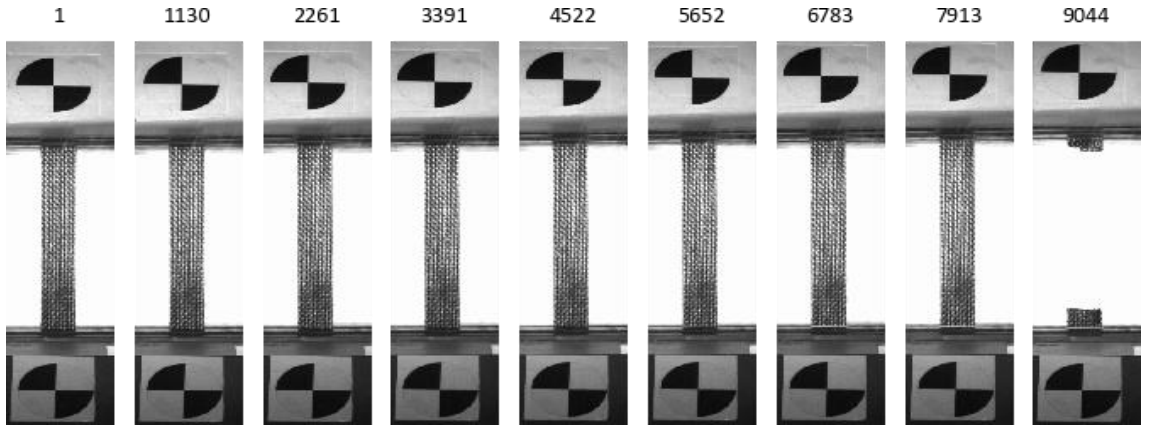
Deniz suyunda 1 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 121. numune 603,214 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,049 gerinim değerine, 122. numune 602,211 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,050 gerinim değerine ve son olarak 123. Numune 537,892 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,044 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.36'da ise çekme testleri gerçekleştirilen 121, 122 ve 123 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 36 C-4-1-1M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

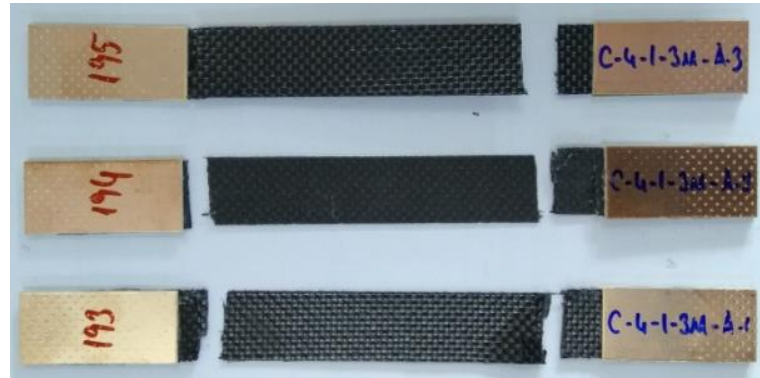
- **3 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (C-4-1-3M-A)**

Deniz suyunda şartlandırılan 6 adet numunenin, 3 tanesi 3 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.37'de deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı hasar oluşumu verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 100 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4. 37 C-4-1-3M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

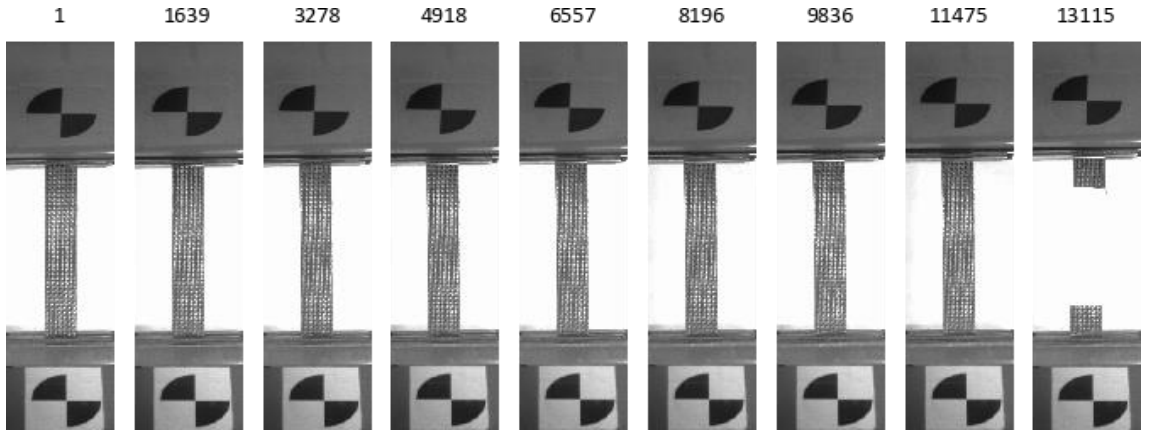
Deniz suyunda 3 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 193. numune 581,898 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,051 gerinim değerine, 194. numune 676,485 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,047 gerinim değerine ve son olarak 195. numune 612,942 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,045 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.38'de ise çekme testleri gerçekleştirilen 192,193 ve 194 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 38 C-4-1-3M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

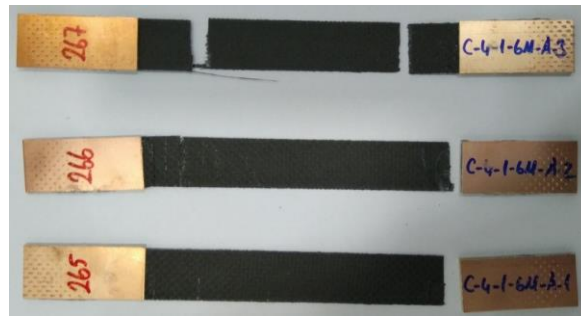
- **6 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler (C-4-1-6M-A)**

Deniz suyunda şartlandırılan son 3 adet numune 6 ay sonra çıkarılmış ve çekme testleri yapılmıştır. Şekil 4.39'da deney sırasında yüksek hızlı kamera ile çekilen numunenin, aynı zaman aralığına sahip farklı zamanlardaki görüntülerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş, zamana bağlı görüntüsü verilmiştir. Resmin üzerindeki sayılar kaçınıcı frame olduğunu göstermektedir. Bu test saniyede 150 frame olarak kayıt altına alınmıştır.



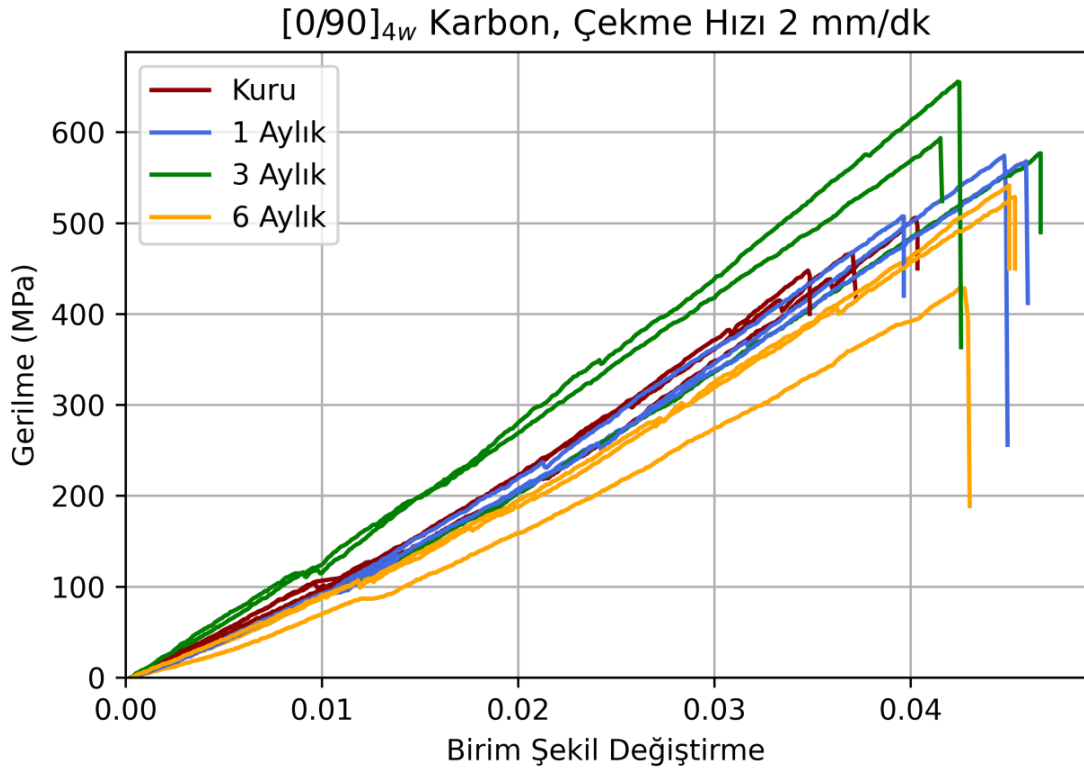
Şekil 4. 39 C-4-1-6M-A kodlu numunenin yüksek hızlı kamera görüntüleri

Deniz suyunda 6 ay bekletilen numunelerin çekme testleri 3 kez tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre; 265. numune 451,002 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,046 gerinim değerine, 266. numune 558,974 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,049 gerinim değerine ve son olarak 267. numune 553,473 MPa azami çekme gerilmesine ve bu gerilmeye karşılık 0,049 gerinim değerine sahiptir. Şekil 4.40'ta ise çekme testleri gerçekleştirilen 265, 266 ve 267 numaralı numunelerin deney sonrası hasar görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 40 C-4-1-6M-A kodlu numunelerin test sonrası görüntüleri

Şekil 4.41'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 41 (C-4-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

[0/90]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleri Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4. 17 [0/90]_{4w} oryantasyona sahip karbon numunenin gerilme ve birim şekil değiştirme değerleri

[0/90] _{4w}	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Gerilme (MPa)	506,196	581,106	623,775	521,150
Birim Şekil Değiştirme	0,041	0,048	0,048	0,048

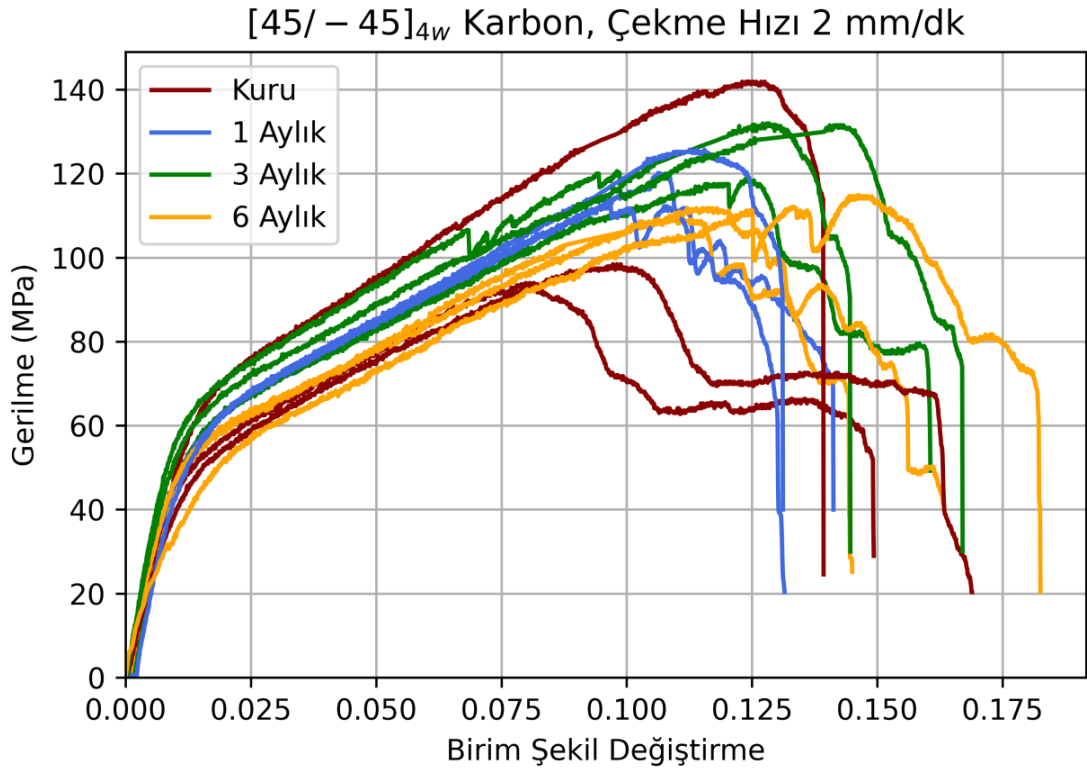
4.1.3.2 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[45/-45]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4. 18 (45/-45)_{4w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-4-2-D-A	C-4-2-1M-A	C-4-2-3M-A	C-4-2-6M-A
Gerilme (MPa)	121,342	120,662	128,764	117,208
Birim Şekil Değiştirme	0,102	0,109	0,136	0,130
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	12793 	12500 	13115 	13115 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	52 	124 	196 	269 

Şekil 4.42'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 42 (C-4-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

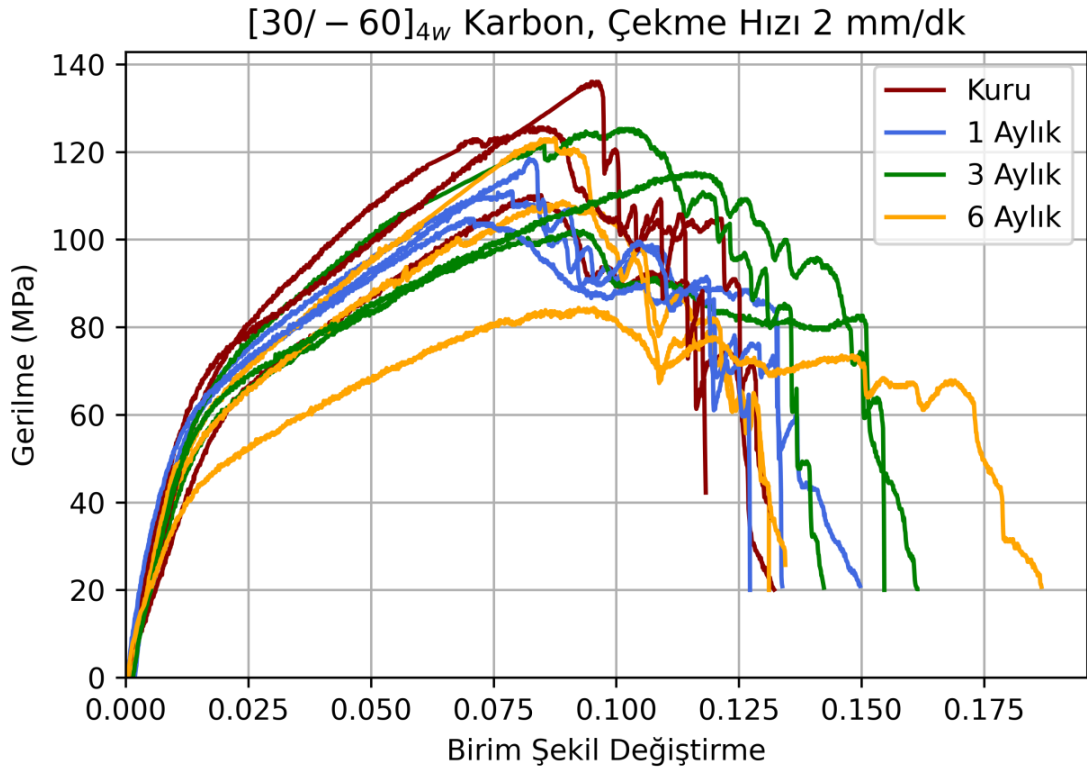
4.1.3.3 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4. 19 (30/-60)_{4w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-4-3-D-A	C-4-3-1M-A	C-4-3-3M-A	C-4-3-6M-A
Gerilme (MPa)	134,342	116,865	118,573	116,510
Birim Şekil Değiştirme	0,090	0,079	0,109	0,094
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	12154 	13115 	13115 	12095 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	55 	127 	199 	273 

Şekil 4.43'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 43 (C-4-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

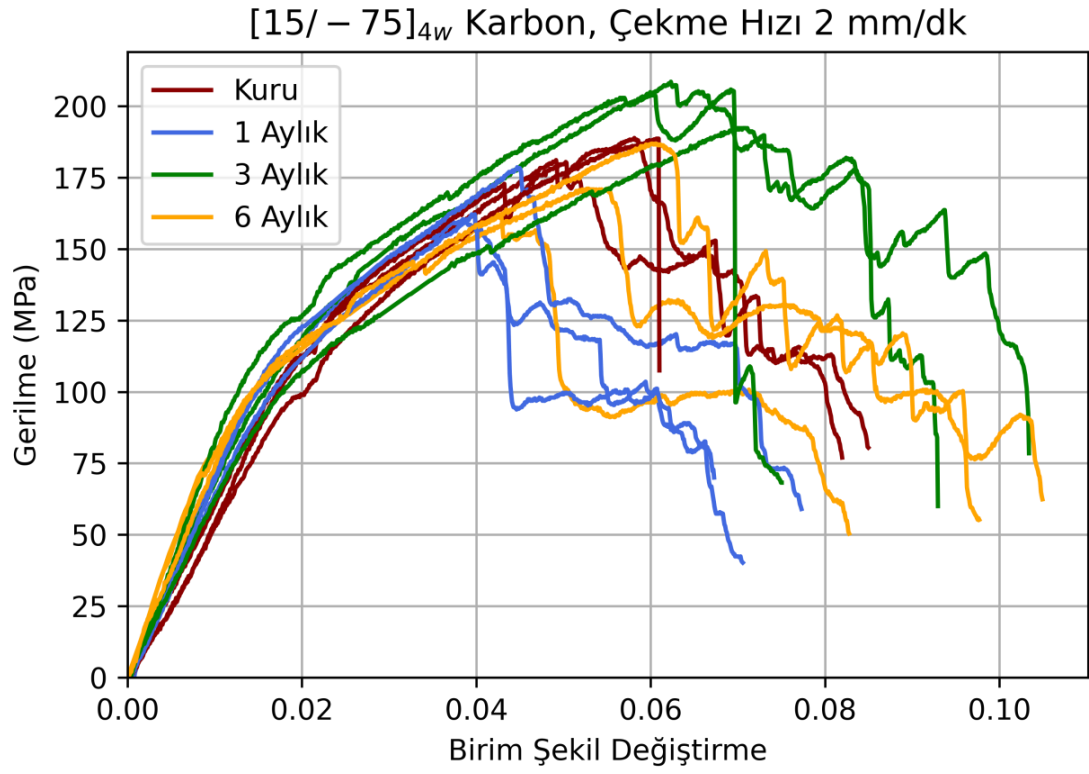
4.1.3.4 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/-75]_w oryantasyona sahip 4 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4. 20 (15/-75)_{4w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-4-4-D-A	C-4-4-1M-A	C-4-4-3M-A	C-4-4-6M-A
Gerilme (MPa)	203,949	181,108	203,879	177,429
Birim Şekil Değiştirme	0,061	0,045	0,074	0,072
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	8750 	13060 	8343 	13115 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	60 	130 	202 	276 

Şekil 4.44'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

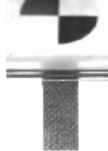
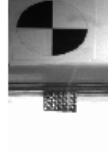
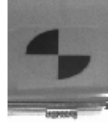


Şekil 4. 44 (C-4-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

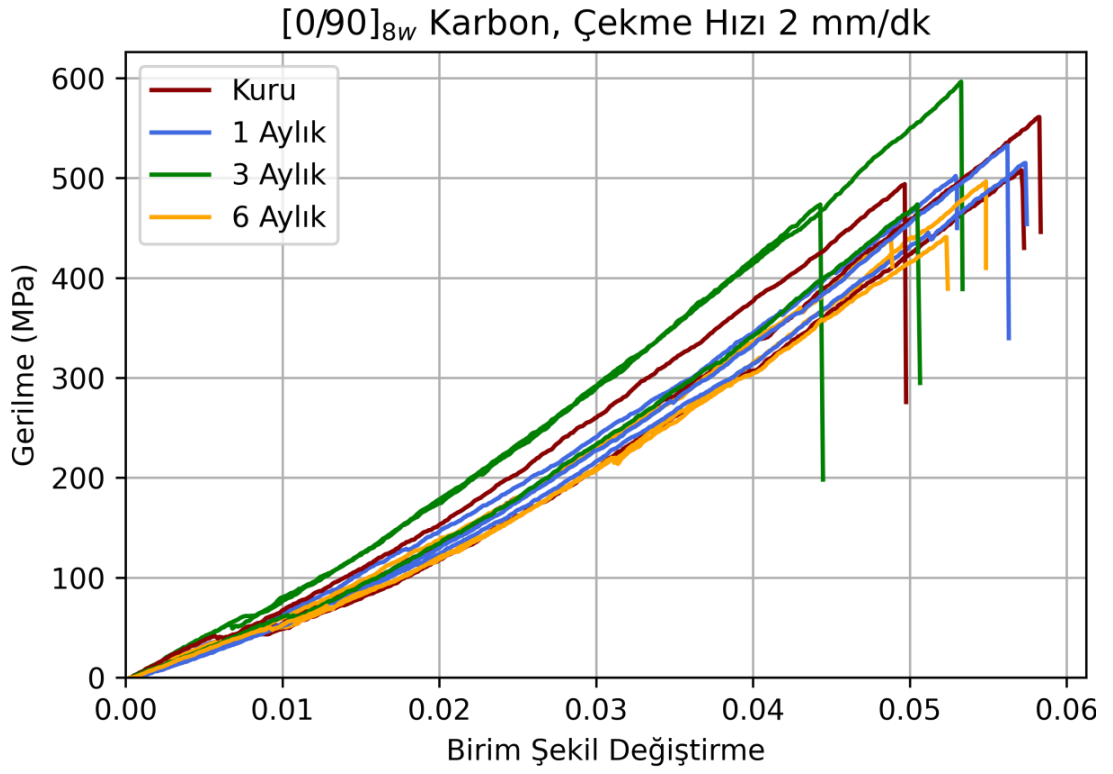
4.1.3.5 $(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

$[0/90]_w$ oryantasyona sahip 8 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4. 21 $(0/90)_{8w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-8-1-D-A	C-8-1-1M-A	C-8-1-3M-A	C-8-1-6M-A
Gerilme (MPa)	542,702	539,524	524,866	478,578
Birim Şekil Değiştirme	0,059	0,060	0,053	0,056
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	10921 	13115 	10151 	13115 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü				

Şekil 4.45'te ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

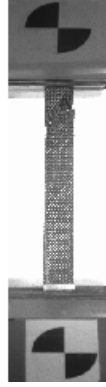


Şekil 4. 45 (C-8-1-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

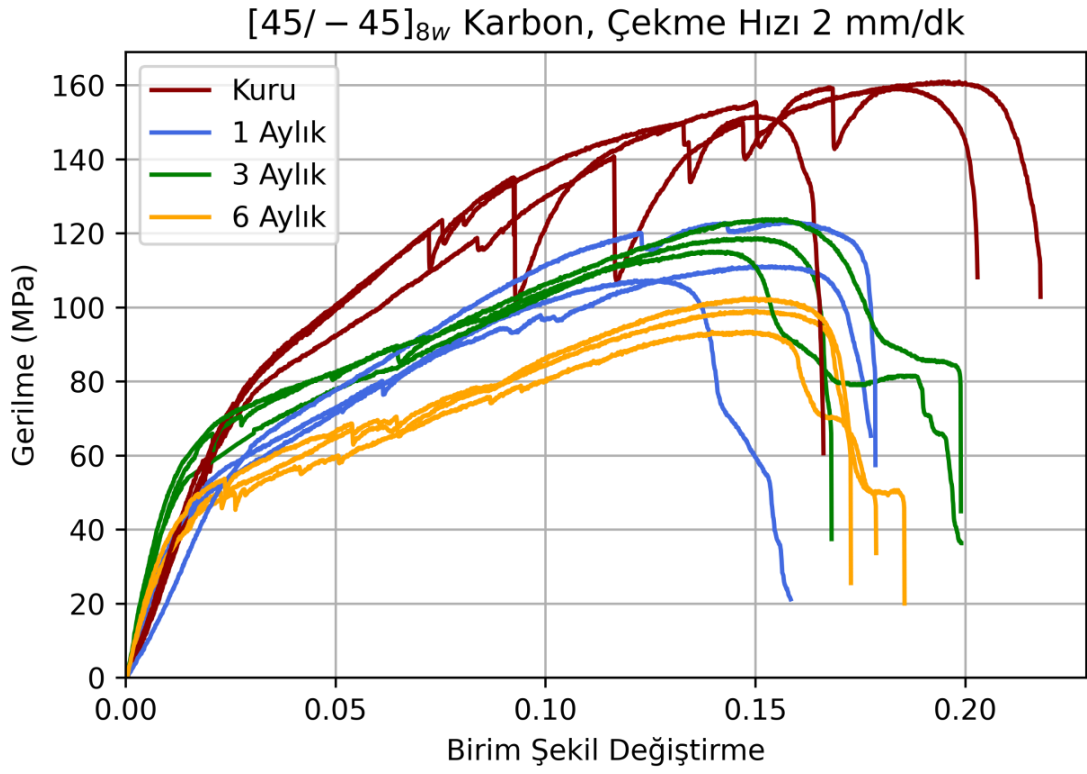
4.1.3.6 $(45/-45)_{8w}$ oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

$[45/-45]_w$ oryantasyona sahip 8 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4. 22 $(45/-45)_{8w}$ oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-8-2-D-A	C-8-2-1M-A	C-8-2-3M-A	C-8-2-6M-A
Gerilme (MPa)	165,496	130,348	123,619	114,066
Birim Şekil Değiştirme	0,174	0,146	0,148	0,149
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	8367 	10802 	13115 	11276 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	66 	156 	209 	292 

Şekil 4.46'da ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 46 (C-8-2-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

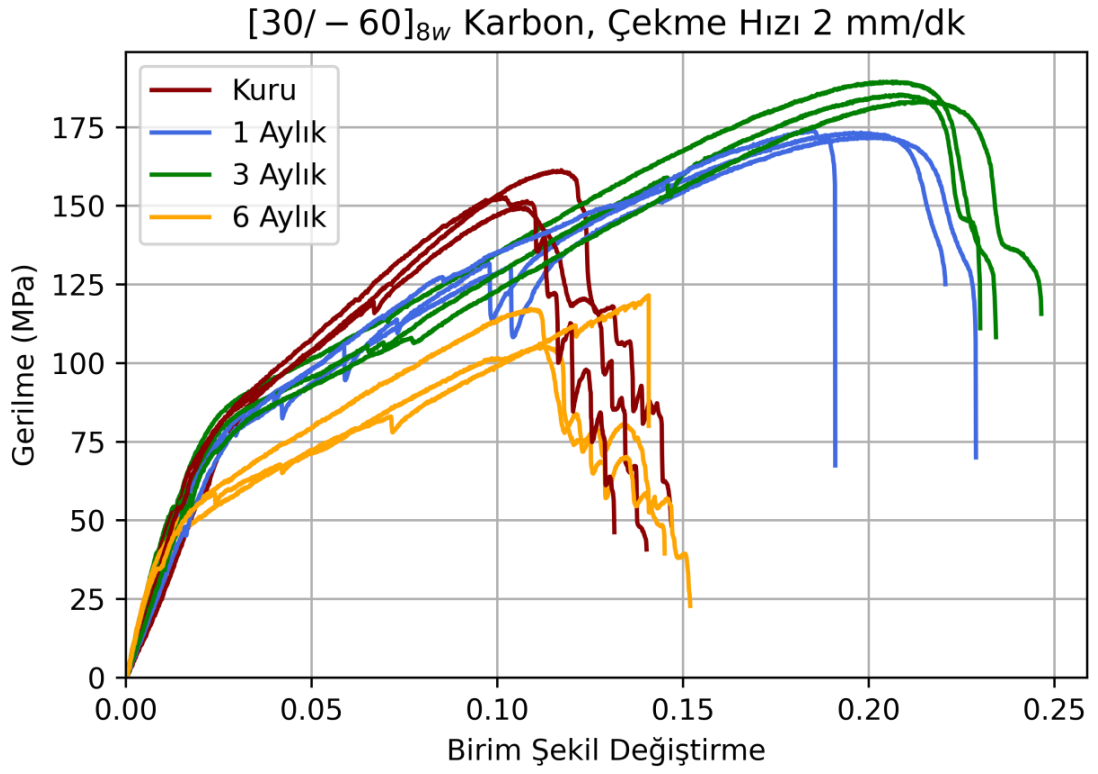
4.1.3.7 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[30/-60]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.23'de verilmiştir.

Tablo 4. 23 (30/-60)_{8w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-8-3-D-A	C-8-3-1M-A	C-8-3-3M-A	C-8-3-6M-A
Gerilme (MPa)	166,822	191,280	192,912	137,633
Birim Şekil Değiştirme	0,112	0,196	0,211	0,125
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	10905 	13115 	13115 	9735 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	67 	40 	213 	284 

Şekil 4.47'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. 47 (C-8-3-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

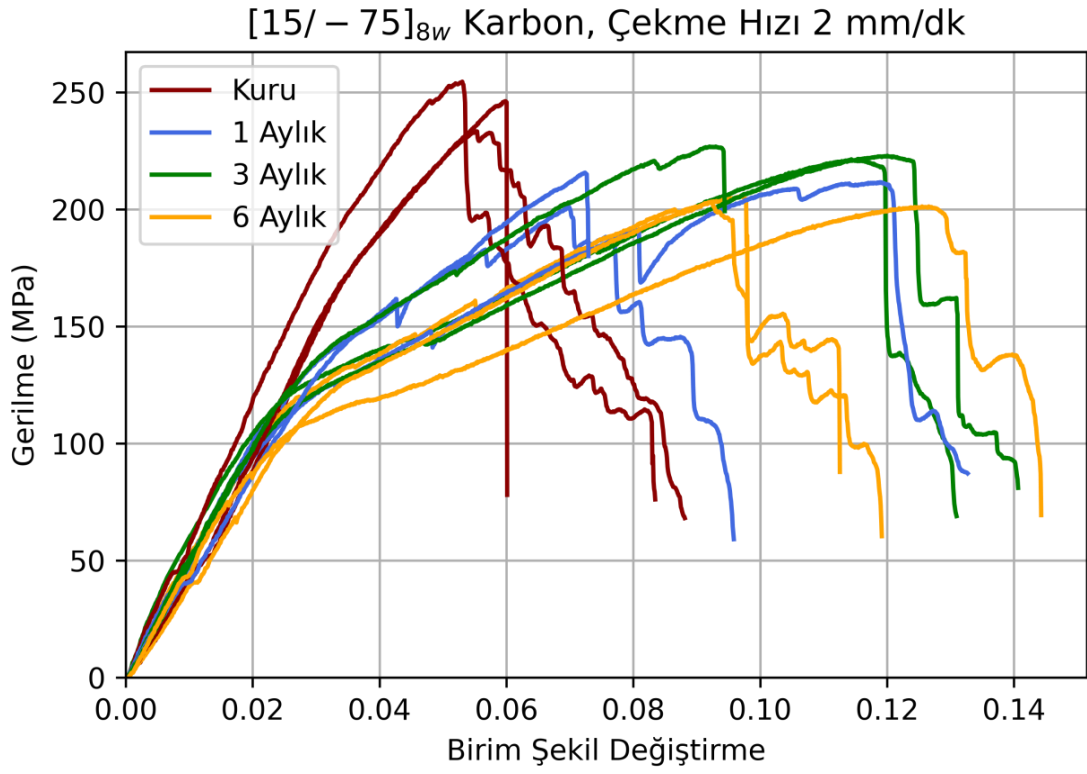
4.1.3.8 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip numunelerin çekme testleri

[15/-75]_w oryantasyona sahip 8 katmanlı karbon takviyeli kompozit malzemelerin kuru, 1 ay, 3 ay ve 6 ay süreyle deniz suyunda şartlandırılan numunelerinin, 2 mm/dk çekme hızında yapılan deneyler sonucunda, ortalama gerilme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen birim şekil değiştirme değerleriyle beraber çekme testi sonrası hasarlı görüntüleri Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4. 24 (15/-75)_{8w} oryantasyonuna sahip karbon numunelerin çekme testi görüntüleri

Ortam	Kuru	1 Aylık	3 Aylık	6 Aylık
Numune Kodu	C-8-4-D-A	C-8-4-1M-A	C-8-4-3M-A	C-8-4-6M-A
Gerilme (MPa)	260,038	230,786	232,541	218,714
Birim Şekil Değiştirme	0,060	0,091	0,113	0,109
Yüksek Hızlı Kamera Görüntüsü	13115 	13115 	8667 	9209 
Çekme Testi Sonrası Hasarlı Numune Görüntüsü	71 	115 	214 	312 

Şekil 4.48'de ise 12 numune için yapılan çekme testleri sonunda elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



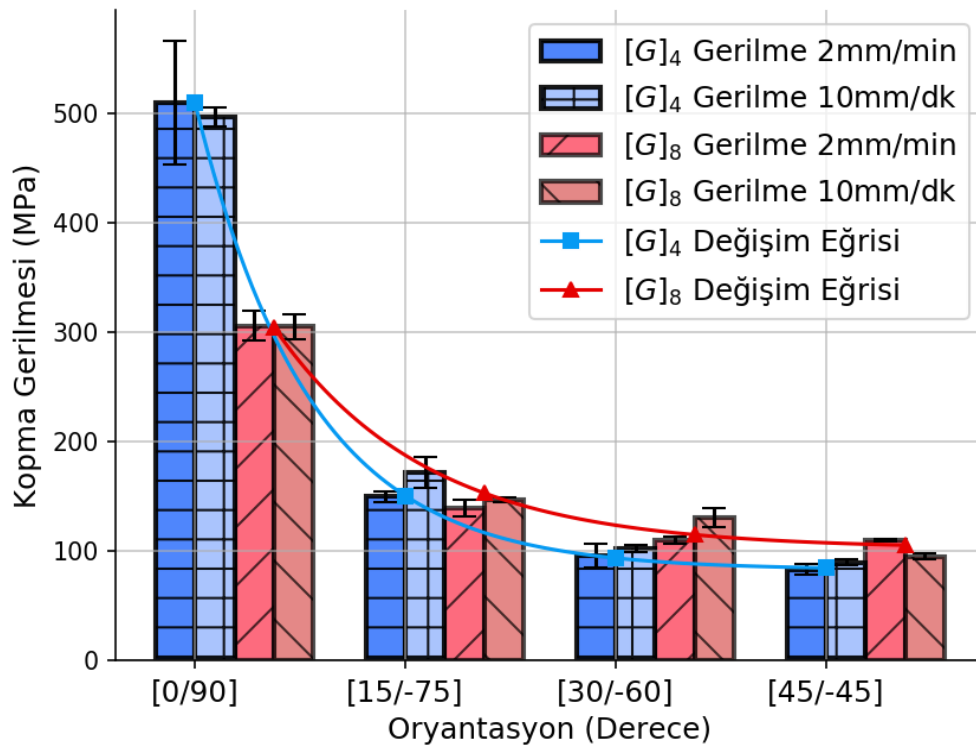
Şekil 4. 48 (C-8-4-D/1M/3M/6M-A) numunelerinin gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

5.1 Kuru Ortam Numuneleri için Sonuçların Analizi

Öncelikle ortam etkileri olmadan, kuru ortam numunelerinin çekme testi sonuçlarına oryantasyon ve katman açısının etkileri incelenmiştir. Bunun için karbon ve cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzemelerinin test sonuçları kendi aralarında değerlendirilmiştir.

Cam fiber takviyeli epoksi numunelerinin test sonuçları karşılaştırıldığında Şekil 5.1'deki grafik elde edilmiş ve açılar arasında açık bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 5. 1 Cam fiber takviyeli epoksi kuru ortam numunelerinin test sonuçları ve değişim eğrisi

4 ve 8 katman için, her bir oryantasyonun kopma gerilmesi değerinden geçecek şekilde eğri uydurulmuştur. Eğri mevcut oryantasyonlarda dahil olmak üzere, herhangi bir açıda üretilen cam fiber takviyeli epoksi kompozit malzemesinin, 4 ve

8 katman için kopma gerilmesi değerlerini yaklaşık olarak vermektedir. Bu eğrinin denklemi;

$$\sigma_{CamKopma} = ae^{bx} + c \quad (5.1)$$

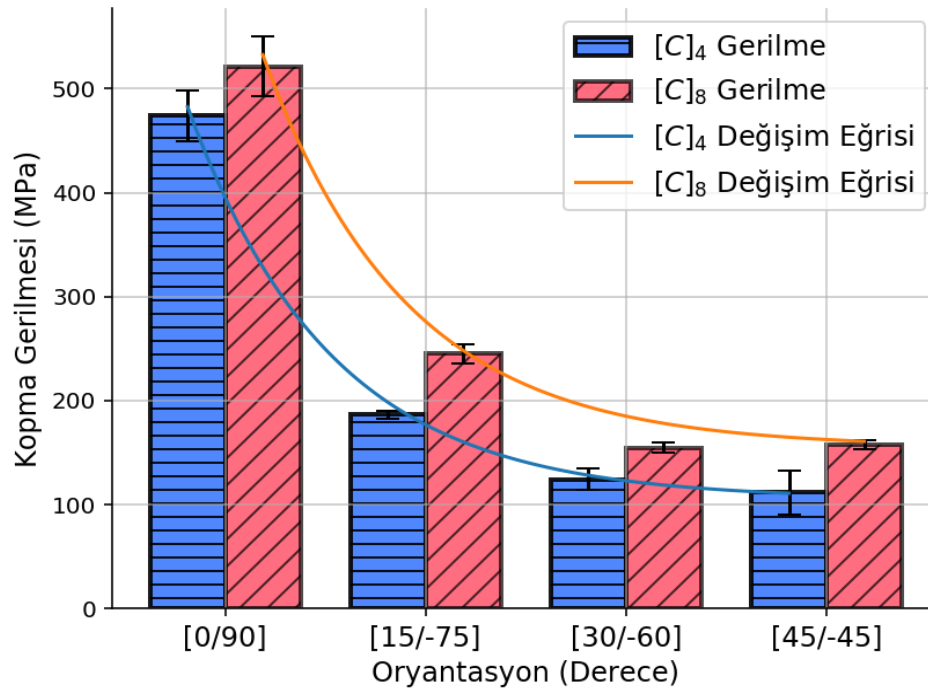
şeklindedir. Buradaki x örgülü kompozit malzemenin oryantasyonundaki küçük olan açı değeridir. Tablo 5.1’de 4 ve 8 katman için elde edilen eğrilerin denklemine ait katsayılar verilmiştir.

Tablo 5. 1 Cam fiber takviyeli epoksi için elde edilen denklemin katsayıları

	a	b	c
4-Katman	410	-0.1	80
8-Katman	200	-0.1	105

Elde edilen cam fiber takviyeli kompozit malzemesinin denklemlerinden; 4 katlı olan için R² değeri 0.99 ve 8 katlı olan için R² değeri 0.88 olarak bulunmuştur.

Benzer şekilde karbon fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerinin test sonuçları kıyaslandığında Şekil 5.2’deki grafik elde edilmiş ve açılar arasında net bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi kuru ortam numunelerinin test sonuçları ve değişim eğrisi

4 ve 8 katman için, her bir oryantasyonun kopma gerilmesinden geçecek şekilde eğri uydurulmuştur. Eğri mevcut oryantasyonlarda dahil olmak üzere, herhangi bir açıda üretilen karbon fiber takviyeli epoksi kompozit malzemesinin, 4 ve 8 katman için kopma gerilmesi değerlerini yaklaşık olarak vermektedir. Bu eğrinin denklemi;

$$\sigma_{KarbonKopma} = ae^{bx} + c \quad (5.2)$$

şeklindedir. Buradaki x örgülü kompozit malzemenin oryantasyonundaki küçük olan açı değeridir. Tablo 5.2'de 4 ve 8 katman için elde edilen eğrilerin denkleminin katsayıları verilmiştir.

Tablo 5. 2 Karbon fiber takviyeli epoksi için elde edilen denklemin katsayıları

	a	b	c
4-Katman	370	-0.1	105
8-Katman	370	-0.1	155

Elde edilen karbon fiber takviyeli kompozit malzemesinin denklemlerinden; 4 katlı olan için R² değeri 0.99 ve 8 katlı olan için R² değeri 0.94 olarak bulunmuştur.

5.2 Deniz Suyu Ortam Etkisinin Analizi

Bütün oryantasyonlar için testleri yapılan kuru ortam numunelerinin gerilme değerlerine göre; 1, 3 ve 6 ay deniz suyuna maruz kalmış numunelerin maksimum gerilmelerindeki değişimler, deniz suyunun etkisinin daha net görülebilmesi için yüzde olarak bulunmuştur. Bu kıyaslama, malzeme ve çekme hızı parametresi sabit tutularak 3 tablo halinde sunulmuştur. Böylece belirli parametreler sabit tutularak, değiştirilen parametrelerin etkileri daha net gözlemlenmiştir. Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te açıkça görüleceği üzere deniz suyuna maruz kalma süresi arttıkça, oryantasyon, çekme hızı ve malzeme fark etmeksizin çekme gerilmelerinde bir düşüş söz konusudur.

Tablolardaki oryantasyonların her birisi, 4 ve 8 katman kıyaslamalı olarak tek tek grafikler halinde incelenmiştir. Bu inceleme sonuçları 5.2.1 ve 5.2.10 bölümleri arasında verilmiştir.

2 mm/dk hızla çekilen cam takviyeli kompozit numunelerinin sonuçları, kuru ortam numunelerinin gerilme değerlerine göre kıyaslandığında 1 aylık numunelerin % 38'inde, 3 aylık numunelerin % 75'inde ve 6 aylık numunelerin % 100'ünde düşüş meydana gelmiştir. Deniz suyunun etkisinin zamanla doğru orantılı ve bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. 6 ay deniz suyuna maruz kalan, cam takviyeli 8 farklı oryantasyonun tümünde dayanımın düştüğü görülmektedir. Numunelerin 3 ay deniz suyunda kalması bile büyük kısmında dayanımın düşmesine sebep olmuştur. 2 mm/dk hızla çekilen cam takviyeli numunelerin bütün oryantasyonları için gerilme değişim yüzde değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5. 3 2 mm/dk hızda çekilen cam takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri

Oryantasyon (açı/açı) _{katman}	Fiber Cinsi	Çekme Hızı (mm/dk)	Ort. Gerilme Kuru (MPa)	Gerilme Değişim Yüzdeleri		
				1 ay	3 ay	6 ay
(0/90) _{4w}	Cam	2	526,029	% 1,5	% -2,5	% -10
(0/90) _{8w}	Cam	2	320,092	% 7,5	% -2,5	% -19,5
(45/-45) _{4w}	Cam	2	91,313	% 3	% 12,5	% -9,5
(45/-45) _{8w}	Cam	2	122,400	% -7,5	% -8,5	% -20,5
(30/-60) _{4w}	Cam	2	103,891	% 4,5	% -4,5	% -12
(30/-60) _{8w}	Cam	2	121,362	% 15	% 12	% -6,5
(15/-75) _{4w}	Cam	2	166,133	% -4,5	% -8,5	% -13,5
(15/-75) _{8w}	Cam	2	151,907	% -2	% -5	% -17

10 mm/dk hızla çekme testleri yapılan cam takviyeli kompozit numunelerin deney sonuçları, kuru ortam numunelerinin gerilme değerlerine göre kıyaslandığında 1 aylık numunelerin % 38'inde, 3 aylık numunelerin % 50'sinde ve 6 aylık numunelerin % 100'ünde düşüş meydana gelmiştir. Deniz suyunun etkisinin zamanla doğru orantılı ve bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. 6 ay deniz suyuna

maruz kalan, cam takviyeli 8 farklı oryantasyona sahip numunelerin tümüne yakınında dayanımın düştüğü görülmektedir. 10 mm/dk hızda çekme testleri yapılan numunelerin, 2 mm/dk hızla çekme testleri yapılan numunelerle kıyaslandığında, deniz suyuna karşı daha mukavim olduğu bulunmuştur. 10 mm/dk hızla çekme testleri yapılan cam takviyeli numunelerin bütün oryantasyonları için gerilme değişim yüzde değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5. 4 10 mm/dk hızda çekilen cam takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri

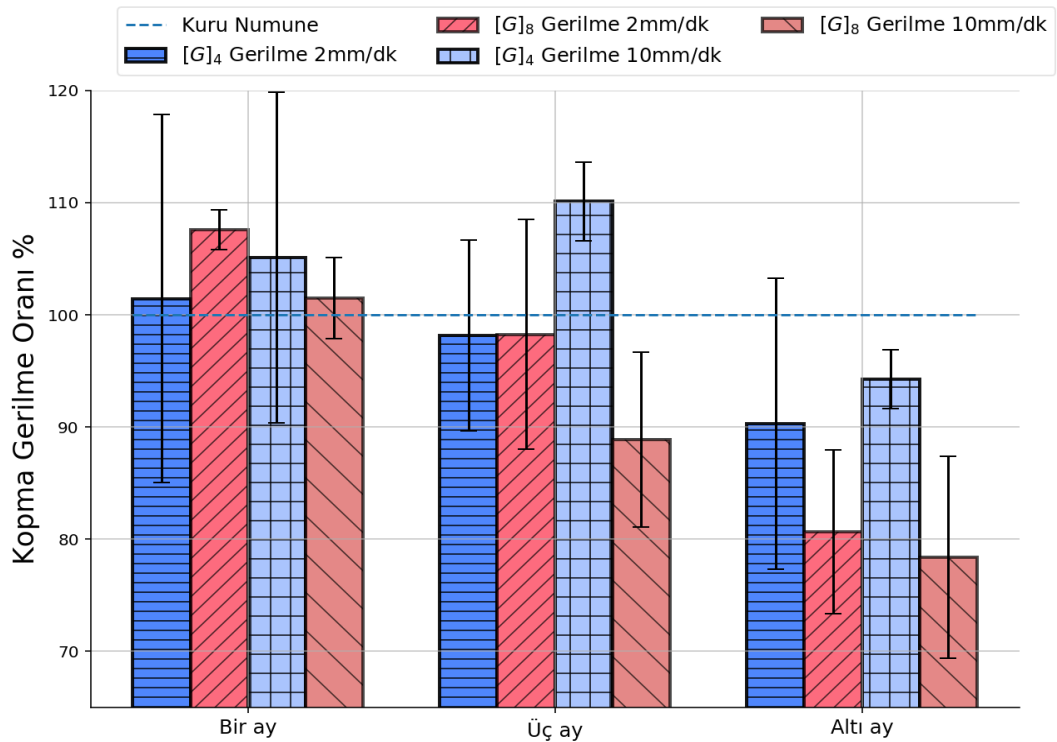
Oryantasyon (açı/açı) _{katman}	Fiber Cinsi	Çekme Hızı (mm/dk)	Ort. Gerilme Kuru (MPa)	Gerilme Değişim Yüzdeleri		
				1 ay	3 ay	6 ay
(0/90) _{4w}	Cam	10	510,956	% 5	% 10	% -5,5
(0/90) _{8w}	Cam	10	322,837	% 2	% -11	% -21,5
(45/-45) _{4w}	Cam	10	94,540	% 3	% 21,5	% -7
(45/-45) _{8w}	Cam	10	108,697	% 4	% 10	% -8,5
(30/-60) _{4w}	Cam	10	104,838	% -2,5	% 0	% -2
(30/-60) _{8w}	Cam	10	143,901	% 0,5	% -9,5	% -17,5
(15/-75) _{4w}	Cam	10	181,783	% -4	% -7	% -23
(15/-75) _{8w}	Cam	10	160,101	% -2	% -6	% -17

2 mm/dk hızla çekme testleri yapılan karbon takviyeli kompozit numunelerinin sonuçları, kuru ortam numunelerinin gerilme değerlerine göre kıyaslandığında 1 aylık numunelerin % 75'inde, 3 aylık numunelerin % 63'ünde ve 6 aylık numunelerin % 100'ünde düşüş meydana gelmiştir. Deniz suyunun etkisinin zamanla doğru orantılı ve bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. 6 ay deniz suyuna maruz kalan, cam takviyeli 8 farklı oryantasyona sahip numunelerin tümüne yakınında dayanımın düştüğü görülmektedir. 2 mm/dk hızla çekilen karbon takviyeli numunelerin bütün oryantasyonları için gerilme değişim yüzdedeğerleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5. 5 2 mm/dk hızda çekilen karbon takviyeli kompozit numunelerin gerilme değişim yüzdeleri

Oryantasyon	Fiber Cinsi	Çekme Hızı	Ort. Gerilme	Gerilme Değişim Yüzdeleri		
(açı/açı) _{katman}		(mm/dk)	Kuru (MPa)	1 ay	3 ay	6 ay
(0/90) _{4w}	Karbon	2	506,196	% 8,5	% 16	%-3
(0/90) _{8w}	Karbon	2	542,702	% -0,5	% -3,5	% -12
(45/-45) _{4w}	Karbon	2	121,342	% -0,5	% 6	% -3,5
(45/-45) _{8w}	Karbon	2	165,496	% -21	% -25	% -31
(30/-60) _{4w}	Karbon	2	134,342	% -13	% -11,5	% -13,5
(30/-60) _{8w}	Karbon	2	166,822	% 12,5	% 13	% -19,5
(15/-75) _{4w}	Karbon	2	203,949	% -11	% -0,5	% -13
(15/-75) _{8w}	Karbon	2	260,038	% -11	% -10,5	% -16

5.2.1 (0/90)_w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 3 0/90 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

2 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak, 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerinim değerlerinde ise 8 katlı ve 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç benzer davranış gözlemlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 1,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 10 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 7,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 19,5 azaldığı görülmüştür.

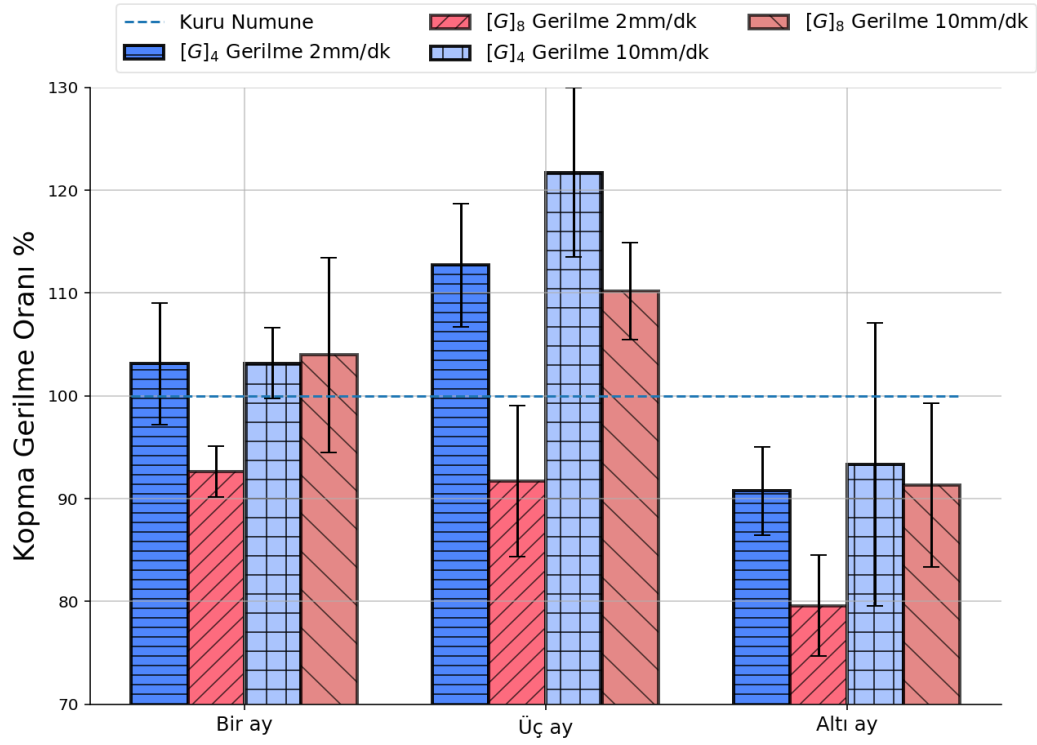
10 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 1 ay deniz suyunda şartlandırılan ve 4 katlı 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerinim değerlerinde de benzer davranış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 10 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 5,5 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 11 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 21,5 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 katmanlı numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısı artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.2 (45/-45)_w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 4 45/-45 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

2 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin, 4 katlı 1 ay ve 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerilim değerlerinde ise 4 katlı 6 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler harici artış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 3 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 12,5 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 9,5 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 7,5 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 8,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 20,5 oranında azaldığı görülmüştür.

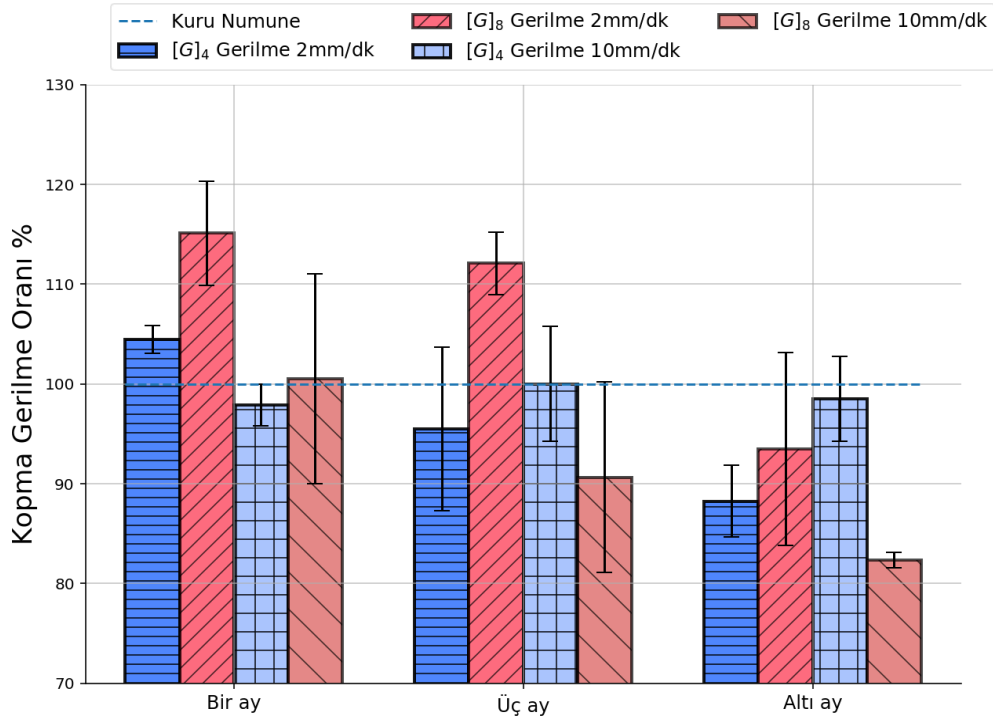
10 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin yalnız 6 ay deniz suyunda şartlandırılan numunelerde düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerinim değerlerinde ise 8 katlı 6 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç artış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 3 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 21,5 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 7 oranında azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 4 arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 10 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 8,5 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısı artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.3 (30/-60)_w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 5 30/-60 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

2 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 1 ay deniz suyunda şartlandırılan ve 8 katlı 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler dışında düşüş olduğu görülmektedir. Gerilim değerlerinde de genel olarak bir artış söz konusudur.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 4,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 4,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 12 oranında azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 15 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 12 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 6,5 oranında azaldığı görülmüştür.

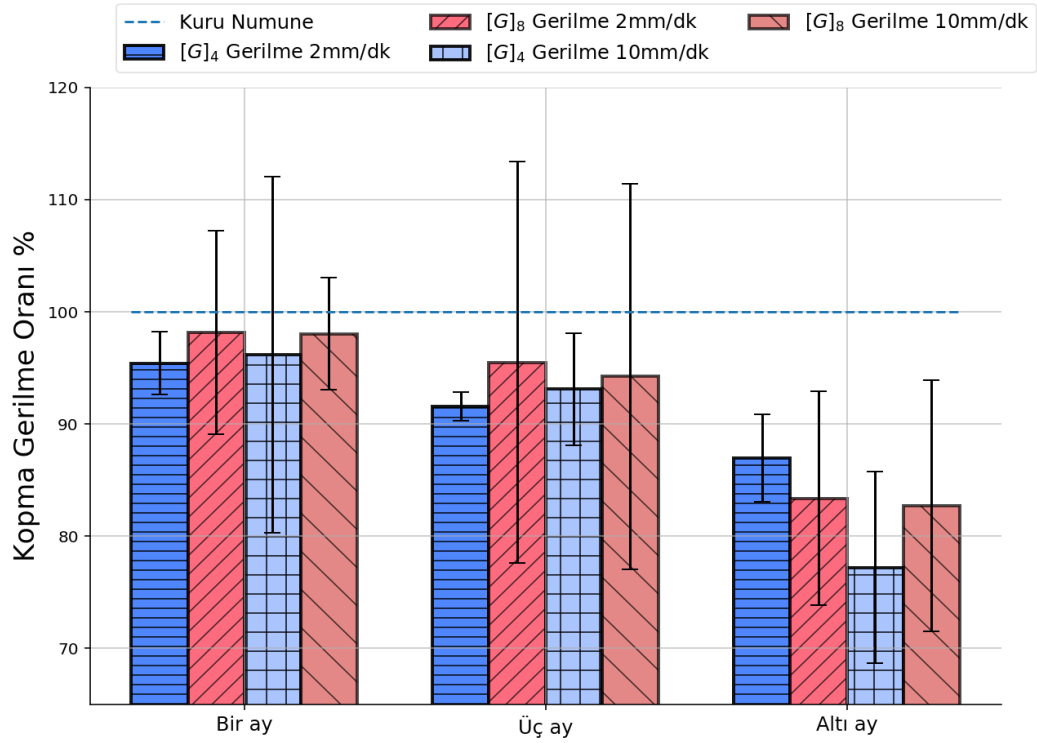
10 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 8 katlı 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerinim değerlerinde ise 8 katlı 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç genel bir artış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2,5 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin de % 2 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 0,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 9,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 17,5 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının azalmasının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.4 (15/-75)_w Oryantasyonuna Sahip 2 ve 10 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Cam Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 6 15/-75 oryantasyona sahip cam kompozit malzemenin, 2 ve 10 mm/dk hızlarındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

2 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin tüm numunelerde düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerilme değerlerinde ise 1 ay deniz suyu şartlandırılan numuneler hariç benzer davranış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 4,5 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 8,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 13,5 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 17 azaldığı görülmüştür.

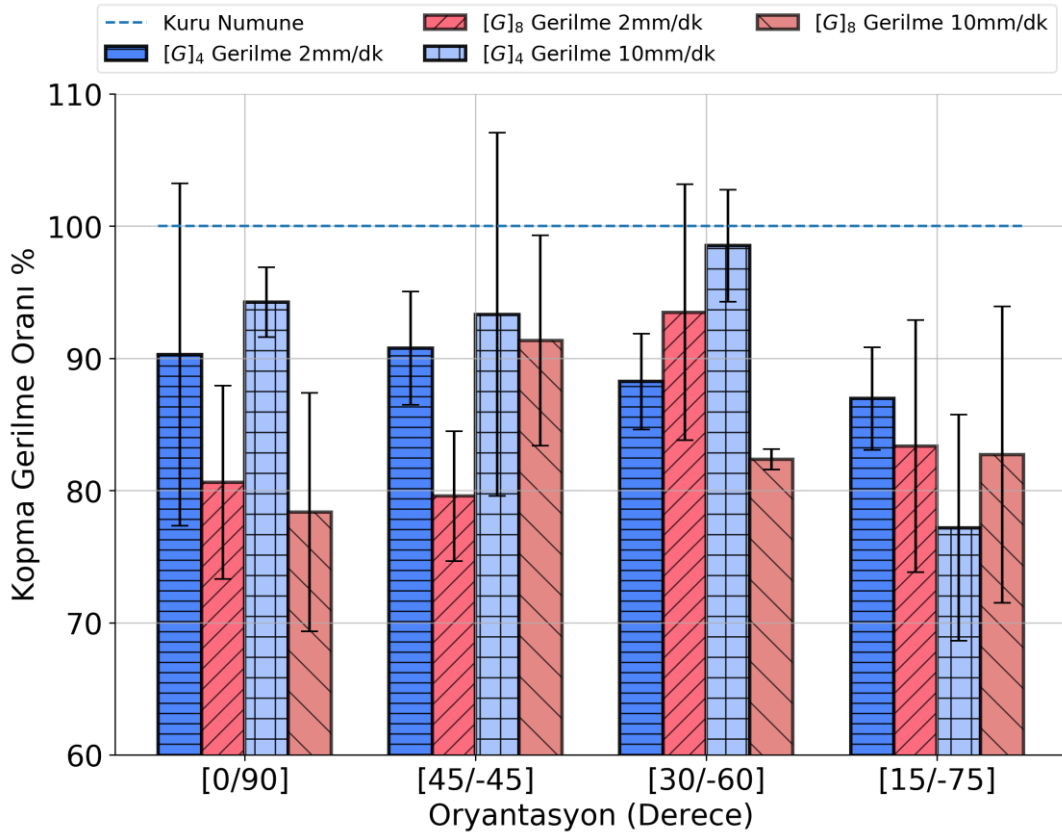
10 mm/dk çekme hızında çekme testleri yapılan kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin tüm numunelerde düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerinin değerlerinde ise 1 ay deniz suyunda şartlandırılan ve 4 katlı 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç benzer davranış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 4 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 7 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 23 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde, kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 2 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 6 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 17 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının artışının mukavemet değerlerinde artışa yol açtığı görülmektedir.

5.2.5 Cam Fiber Takviyeli Epoksi Numuneleri İçin Genel Sonuç Değerlendirmesi



Şekil 5. 7 Altı ay deniz suyunda şartlandırılmış cam fiber takviyeli epoksi kompozitler için test sonuçları

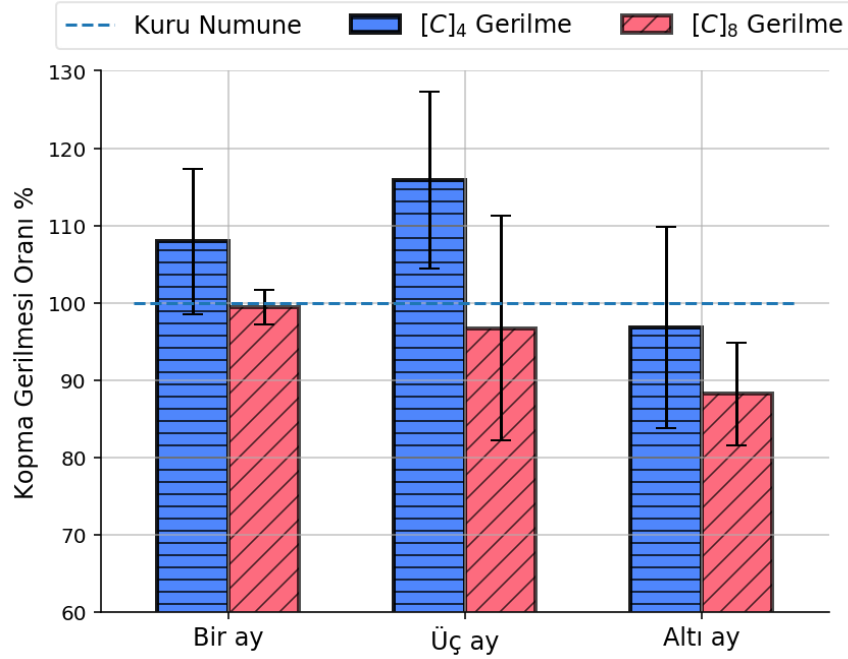
Her bir oryantasyon için yapılan çalışmalar incelendiğinde 6 aylık numunelerin hepsinde kopma gerilmesinde bir düşüş görülmektedir. 1 ve 3 ay deniz suyunda bekletilen numunelerin bir kısmında düşüşün aksine artış söz konusudur. Bunun sebebi olarak numunelerin kürlenmelerinin devam etmesi gösterilebilir. Bütün parametreler için, kuru ortamın test sonuçları baz alınarak 6 aylık test sonuçlarındaki değişim Şekil 5.7 de açıkça görülmektedir.

2 mm/dk çekme hızında testleri gerçekleştirilen; [0/90]₄ oryantasyona sahip numunelerde %10, [0/90]₈ oryantasyona sahip numunelerde %19,5, [15/-75]₄ oryantasyona sahip numunelerde %13,5, [15/-75]₈ oryantasyona sahip numunelerde %17, [30/-60]₄ oryantasyona sahip numunelerde %12, [30/-60]₈ oryantasyona sahip numunelerde %6,5, [45/-45]₄ oryantasyona sahip

numunelerde %9,5 ve $[45/-45]_8$ oryantasyona sahip numunelerde %20,5 oranında bir düşüş gözlenmiştir.

10 mm/dk çekme hızında testleri gerçekleştirilen; $[0/90]_4$ oryantasyona sahip numunelerde %5,5, $[0/90]_8$ oryantasyona sahip numunelerde %21,5, $[15/-75]_4$ oryantasyona sahip numunelerde %23, $[15/-75]_8$ oryantasyona sahip numunelerde %17, $[30/-60]_4$ oryantasyona sahip numunelerde %2, $[30/-60]_8$ oryantasyona sahip numunelerde %17,5, $[45/-45]_4$ oryantasyona sahip numunelerde %7 ve $[45/-45]_8$ oryantasyona sahip numunelerde %8,5 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Açıkça görülüyor ki deniz suyu uzun vadede cam fiber takviyeli epoksi kompozitlerin kopma mukavemetinde ciddi bir düşüşe sebep olmaktadır.

5.2.6 (0/90)_w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 8 0/90 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

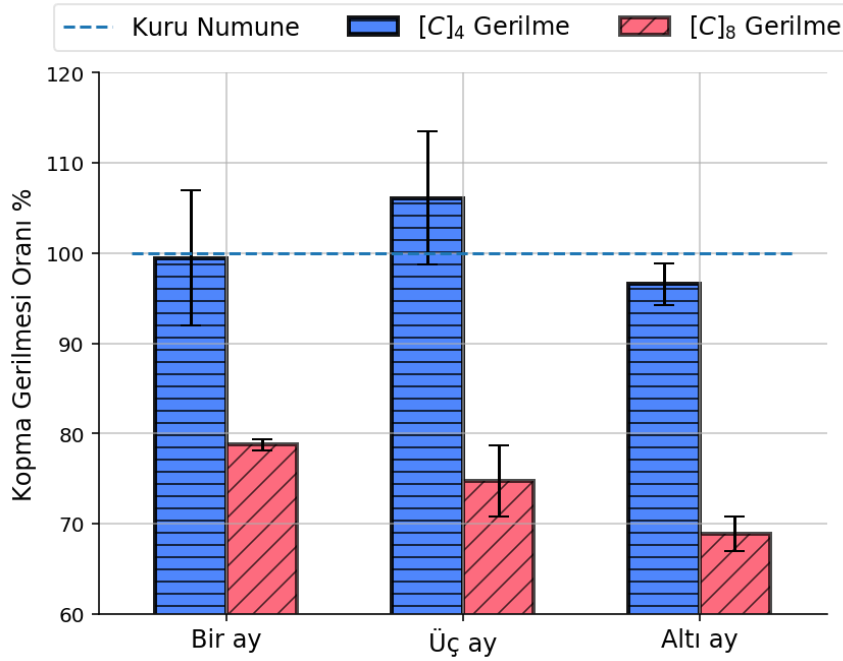
Kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 4 katlı 1 ay ve 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerilim değerlerinde ise 1 ay deniz suyunda şartlandırılan ve 4 katlı 3 ay ve 6 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç benzer davranış gözlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 8,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 16 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 3 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 0,5 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 3,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 12 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.7 (45/-45)_w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 9 45/-45 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

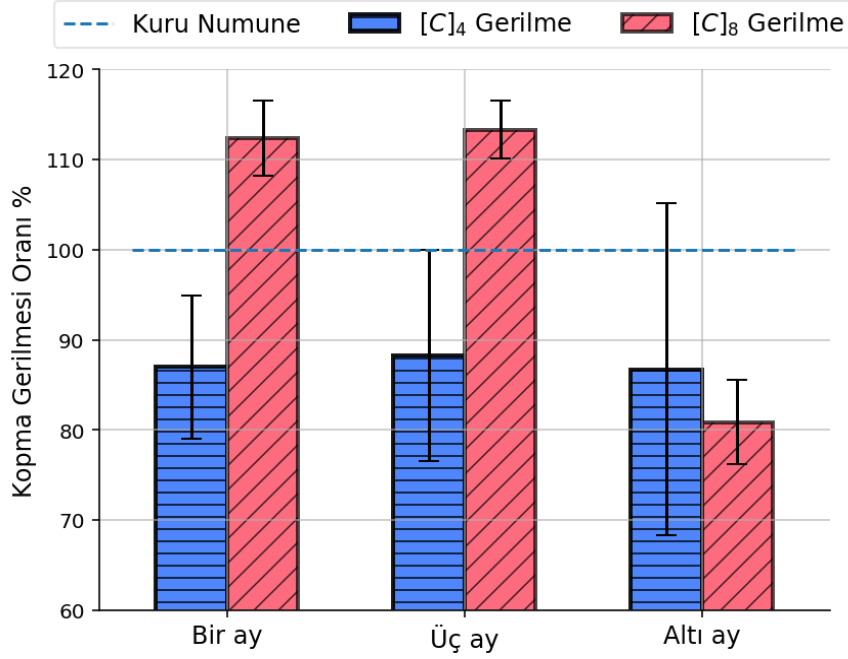
Kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 4 katlı 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerininim değerlerinde ise 4 katlı numuneler hariç benzer davranış gözlemlenmiştir.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 0,5 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 6 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 3,5 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 21 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 25 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 31 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.8 (30/-60)^w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Ssonuçları



Şekil 5. 10 30/-60 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

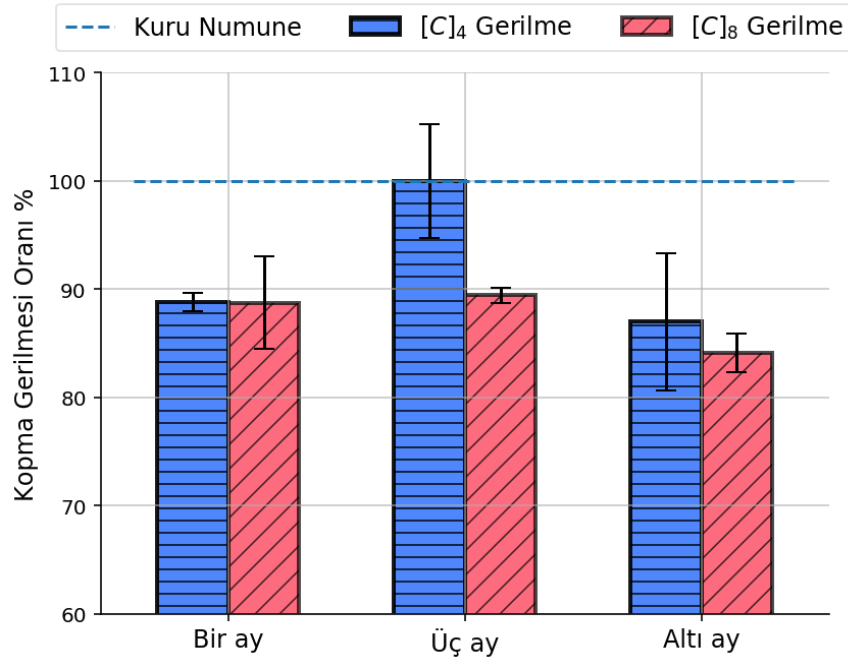
Kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin 8 katlı 1 ay ve 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerilim değerlerinde ise 4 katlı 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numuneler hariç bir artış söz konusudur.

4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 13 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 11,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 13,5 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 12,5 oranında arttığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 13 arttığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 19,5 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.9 (15/-75)_w Oryantasyonuna Sahip 2 mm/dk Hızda Testleri Yapılan 4 ve 8 Katlı Karbon Numunelerin Sonuçları



Şekil 5. 11 15/-75 oryantasyona sahip karbon kompozit malzemenin, 2mm/dk hızındaki çekme testleri için deniz suyu etkisinin incelenmesi

Kuru ortam numunelerinin değeri referans alınarak 1 ay, 3 ay ve 6 aylık numunelerle kıyaslama yapıldığında gerilme değerlerinin bütün numunelerde düşüş gösterdiği görülmektedir. Gerilme değerlerinde ise 4 katlı 1 ay deniz suyu ortamında şartlandırılan numuneler hariç benzer davranış gözlenmiştir.

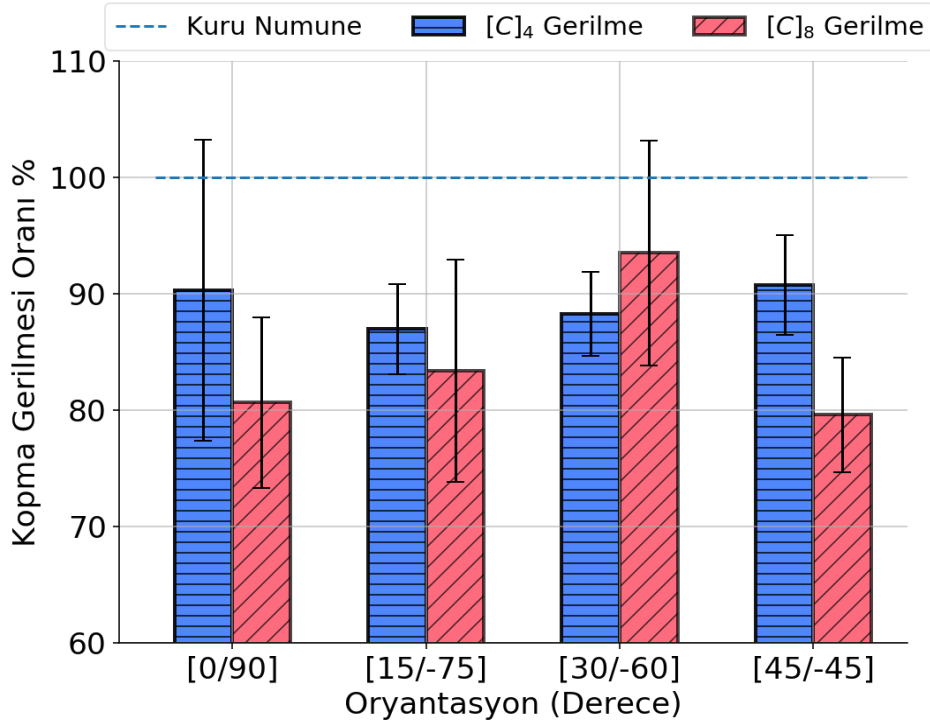
4 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 11 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin yaklaşık aynı kaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 13 azaldığı görülmüştür.

8 katmanlı numunelerde kuru ortam numunesi göre 1 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 11 oranında azaldığı, 3 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 10,5 azaldığı ve 6 aylık numunelerin gerilme değerlerinin % 16 azaldığı görülmüştür.

4 ve 8 kat numunelerin davranışı incelendiğinde katman sayısının artışının mukavemet değerlerinde düşüşe yol açtığı görülmektedir.

5.2.10 Karbon Fiber Takviyeli Epoksi Numuneler İçin Sonuçların Değerlendirilmesi

Her bir oryantasyon için yapılan çalışmalar incelendiğinde 6 aylık numunelerin hemen hepsinde kopma gerilmesinde bir düşüş görülmektedir. 1 ve 3 ay deniz suyunda bekletilen numunelerin bir kısmında düşüşün aksine artış söz konusudur. Bunun sebebi olarak numunelerin kürlenmelerinin devam etmesi gösterilebilir. Bütün parametreler için, kuru ortam numune test sonuçları referans alınarak 6 aylık test sonuçlarındaki değişim Şekil 5. 12'de açıkça görülmektedir.



Şekil 5. 12 Altı ay deniz suyunda şartlandırılmış karbon fiber takviyeli epoksi kompozitler için test sonuçları

[0/90]₄ oryantasyona sahip numunelerde %3, [0/90]₈ oryantasyona sahip numunelerde %13, [15/-75]₄ oryantasyona sahip numunelerde %7, [15/-75]₈ oryantasyona sahip numunelerde %17, [30/-60]₄ oryantasyona sahip numunelerde %15, [30/-60]₈ oryantasyona sahip numunelerde %28, [45/-45]₄ oryantasyona sahip numunelerde %0 ve [45/-45]₈ oryantasyona sahip numunelerde %36 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Açıkça görülüyor ki deniz suyu uzun vadede karbon fiber takviyeli epoksi kompozitlerin kopma mukavemetinde ciddi bir düşüşe sebep olmaktadır.

5.3 İstatistiksel Analiz

Varyans analizi (ANOVA) istatistik bilim dalında, grup ortalamaları ve bunlara bağlı olan işlemleri analiz etmek için kullanılan bir istatistiksel model yöntemidir. Varyans analizi kullanılmaktayken belirlenmiş bir değişkenin gözlemlenen varyansı, farklı değişim kaynaklarına dayandırılabilen varyans bileşenine ayrılır. Bu şekilde değişkenler arasındaki ilişki matematiksel olarak ifade edilmiş olur. Kısacası, ANOVA bir parametrik çıkarımsal metodu olup sonuçların ortalamaları arasında farkın olup olmadığını sınamak için kullanılır[76].

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Eğer tek bir değişken kullanılarak analiz yapılıyorsa buna tek değişkenli regresyon, birden çok değişken kullanılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak isimlendirilir. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun etki değeri hakkında bilgi sahibi olunur[76].

5.3.1 Cam Takviyeli Numuneler İçin Varyans ve Regresyon Analizi

Cam takviyeli numunelerle, 4 faktörlü, 2; 4; 4 ve 2 seviyeli, 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilen toplam 192 çekme testi yapılmıştır. Yapılan çekme testleri sonucu elde edilen gerilme değerlerine, faktörlerin etkilerini araştırmak için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizleri gerilme değerleri için gerçekleştirilmiştir. Cam takviyeli numunelerde meydana gelen gerilme değerlerinin ANOVA sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5. 6 Cam takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Dağılım (%)
Katman Sayısı	1	97953	2,63
Oryantasyon	3	3062568	82,14
Ortam Etkisi	3	30776	0,83
Deney Hızı	1	385	0,01
Hata	183	536712	14,40
Toplam	191	3728395	100

Tablo 5.7'de gerilme değerlerinin regresyon analiz sonuçları gösterilmektedir.

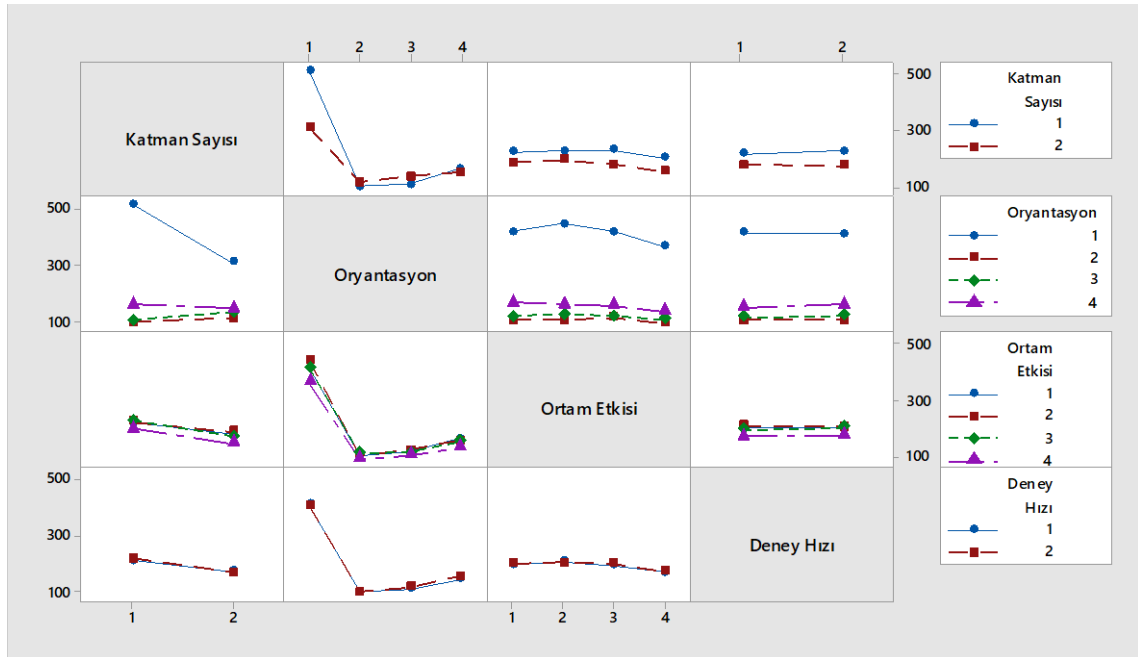
Tablo 5. 7 Cam takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre regresyon analizi

R ²	R ² (Düzeltilmiş)	R ² (Tahmini)
85,60%	84,98%	84,15%

Faktörlerin çekme gerilmeleri üzerindeki etkilerini araştırmak için varyans analizi yapılmıştır. Cam fiber takviyeli epoksi numunelerinde maksimum kopma gerilmesi için R² değeri % 84,98 olarak belirlenmiştir. ANOVA sonucunda regresyon denklemi (Denk 5.3) elde edilmiştir.

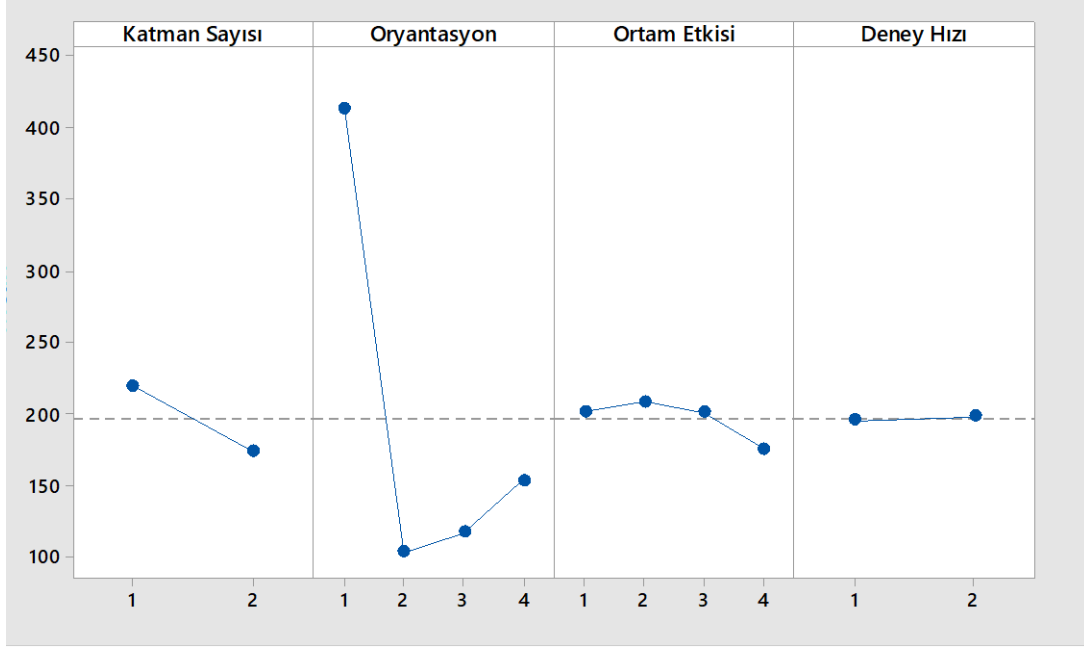
$$\begin{aligned} \sigma_{max} = & 196,86 + 22,59P_{4ply} - 22,59P_{8ply} + 216,41O_{0/90} - 93,56O_{45/45} \\ & - 79,75O_{30/60} - 43,10I_{15/75} + 5,06M_{dry} + 11,87M_{1m} + 4,4M_{3m} \\ & - 21,34M_{6m} - 1,42S_{2mm} + 1,42S_{10mm} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Burada P katman sayısı, O oryantasyon ve M ortamdır. İndisler parametrelerin seviyesini gösterir. Bu denklem kullanılarak, çapraz ilişkiler ve tüm test yanıtları yüksek bir güven seviyesi ile hesaplanabilir. Şekil 5.13'teki grafik yardımıyla faktörlerin birbirleriyle çapraz etkileşimleri incelenebilmektedir.



Şekil 5. 13 Cam takviyeli kompozit malzemenin gerilme için etkileşim grafiği

Şekil 5.14'deki grafik yardımıyla cam fiber takviyeli epoksi için incelenen parametrelerin maksimum kopma gerilmesindeki etkileri net bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5. 14 Cam takviyeli kompozit malzemenin gerilme için ana etki grafiği

5.3.2 Karbon Takviyeli Numuneler için Varyans ve Regresyon Analizi

Karbon takviyeli numunelerle, 3 faktörlü, 2; 4 ve 4 seviyeli, 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilen toplam 96 deney için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çekme testleri sonucu, gerilme ve birim şekil değiştirme değerlerine, faktörlerin etkilerini araştırmak için varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizleri gerilme ve gerinim değerleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Karbon takviyeli numunelerde meydana gelen gerilme değerlerinin ANOVA sonuçları Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5. 8 Karbon takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre ANOVA sonuçları

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Dağılım
Katman Sayısı	1	7197	0,26
Oryantasyon	3	2656284	95,68
Ortam Etkisi	3	15918	0,57
Hata	88	96820	3,49
Toplam	95	2776218	100

Tablo 5.9'da gerilme değerlerinin regresyon analiz sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5. 9 Karbon takviyeli numuneler için maksimum gerilme değerlerine göre regresyon analizi

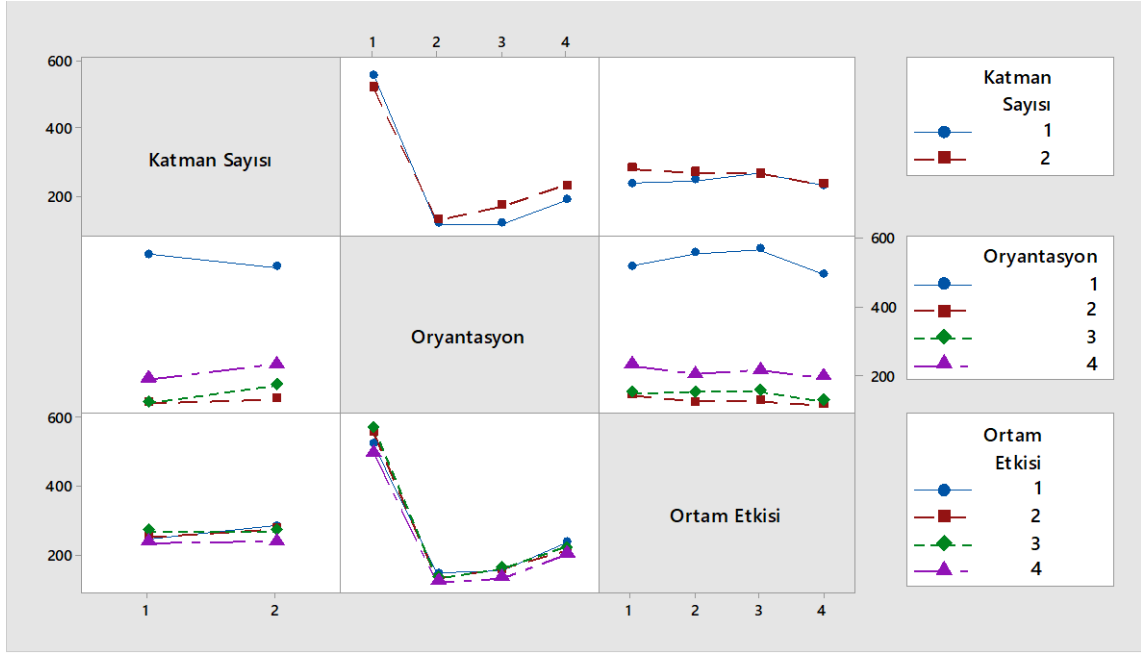
R ²	R ² (Düzeltilmiş)	R ² (Tahmini)
96,51%	96,24%	95,85%

Faktörlerin çekme gerilmeleri üzerindeki etkilerini araştırmak için varyans analizi yapılmıştır. Karbon fiber takviyeli epoksi numunelerinde maksimum kopma gerilmesi için R² değeri % 96,24 olarak belirlenmiştir. ANOVA sonucunda regresyon denklemi (Denk 5.4) elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \sigma_{max} = & 256,96 - 8,66P_{4ply} + 8,66P_{8ply} + 282,78O_{0/90} - 129,27O_{45/45} \\ & - 110,09O_{30/60} - 43,41O_{15/75} + 5,65M_{dry} + 4,5M_{1m} + 11,65M_{3m} \\ & - 21,8M_{6m} \end{aligned} \quad (5.4)$$

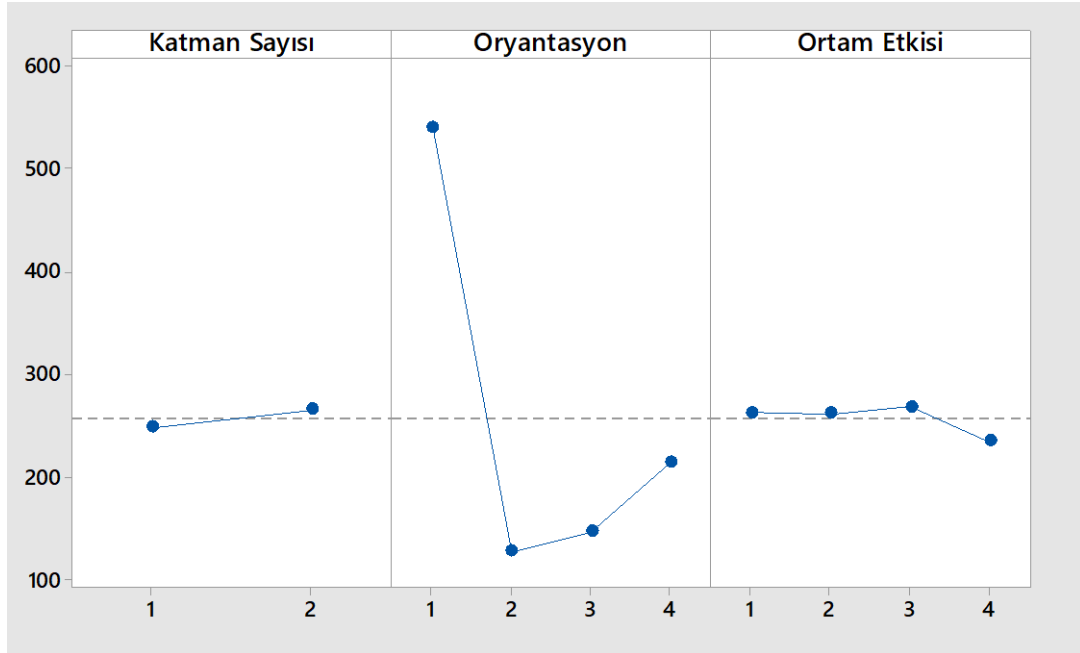
Burada P katman sayısı, O oryantasyon ve M ortamdır. İndisler parametrelerin seviyesini gösterir. Bu denklem kullanılarak, çapraz ilişkiler ve tüm test yanıtları yüksek bir güven seviyesi ile hesaplanabilir.

Şekil 5.15'teki grafik yardımıyla faktörlerin birbirleriyle çapraz etkileşimleri incelenebilmektedir.



Şekil 5. 15 Karbon takviyeli kompozit malzemenin gerilme için etkileşim grafiği

Şekil 5.16' daki grafik yardımıyla cam fiber takviyeli epoksi için incelenen parametrelerin maksimum kopma gerilmesindeki etkileri net bir şekilde gözükmemektedir.



Şekil 5. 16 Karbon takviyeli kompozit malzemenin gerilme için ana etki grafiği

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, diğer malzemelerden farklı olarak bir çok değişkene bağlıdır. Bu parametreler; kullanılan ve matrisi oluşturan malzeme, kullanılan fiberin cinsi ve doğrultusu, katman sayısı, dizilimleri, maruz kaldıkları ortamın özellikleri gibi birbirinden bağımsız oldukları kadar aslında birbirlerini de etkilemektedirler. Literatürde yapılan çalışmalarda genel olarak bir kaç parametre değiştirilerek, kompozit malzemelerin mukavemet özellikleri incelenmiştir. Bu parametreler birbirlerini de etkilediklerinden, bu çalışmada bir çok parametre göz önüne alınarak deneysel olarak bu malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. 2 farklı malzeme, 4 farklı oryantasyon, 2 farklı katman, 4 farklı ortam ve 2 farklı çekme hızı olmak üzere toplam 5 farklı parametrenin etkileri göz önüne alınmıştır.

Yapılan testler ve çalışmalar sonucunda, malzemeler kıyaslandığında, cam takviyeli kompozit malzemelerin genel olarak karbon takviyeli kompozit malzemelere göre deniz suyuna karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur.

Katman sayısı açısından kıyaslama yapıldığında, cam takviyeli kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının $[0/90]_w$ ve $[15/-75]_w$ oryantasyonlarında katman sayısı ile ters orantılı olduğu, $[45/-45]_w$ ve $[30/-60]_w$ oryantasyonlarında ise doğru orantılı olduğu bulunmuştur. Karbon takviyeli kompozit malzemelerde ise katman sayısının artmasının çekme mukavemetini arttırdığı bulunmuştur.

Çekme hızı açısından kıyaslandığında, yüksek hızlı çekme testine maruz bırakılan cam takviyeli kompozit malzemeler, düşük hızlı çekme testine maruz bırakılan numunelere göre daha yüksek çekme gerilmelerinde hasara uğramışlardır. Çekme hızı ile çekme mukavemetinin doğru orantılı olduğu bulunmuştur.

Oryantasyon açısından karşılaştırma yapıldığında, en yüksek çekme gerilmesi $[0/90]_w$ oryantasyonunda ve en düşük çekme gerilmesi ise $[45/-45]_w$ oryantasyonunda meydana gelmiştir.

Tüm parametreler göz önüne alındığında ve kuru ortamdaki numunelerin gerilme değerleriyle kıyaslandığında, 1 ay deniz suyuna maruz bırakılan 24 çeşit numunenin 12'sinde, 3 ay deniz suyuna maruz bırakılan numunelerin 15'inde ve 6 ay deniz suyuna maruz bırakılan numunelerin 24'ünde olmak üzere gerilme değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Özetle, 1 ay deniz suyunda şartlandırılan numunelerin % 50'sinin, 3 ay deniz suyunda şartlandırılan numunelerin % 63'ünün ve 6 ay deniz suyunda şartlandırılan numunelerin ise % 100'ünün çekme gerilmesi değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu sonuç deniz suyu ortam etkisinin uzun vadede ciddi hasarlara neden olduğunu göstermektedir.

Deniz suyu ortamındaki numunelerin birim şekil değiştirme değerlerindeki değişimler gerilme kadar net çıkarımlar yapmaya olanak vermemiştir. Çünkü birim şekil değiştirme değerleri maksimum gerilmeye karşılık gelen gerinim değerleridir ve özellikle $(45/-45)_w$ gibi daha az kuvvet taşıyabilen oryantasyona sahip numunelerde gerçek uzama uygulanan kuvvetin azalmaya başladığı yerden itibaren başlamaktadır. Çünkü kuvveti taşıyamayan lifler buna karşılık uzama ile birbirinden ayrılmaktadır.

Bu çalışmaya ilave olarak gelecekte, tuzluluk yüzdesi, maruziyet süresi ve sıcaklık değerleri farklılaştırılarak daha kapsamlı çıkarımlar yapılabilir. Ayrıca, statik deneylere ilave olarak deniz suyu etkisine maruz bırakılmış kompozit malzemelerin eğilme ve yorulma dayanımları da incelenebilir.

- [1] W. C. Tucker, "Degradation of Graphite/Polymer Composites in Seawater", *Journal of Energy Resources Technology*, c. 113, sy 4, ss. 264-267, 1991, doi: 10.1115/1.2905910.
- [2] H. F. AL-Qrimli, F. A. Mahdi, ve F. B. Ismail, "Carbon/Epoxy Woven Composite Experimental and Numerical Simulation to Predict Tensile Performance", *Advances in Materials Science and Applications*, c. 4, sy 2, ss. 33-41, Haz. 2015, doi: 10.5963/AMSA0402001.
- [3] K. A. Imran, M. K. Hossain, M. V. Hosur, ve S. Jeelani, "Seawater Effect on Mechanical Properties of Conventional and Nanophased Carbon/Epoxy Composites", içinde *16th International Conference on Composite Structures ICCS 16*, Porto, 2016, s. 2.
- [4] N. Tual, N. Carrere, P. Davies, T. Bonnemains, ve E. Lolive, "Characterization of sea water ageing effects on mechanical properties of carbon/epoxy composites for tidal turbine blades", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 78, ss. 380-389, Kas. 2015, doi: 10.1016/j.compositesa.2015.08.035.
- [5] Y. Zhao, Z. Wang, L. K. Seah, ve G. B. Chai, "Evaluation of seawater exposure on mechanical properties and failure behavior of E-Glass/BMI composite for marine use", Singapore, Singapore, Mar. 2015, ss. 1-9, doi: 10.1117/12.2084674.
- [6] M. Dawson, P. Davies, P. Harper, ve S. Wilkinson, "Effects of Conditioning Parameters and Test Environment on Composite Materials for Marine Applications", içinde *2nd Ifremer-Durability of Composites in a Marine Environment*, Brest, France, 2016, s. 9.
- [7] B. G. D. Penn, "Effects of seawater and deionized water at 0 to 80 deg C on the flexural properties of a glass/epoxy composite", Mar. 1986. Erişim: Eki. 16, 2018. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19860015287>.
- [8] A.-H. I. Mourad, B. M. Abdel-Magid, T. El-Maaddawy, ve M. E. Grami, "Effect of Seawater and Warm Environment on Glass/Epoxy and Glass/Polyurethane Composites", *Appl Compos Mater*, s. 19, 2010.
- [9] D. Miller, J. Mandell, D. Samborsky, B. Hernandez-Sanchez, ve D. T. Griffith, "Performance of Composite Materials Subjected to Salt Water Environments", program adı: Structural Dynamics and Materials Conference, Honolulu, Hawaii, Nis. 2012, doi: 10.2514/6.2012-1575.
- [10] P. D. B ve V. N. Chalwa, "Effect of Sea Water on Drilling Processes of Glass Fibre Reinforced Epoxy Composite Materials to Analysis of Delamination Factor and Thrust Force", *International Journal of Engineering Research and Applications*, c. 4, sy 2, ss. 243-249, 2014.

- [11] A. P. Chakraverty, U. K. Mohanty, S. C. Mishra, ve A. Satapathy, "Sea Water Ageing of GFRP Composites and the Dissolved salts", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, c. 75, ss. 1-16, Şub. 2015, doi: 10.1088/1757-899X/75/1/012029.
- [12] J.-B. Moon, S.-H. Kim, ve C.-G. Kim, "Effects of Salt Water Environment on the Mechanical Behavior of Composites", *Journal of The Korean Society for Composite Materials*, c. 23, sy 1, ss. 44-50, Şub. 2010, doi: 10.7234/kscm.2010.23.1.044.
- [13] Ü. Esendemir, "Effect of Seawater on Pin-Loaded Joint with Clearance Woven-Glass-Epoxy Composite", *Indian Journal of Engineering & Materials Science*, c. 20, ss. 549-554, 2013.
- [14] F. Gomes da Silve ve R. C. S. F. Junior, "Influence of Moisture on E-Glass Fiber Composites", program adı: 20th International Congress of Mechanical Engineering COBEM 2009, Gramado, RS, Brazil, Kas. 2009.
- [15] J. Li vd., "Properties Variation of Carbon Fiber Reinforced Composite for Marine Current Turbine in Seawater", *MATEC Web of Conferences*, c. 67, s. 06024, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20166706024.
- [16] Y. J. Weitsman, A. Siriruk, D. Penumadu, ve P. Hall, "Sea water effects on polymeric composites - a comparative study", Kyoto, Japan, Tem. 2007, ss. 1-2.
- [17] A. Kootsookos, A. P. Mouritz, ve N. A. S. John, "Comparison of the Seawater Durability of Carbon and Glass Polymer Composites", program adı: International Conference on Composite Materials, Beijing, China, Haz. 2001.
- [18] C. A. Wood ve W. L. Bradley, "Determination of the effect of seawater on the interfacial strength of an interlayer E-glass/graphite/epoxy composite by in situ observation of transverse cracking in an environmental SEM", *Composites Science and Technology*, c. 57, sy 8, ss. 1033-1043, Oca. 1997, doi: 10.1016/S0266-3538(96)00170-4.
- [19] N. A. Saad, M. S. Hamzah, ve A. F. Hamzah, "Numerical and Experimental Investigation for Tensile Properties of Polyphenylene Sulfide Basis Composite Material", *Journal of Babylon University*, sy 10, s. 22, 2014.
- [20] L. Wu, K. Murphy, V. M. Karbhari, ve J. S. Zhang, "Short-term effects of sea water on E-glass/vinylester composites", *Journal of Applied Polymer Science*, c. 84, sy 14, ss. 2760-2767, Haz. 2002, doi: 10.1002/app.10571.
- [21] B. C. Ray, "Effects of Changing Seawater Temperature on Mechanical Properties of GRP Composites", *Polymers and Polymer Composites*, c. 15, sy 1, ss. 59-63, Oca. 2007, doi: 10.1177/096739110701500108.
- [22] J. D. Garcia-Espinel, D. Castro-Fresno, P. Parbole Gayo, ve F. Ballester-Muñoz, "Effects of Sea Water Environment on Glass Fiber Reinforced Plastic Materials Used for Marine Civil Engineering Constructions", *Materials & Design (1980-2015)*, c. 66, ss. 46-50, Şub. 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2014.10.032.

- [23] E. Poodts, G. Minak, ve A. Zucchelli, "Impact of sea-water on the quasi static and fatigue flexural properties of GFRP", *Composite Structures*, c. 97, ss. 222-230, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.compstruct.2012.10.021.
- [24] N.-J. Lee ve J. Jang, "The effect of fibre content on the mechanical properties of glass fibre mat/polypropylene composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 30, sy 6, ss. 815-822, Haz. 1999, doi: 10.1016/S1359-835X(98)00185-7.
- [25] C. Humeau, P. Davies, ve F. Jacquemin, "An Experimental Study of Water Diffusion in Carbon/Epoxy Composites Under Static Tensile Stress", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 107, ss. 94-104, Nis. 2018, doi: 10.1016/j.compositesa.2017.12.016.
- [26] C. Suresh Kumar, V. Arumugam, R. Sengottuvelusamy, S. Srinivasan, ve H. N. Dhakal, "Failure strength prediction of glass/epoxy composite laminates from acoustic emission parameters using artificial neural network", *Applied Acoustics*, c. 115, ss. 32-41, Oca. 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.08.013.
- [27] A. Zafar, F. Bertocco, J. Schjødt-Thomsen, ve J. C. Rauhe, "Investigation of the long term effects of moisture on carbon fibre and epoxy matrix composites", *Composites Science and Technology*, c. 72, sy 6, ss. 656-666, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.compscitech.2012.01.010.
- [28] T. D'Antino, M. A. Pisani, ve C. Poggi, "Effect of the Environment on the Performance of GFRP Reinforcing Bars", *Composites Part B: Engineering*, c. 141, ss. 123-136, May. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2017.12.037.
- [29] A. Boisseau ve C. Peyrac, "Long Term Durability of Composites in Marine Environment: Comparative Study of Fatigue Behavior", *Procedia Engineering*, c. 133, ss. 535-544, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.12.627.
- [30] H. W. Wang, H. W. Zhou, L. L. Gui, H. W. Ji, ve X. C. Zhang, "Analysis of effect of fiber orientation on Young's modulus for unidirectional fiber reinforced composites", *Composites Part B: Engineering*, c. 56, ss. 733-739, Oca. 2014, doi: 10.1016/j.compositesb.2013.09.020.
- [31] S. Mortazavian ve A. Fatemi, "Effects of Fiber Orientation and Anisotropy on Tensile Strength and Elastic Modulus of Short Fiber Reinforced Polymer Composites", *Composites Part B: Engineering*, c. 72, ss. 116-129, Nis. 2015, doi: 10.1016/j.compositesb.2014.11.041.
- [32] S. Ekşi ve K. Genel, "Comparison of Mechanical Properties of Unidirectional and Woven Carbon, Glass and Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites", *Acta Physica Polonica A*, c. 132, sy 3-II, ss. 879-882, Eyl. 2017, doi: 10.12693/APhysPolA.132.879.
- [33] M. E. Deniz, M. Ozen, O. Ozdemir, R. Karakuzu, ve B. M. Icten, "Environmental effect on fatigue life of glass-epoxy composite pipes subjected to impact loading", *Composites Part B: Engineering*, c. 44, sy 1, ss. 304-312, Oca. 2013, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.05.001.
- [34] M. Tarfaoui, S. Choukri, ve A. Neme, "Effect of fibre orientation on mechanical properties of the laminated polymer composites subjected to out-

- of-plane high strain rate compressive loadings”, *Composites Science and Technology*, c. 68, sy 2, ss. 477-485, Şub. 2008, doi: 10.1016/j.compscitech.2007.06.014.
- [35] L. A. Carlsson, D. F. Adams, ve R. B. Pipes, “Basic Experimental Characterization of Polymer Matrix Composite Materials”, *Polymer Reviews*, c. 53, sy 2, ss. 277-302, May. 2013, doi: 10.1080/15583724.2013.776588.
- [36] P. Banakar, H. K. Shivananda, ve H. B. Niranjana, “Influence of Fiber Orientation and Thickness on Tensile Properties of Laminated Polymer Composites”, *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, s. 9, 2012.
- [37] M. Meng, H. Le, S. Grove, ve M. Jahir Rizvi, “Moisture effects on the bending fatigue of laminated composites”, *Composite Structures*, c. 154, ss. 49-60, Eki. 2016, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.06.078.
- [38] R. M. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, 2. Ed. Blacksburg, Virginia: Taylor&Francis, 1999.
- [39] V. K. S. Choo, *Fundamentals of Composite Materials*. Delaware, U.S.A.: Knowen Academic Press, 1990.
- [40] A. K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, 2. Ed. Boca Raton: CRC, Taylor & Francis, 2006.
- [41] D. Hull, *An Introduction to Composite Materials*. New York, U.S.A.: Cambridge University Press, 1981.
- [42] J. R. Vinson ve R. L. Sierakowski, *The Behavior of Structures Composed of Composite Materials*, 2. Ed. New York, U.S.A.: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [43] Fortuna, Armando de Oliveira, *Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos - Conceitos Básicos e Aplicações*. Sao Paulo: Edusp, 2000.
- [44] D. R. Nielsen ve R. Pitchumani, “Closed-loop flow control in resin transfer molding using real-time numerical process simulations”, *Composites Science and Technology*, c. 62, sy 2, ss. 283-298, Şub. 2002, doi: 10.1016/S0266-3538(01)00213-5.
- [45] Nina Thorvaldsen, “Requirements for Designing Moulds for Composite Components”, Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- [46] Michael Chun-Yung Niu, *Composite Airframe Structures*. Technical Book Company, 1992.
- [47] “Mold care”, *compositesworld*, Kas. 11, 2018. <https://www.compositesworld.com/articles/proper-mold-care-mandatory> (erişim Haz. 22, 2020).
- [48] Martin Taylor-Wilde, *A Practical Guide to Composites*. Multi-Sport Composites Limited, 1995.
- [49] Herbert Rees, *Mold Engineering 2E*. Hanser, 2002.

- [50] Flake C. Campbell, *Manufacturing Processes for Advanced Composites*. Elsevier Science, 2003.
- [51] B. Morey, "Tooling it up for composites", c. 144, Nis. 2010.
- [52] E. Bagci ve E. U. Yuncuoglu, "The Effects of Milling Strategies on Forces, Material Removal Rate, Tool Deflection, and Surface Errors for the Rough Machining of Complex Surfaces", *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, c. 63, sy 11, ss. 643-656, Kas. 2017, doi: 10.5545/sv-jme.2017.4450.
- [53] C.-C. Lin, Y.-J. Lee, ve C.-S. Hung, "Optimization and experiment of composite marine propellers", *Composite Structures*, c. 89, sy 2, ss. 206-215, Haz. 2009, doi: 10.1016/j.compstruct.2008.07.020.
- [54] A. Beevers, "Durability testing and life prediction of adhesive joints", *International Journal of Materials and Product Technology*, c. 14, sy 5/6, s. 373, 1999, doi: 10.1504/IJMPT.1999.036278.
- [55] "GUVEN Yachting", *yat imalatı referanslar*. <http://www.guvendenizcilik.com/web/referanslar.html> (erişim Kas. 15, 2018).
- [56] D. McGeorge ve J. Weitzenbck, "Special Edition On Adhesive Bonding", *Proceedings of the IMechE*, c. 218, sy 4, ss. i-ii, Ara. 2004, doi: 10.1177/147509020421800401.
- [57] X. Wang, A. Starlinger, S. Koch, ve A. Moggia, "Structural design of bonded joints with flexible adhesive for superstructure of ship", program adı: International Conference on Ship and Shipping Research NAV2003, Palermo, Italy, Haz. 2003, Erişim: Kas. 15, 2018. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/327288685_Structural_design_of_bonded_joints_with_flexible_adhesive_for_superstructure_of_ship.
- [58] F. Roland, L. Manzon, P. Kujala, ve M. Brede, "Advanced Joining Techniques in European Shipbuilding", s. 11, 2004.
- [59] J. Cao ve J. L. Grenestedt, "Design and testing of joints for composite sandwich/steel hybrid ship hulls", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 35, sy 9, ss. 1091-1105, Eyl. 2004, doi: 10.1016/j.compositesa.2004.02.010.
- [60] S. W. Boyd, J. I. R. Blake, R. A. Sheno, ve A. Kapadia, "Integrity of hybrid steel-to-composite joints for marine application", *Proceedings of the IMechE*, c. 218, sy 4, ss. 235-246, Ara. 2004, doi: 10.1177/147509020421800403.
- [61] P. Noury, B. Hayman, D. McGeorge, ve J. Weitzenböck, "LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION FOR ADVANCED SHIPBUILDING - RECENT DEVELOPMENT", s. 24.
- [62] "French frigate *La Fayette*", *Wikipedia*, Şub. 25, 2018. https://en.wikipedia.org/wiki/French_frigate_La_Fayette (erişim Kas. 15, 2018).

- [63] D. R. Speth, Y. P. Yang, ve G. W. Ritter, "Qualification of adhesives for marine composite-to-steel applications", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, c. 30, sy 2, ss. 55-62, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2009.08.004.
- [64] "HSwMS Visby (K31)", *Wikipedia*, Ağu. 30, 2018. [https://en.wikipedia.org/wiki/HSwMS_Visby_\(K31\)](https://en.wikipedia.org/wiki/HSwMS_Visby_(K31)) (erişim Kas. 15, 2018).
- [65] "Abu Dhabi MAR Shipyard Top Superyachts - Best of Abu Dhabi", Eyl. 10, 2011. <https://web.archive.org/web/20110910034556/http://www.gvpedia.com/Abu-Dhabi/Abu-Dhabi-MAR-Shipyard.aspx> (erişim Kas. 15, 2018).
- [66] M. E. Tuttle, *Structural Analysis of Polymeric Composite Materials*. U.S.A.: Marcel Dekker, 2004.
- [67] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 5th Edition. Inc, Arizona: John Wiley&Sons, 2001.
- [68] Ö. Özkurt, "Deney Tasarımları ve İstatistiksel Veri Analizleri", İstanbul Teknik Üniversitesi, 1999.
- [69] B. Gökçe ve S. Taşgetiren, "Kalite İçin Deney Tasarımı", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, sy 1, ss. 71-83, 2009.
- [70] K. Hinkelmann ve O. Kempthorne, *Design and Analysis of Experiments Advanced Experimental Design*, 2 c. New Jersey: John Wiley&Sons, 2005.
- [71] D. R. Cox ve N. Reid, *The Theory of the Design of Experiments*. Chapman & Hall, 2000.
- [72] F. W. Breyfogle, *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*, Second Edition. John Wiley&Sons, 2003.
- [73] S. DOĞANAY ve Y. ULÇAY, "Effect of Different Ratio of Glass Fiber Reinforcement and Immersing Time in Sea Water on Fatigue Behaviour of Polyester Resin Composite", *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, c. 12, sy 2, Ağu. 2007, doi: 10.17482/uujfe.80656.
- [74] "Deniz suyu", *Vikipedi*, Kas. 11, 2018. https://tr.wikipedia.org/wiki/Deniz_suyu (erişim Kas. 15, 2018).
- [75] M. D. Özdemir, "Deniz Suyunda Çözünmüş Halde Bulunan İnorganik Maddeler", *Akuatürk*, Kas. 05, 2012. <http://akuaturk.com/2012/11/deniz-suyunda-cozunmus-halde-bulunan-inorganik-maddeler/> (erişim Kas. 15, 2018).
- [76] "Varyans Analizi", *Vikipedi*, *Varyans Analizi*. https://tr.wikipedia.org/wiki/Varyans_analizi (erişim Haz. 24, 2020).

A

KULLANILAN MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Üretimde kullanılan cam fiberin, karbon fiberin, epoksi ve sertleştiricinin mekanik özellikleri sırasıyla Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3'te verilmiştir.



CAMELYAF GLASS FIBER / WR₆ single end roving is made of "E" glass fibers and is designed especially for weaving processes having;

- good unwinding properties,
- high process performance,
- no fuzz,
- fast and complete wet-out,
- high mechanical properties,

Its silane based sizing is compatible with polyester, vinylester and epoxy resins.



Product name	: WR6	Filament diameter	: 17
Roving tex count	: 2400	Split tex count	: (2400)
CE sizing code	: (06)		
PRODUCT SPECIFICATION			
Type of glass	: E	Resin compatibility	: Polyester / Vinylester / Epoxy
Moisture content %	: max. 0.15	Roving text count (g/1000 m)	: 300/410/600/900/1200/2400/4800
Coupling agent	: Silane	Filament diameter (μ)	: 14 / 16 / 15 / 18 / 15 / 17/ 24
Loss on ignition (%)	: 0.55 ± 0.15	Tex tolerance (%)	: ± 7

Mechanical Properties

WR6 is certified by Germanischer LLOYD

ISO 9163 test method was used which is technically equivalent to ASTM D2343 method.

Values for 600 tex:

Tensile Modulus and Strength Test Results per ISO 9163: Test Item	Unit	WR6 Average Values
Tensile Modulus	GPa (Mpsi)	81.5
Tensile Strength	MPa (Kpsi)	2306
% Elongation	%	2.97
Glass Content	%	62.1

Şekil A.1 Cam fiberin mekanik özellikleri

3K A-38

TECHNICAL DATA SHEET

FIBER PROPERTIES

	English		Metric		Test Method
Tensile Strength	552	ksi	3800	MPa	ISO 10618
Tensile Modulus	34.8	Msi	240	GPa	ISO 10618
Strain	1.6	%	1.6	%	ISO 10618
Density	0.064	lbs/in ³	1.78	g/cm ³	ISO 10119
Yield	7,448	ft/lbs	200	g/1000m	ISO 1889
Sizing Type & Amount	D012		1.0 - 1.5	%	ISO 10548
Twist	Never twisted				

Şekil A.2 Karbon fiberin mekanik özellikleri

suter-kunststoffe ag
swiss-composite.ch

CH-3312 Fraubrunnen 031 763 60 60 Fax 763 60 61

HUNTSMAN
Enriching lives through innovation

Advanced Materials

Araldite® LY 1564* / Aradur® 3486* / Aradur® 3487*

WARM CURING EPOXY SYSTEM

Araldite® LY 1564

Aradur® 3486 (formulated amine hardener)

Aradur® 3487 (formulated amine hardener)

APPLICATIONS	Industrial composites		
PROPERTIES	Laminating system with low viscosity and high flexibility. The reactivity may easily be adjusted to demands through the combination of both hardeners. The long pot life of XB 3486 facilitates the production of very large industrial parts. The systems are qualified by Germanischer Lloyd.		
PROCESSING	- Resin Transfer Moulding (RTM, SCRIMP) - Wet lay-up - Filament Winding		
PRODUCT DATA	Araldite® LY 1564 Aspect (visual) clear liquid Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1) 1200 - 1400** [mPa s] Density at 25 °C (ISO 1675) 1.1 - 1.2 [g/cm ³] Epoxy index (ISO 3001) 5.8 - 6.05** [Eq/kg]		
	Aradur® 3486 Aspect (visual) clear colourless to slightly yellow liquid Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1) 10 - 20 [mPa s] Density at 25 °C (ISO 1675) 0.94 - 0.95 [g/cm ³] Amine value (ISO 9702)** 8.55 - 9.30 [Eq/kg]		
	Aradur® 3487 Aspect (visual) clear colourless to slightly yellow liquid Viscosity at 25 °C (ISO 12058-1B) 30 - 70 [mPa s] Density at 25 °C (ISO 1675) 0.98 - 1.0 [g/cm ³] Amine value (ISO 9702)** 9.30 - 10.20 [Eq/kg]		

Şekil A.3 Epoksi ve sertleştiricinin mekanik özellikleri

B

NUMUNE BOYUTLARI

288 adet numunenin boyutları Tablo B.1'de verilmiştir.

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
1	G-4-1-D-A-1	139,93	0,91	24,89	145	G-4-1-3M-A-1	140,14	0,92	24,79
2	G-4-1-D-A-2	138,28	0,9	24,84	146	G-4-1-3M-A-2	140,1	0,88	24,72
3	G-4-1-D-A-3	139,09	0,96	24,65	147	G-4-1-3M-A-3	140,56	0,86	24,69
4	G-4-2-D-A-1	138,08	0,92	24,58	148	G-4-2-3M-A-1	138,75	0,94	26,77
5	G-4-2-D-A-2	139,16	1,04	24,65	149	G-4-2-3M-A-2	137,85	0,91	26,65
6	G-4-2-D-A-3	139,33	1,02	24,6	150	G-4-2-3M-A-3	138,8	1	26,5
7	G-4-3-D-A-1	139,11	0,95	24,85	151	G-4-3-3M-A-1	138,8	0,92	24,62
8	G-4-3-D-A-2	139,06	0,91	24,55	152	G-4-3-3M-A-2	139,12	0,86	24,54
9	G-4-3-D-A-3	139,44	1,05	24,49	153	G-4-3-3M-A-3	138,29	0,95	24,58
10	G-4-4-D-A-1	138,07	0,95	24,33	154	G-4-4-3M-A-1	138,51	0,86	24,47
11	G-4-4-D-A-2	138,2	0,96	24,35	155	G-4-4-3M-A-2	138,51	0,89	24,46
12	G-4-4-D-A-3	137,71	0,95	24,58	156	G-4-4-3M-A-3	138,3	0,87	24,36
13	G-8-1-D-A-1	139,89	1,74	24,66	157	G-8-1-3M-A-1	138,95	1,63	24,73
14	G-8-1-D-A-2	138,35	1,7	24,75	158	G-8-1-3M-A-2	139,27	1,63	24,73
15	G-8-1-D-A-3	138,22	1,73	24,74	159	G-8-1-3M-A-3	139,06	1,65	24,57
16	G-8-2-D-A-1	138,24	1,7	26,55	160	G-8-2-3M-A-1	138,83	1,61	26,6
17	G-8-2-D-A-2	141,06	1,65	26,44	161	G-8-2-3M-A-2	138,02	1,62	26,58
18	G-8-2-D-A-3	138,97	1,66	26,43	162	G-8-2-3M-A-3	140,04	1,68	26,81
19	G-8-3-D-A-1	137,67	1,91	26,8	163	G-8-3-3M-A-1	137,14	1,64	26,75
20	G-8-3-D-A-2	138,76	1,91	24,47	164	G-8-3-3M-A-2	138,74	1,65	26,33
21	G-8-3-D-A-3	138,4	1,89	26,5	165	G-8-3-3M-A-3	138,08	1,65	26,34
22	G-8-4-D-A-1	137,35	1,74	26,28	166	G-8-4-3M-A-1	139,28	1,72	26,09
23	G-8-4-D-A-2	138,62	1,79	26,06	167	G-8-4-3M-A-2	137,46	1,68	26,09

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları(Devamı)

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
24	G-8-4-D-A-3	139,54	1,77	26,25	168	G-8-4-3M-A-3	138,32	1,73	26,19
25	G-4-1-D-B-1	140,08	0,94	24,4	169	G-4-1-3M-B-1	139,78	0,85	24,79
26	G-4-1-D-B-2	140,33	0,95	24,7	170	G-4-1-3M-B-2	139,15	0,86	24,98
27	G-4-1-D-B-3	139,06	0,93	24,84	171	G-4-1-3M-B-3	138,26	0,82	24,73
28	G-4-2-D-B-1	137,91	1	24,64	172	G-4-2-3M-B-1	137,41	0,93	26,19
29	G-4-2-D-B-2	139,36	1,02	24,8	173	G-4-2-3M-B-2	137,82	0,95	26,46
30	G-4-2-D-B-3	139,39	0,94	24,68	174	G-4-2-3M-B-3	137,67	0,87	26,33
31	G-4-3-D-B-1	138,77	0,96	24,64	175	G-4-3-3M-B-1	137,89	0,86	24,55
32	G-4-3-D-B-2	138,6	0,94	24,65	176	G-4-3-3M-B-2	138,13	0,89	24,61
33	G-4-3-D-B-3	138,58	0,95	24,53	177	G-4-3-3M-B-3	138,55	0,87	234,44
34	G-4-4-D-B-1	139,38	0,96	24,45	178	G-4-4-3M-B-1	137,5	0,87	24,4
35	G-4-4-D-B-2	139,73	1	24,35	179	G-4-4-3M-B-2	138,12	0,82	24,12
36	G-4-4-D-B-3	139,07	0,91	24,67	180	G-4-4-3M-B-3	140,02	0,86	24,25
37	G-8-1-D-B-1	138,05	1,67	24,67	181	G-8-1-3M-B-1	139,03	1,76	24,51
38	G-8-1-D-B-2	138,74	1,65	24,51	182	G-8-1-3M-B-2	138,95	1,64	24,71
39	G-8-1-D-B-3	138,23	1,7	24,78	183	G-8-1-3M-B-3	138,51	1,71	24,48
40	G-8-2-D-B-1	138,47	1,66	26,74	184	G-8-2-3M-B-1	138,21	1,69	26,54
41	G-8-2-D-B-2	138,47	1,66	26,66	185	G-8-2-3M-B-2	139,83	1,59	26,66
42	G-8-2-D-B-3	138,11	1,71	27,04	186	G-8-2-3M-B-3	139,42	1,6	26,32
43	G-8-3-D-B-1	138,05	1,91	26,75	187	G-8-3-3M-B-1	138,23	1,75	26,41
44	G-8-3-D-B-2	139,43	1,7	26,18	188	G-8-3-3M-B-2	138,37	1,74	26,36
45	G-8-3-D-B-3	140,29	1,67	26,5	189	G-8-3-3M-B-3	140,01	1,6	26,26
46	G-8-4-D-B-1	138,3	1,76	26,28	190	G-8-4-3M-B-1	138,1	1,78	26,17
47	G-8-4-D-B-2	138,69	1,75	26,12	191	G-8-4-3M-B-2	137,73	1,63	26,09
48	G-8-4-D-B-3	139,26	1,64	25,87	192	G-8-4-3M-B-3	139,33	1,71	26,05
49	C-4-1-D-A-1	139,53	0,87	24,33	193	C-4-1-3M-A-1	139,76	0,94	24,84
50	C-4-1-D-A-2	139,37	0,91	24,2	194	C-4-1-3M-A-2	138,83	0,88	23,99

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları (Devamı)

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
51	C-4-1-D-A-3	139,62	0,9	24,27	195	C-4-1-3M-A-3	139,27	0,9	24,63
52	C-4-2-D-A-1	139,48	0,86	24,74	196	C-4-2-3M-A-1	139,93	0,85	24,09
53	C-4-2-D-A-2	139,17	0,85	24,17	197	C-4-2-3M-A-2	138,3	0,83	24,16
54	C-4-2-D-A-3	140,93	0,93	24,39	198	C-4-2-3M-A-3	139,39	0,83	23,8
55	C-4-3-D-A-1	139,89	0,88	24,4	199	C-4-3-3M-A-1	140,12	0,92	24,18
56	C-4-3-D-A-2	140,25	0,89	24,85	200	C-4-3-3M-A-2	138,02	0,88	24,55
57	C-4-3-D-A-3	139,99	0,85	24,18	201	C-4-3-3M-A-3	139,06	0,83	24,83
58	C-4-4-D-A-1	140	0,89	24,32	202	C-4-4-3M-A-1	139,05	0,82	24,15
59	C-4-4-D-A-2	141,98	0,9	24,36	203	C-4-4-3M-A-2	139,98	0,85	24,05
60	C-4-4-D-A-3	138,44	0,95	24,85	204	C-4-4-3M-A-3	138,99	0,88	24,19
61	C-8-1-D-A-1	137,72	1,74	24,64	205	C-8-1-3M-A-1	139,48	1,6	24,65
62	C-8-1-D-A-2	137,53	1,71	24,28	206	C-8-1-3M-A-2	138,27	1,71	24,84
63	C-8-1-D-A-3	139,06	1,72	24,82	207	C-8-1-3M-A-3	138,27	1,71	24,81
64	C-8-2-D-A-1	138,5	1,72	26,23	208	C-8-2-3M-A-1	138,85	1,68	25,72
65	C-8-2-D-A-2	139,28	1,72	26,33	209	C-8-2-3M-A-2	138,93	1,67	25,68
66	C-8-2-D-A-3	138,64	1,73	26,01	210	C-8-2-3M-A-3	139,28	1,66	25,61
67	C-8-3-D-A-1	139,08	1,64	26,29	211	C-8-3-3M-A-1	138,45	1,87	24,67
68	C-8-3-D-A-2	140,06	1,61	25,93	212	C-8-3-3M-A-2	138,02	1,85	24,65
69	C-8-3-D-A-3	138,32	1,58	26,16	213	C-8-3-3M-A-3	138,26	1,87	24,75
70	C-8-4-D-A-1	138,97	1,71	25,4	214	C-8-4-3M-A-1	138,93	1,85	24,5
71	C-8-4-D-A-2	138,29	1,68	25,49	215	C-8-4-3M-A-2	137,93	1,85	24,09
72	C-8-4-D-A-3	139	1,67	25,48	216	C-8-4-3M-A-3	138,25	1,82	24,8
73	G-4-1-1M-A-1	138,28	0,88	24,22	217	G-4-1-6M-A-1	137,19	0,93	24,4
74	G-4-1-1M-A-2	139,17	0,94	24,6	218	G-4-1-6M-A-2	138,13	0,87	24,6
75	G-4-1-1M-A-3	138,3	0,94	24,71	219	G-4-1-6M-A-3	140,11	0,91	24,43
76	G-4-2-1M-A-1	139,92	0,88	24,37	220	G-4-2-6M-A-1	138,51	0,97	24,47
77	G-4-2-1M-A-2	140,28	0,9	24,43	221	G-4-2-6M-A-2	138,5	0,96	24,42

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları (Devamı)

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
78	G-4-2-1M-A-3	138,19	0,91	24,51	222	G-4-2-6M-A-3	137,37	0,88	24,45
79	G-4-3-1M-A-1	138,64	0,91	24,39	223	G-4-3-6M-A-1	137,17	0,97	24,69
80	G-4-3-1M-A-2	137,89	0,9	24,5	224	G-4-3-6M-A-2	137,28	0,92	24,57
81	G-4-3-1M-A-3	137,7	0,89	24,66	225	G-4-3-6M-A-3	139,95	0,97	24,61
82	G-4-4-1M-A-1	138,97	0,84	24,55	226	G-4-4-6M-A-1	138,8	0,89	24,56
83	G-4-4-1M-A-2	138,07	0,92	24,5	227	G-4-4-6M-A-2	138,94	0,93	24,71
84	G-4-4-1M-A-3	137,88	0,9	24,27	228	G-4-4-6M-A-3	138,44	0,94	24,38
85	G-8-1-1M-A-1	139,69	1,77	24,66	229	G-8-1-6M-A-1	138,83	1,7	23,97
86	G-8-1-1M-A-2	138,74	1,66	24,46	230	G-8-1-6M-A-2	139,72	1,68	24,65
87	G-8-1-1M-A-3	137,85	1,66	24,54	231	G-8-1-6M-A-3	139,47	1,66	24,66
88	G-8-2-1M-A-1	137,94	1,7	26,65	232	G-8-2-6M-A-1	138,54	1,66	26,51
89	G-8-2-1M-A-2	137,65	1,69	26,88	233	G-8-2-6M-A-2	137,3	1,71	26,99
90	G-8-2-1M-A-3	139,03	1,7	26,69	234	G-8-2-6M-A-3	138,58	1,66	26,74
91	G-8-3-1M-A-1	138,43	1,77	26,35	235	G-8-3-6M-A-1	138,27	1,68	26,63
92	G-8-3-1M-A-2	138,56	1,74	26,24	236	G-8-3-6M-A-2	138,91	1,79	26,32
93	G-8-3-1M-A-3	139,1	1,68	26,62	237	G-8-3-6M-A-3	138,29	1,73	26,26
94	G-8-4-1M-A-1	140,01	1,73	26,1	238	G-8-4-6M-A-1	139,17	1,69	26,12
95	G-8-4-1M-A-2	138,3	1,76	25,96	239	G-8-4-6M-A-2	138,05	1,7	25,93
96	G-8-4-1M-A-3	139,02	1,71	26,4	240	G-8-4-6M-A-3	138,87	1,74	26,14
97	G-4-1-1M-B-1	137,8	0,94	24,70	241	G-4-1-6M-B-1	140,04	0,93	24,56
98	G-4-1-1M-B-2	139,3	0,84	24,75	242	G-4-1-6M-B-2	139,46	0,86	24,83
99	G-4-1-1M-B-3	139,22	0,84	24,73	243	G-4-1-6M-B-3	139,69	0,88	24,81
100	G-4-2-1M-B-1	137,5	0,92	24,57	244	G-4-2-6M-B-1	138,8	0,91	24,62
101	G-4-2-1M-B-2	138,38	0,91	24,64	245	G-4-2-6M-B-2	137,81	0,93	24,54
102	G-4-2-1M-B-3	138,67	0,9	24,31	246	G-4-2-6M-B-3	140	0,9	24,46
103	G-4-3-1M-B-1	138,11	0,96	24,53	247	G-4-3-6M-B-1	137,52	0,91	24,59
104	G-4-3-1M-B-2	139,61	0,93	24,51	248	G-4-3-6M-B-2	138,41	0,88	24,8

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları (Devamı)

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
105	G-4-3-1M-B-3	139,25	0,94	24,63	249	G-4-3-6M-B-3	138,9	0,86	24,58
106	G-4-4-1M-B-1	138,9	0,88	24,41	250	G-4-4-6M-B-1	137,81	0,91	24,31
107	G-4-4-1M-B-2	138,4	0,87	24,23	251	G-4-4-6M-B-2	137,91	0,92	24,55
108	G-4-4-1M-B-3	138,65	0,97	24,57	252	G-4-4-6M-B-3	139,27	0,88	24,34
109	G-8-1-1M-B-1	139,07	1,7	24,28	253	G-8-1-6M-B-1	139,24	1,69	24,67
110	G-8-1-1M-B-2	139,17	1,63	24,85	254	G-8-1-6M-B-2	138,97	1,8	24,83
111	G-8-1-1M-B-3	139,06	1,65	24,57	255	G-8-1-6M-B-3	19,56	1,65	24,45
112	G-8-2-1M-B-1	139,37	1,68	26,97	256	G-8-2-6M-B-1	138,81	1,71	27,01
113	G-8-2-1M-B-2	138	1,61	26,8	257	G-8-2-6M-B-2	137,42	1,64	26,63
114	G-8-2-1M-B-3	139,42	1,7	26,58	258	G-8-2-6M-B-3	137,79	1,71	27,02
115	G-8-3-1M-B-1	139,52	1,76	27,04	259	G-8-3-6M-B-1	139,35	1,71	26,49
116	G-8-3-1M-B-2	138,83	1,64	26,53	260	G-8-3-6M-B-2	138,69	1,73	26,63
117	G-8-3-1M-B-3	138,43	1,61	26,66	261	G-8-3-6M-B-3	138,65	1,73	26,59
118	G-8-4-1M-B-1	138,82	1,72	26,15	262	G-8-4-6M-B-1	138,95	1,75	26
119	G-8-4-1M-B-2	138,78	1,7	26,15	263	G-8-4-6M-B-2	138,77	1,7	25,95
120	G-8-4-1M-B-3	139,41	1,75	26,07	264	G-8-4-6M-B-3	139,36	1,68	26,08
121	C-4-1-1M-A-1	138,89	0,94	24,3	265	C-4-1-6M-A-1	138,84	1,01	24,94
122	C-4-1-1M-A-2	137,48	0,98	24,99	266	C-4-1-6M-A-2	141,8	1	24,35
123	C-4-1-1M-A-3	139,61	1,02	24,11	267	C-4-1-6M-A-3	140,17	0,94	24,39
124	C-4-2-1M-A-1	139,63	0,88	24,46	268	C-4-2-6M-A-1	139,02	0,82	23,9
125	C-4-2-1M-A-2	139,93	0,87	24,27	269	C-4-2-6M-A-2	139,75	0,87	24,13
126	C-4-2-1M-A-3	141,2	0,89	24,93	270	C-4-2-6M-A-3	139,13	0,87	24,25
127	C-4-3-1M-A-1	140,08	0,91	24,24	271	C-4-3-6M-A-1	138,65	0,92	25,55
128	C-4-3-1M-A-2	139,83	0,9	24,26	272	C-4-3-6M-A-2	139,76	0,89	24,85
129	C-4-3-1M-A-3	139,13	0,9	24,2	273	C-4-3-6M-A-3	139,31	0,93	24,68
130	C-4-4-1M-A-1	138,43	0,91	24,2	274	C-4-4-6M-A-1	139,22	0,87	24,3
131	C-4-4-1M-A-2	140,43	0,89	24,17	275	C-4-4-6M-A-2	138,19	0,91	24,29

Tablo B.1 Numunelerin test öncesi boyutları(Devamı)

No	Adı	Lilk	t	w	No	Adı	Lilk	t	w
		mm	mm	mm			mm	mm	mm
132	C-4-4-1M-A-3	139,87	0,88	24,29	276	C-4-4-6M-A-3	142,65	0,87	24,15
133	C-8-1-1M-A-1	139,22	1,74	24,75	277	C-8-1-6M-A-1	138,95	1,65	24,66
134	C-8-1-1M-A-2	138,15	1,71	24,84	278	C-8-1-6M-A-2	138,58	1,7	24,3
135	C-8-1-1M-A-3	138,08	1,68	24,97	279	C-8-1-6M-A-3	138,46	1,73	24,92
136	C-8-2-1M-A-1	140,01	1,74	25,73	280	C-8-2-6M-A-1	141,54	1,75	25,73
137	C-8-2-1M-A-2	138,18	1,71	25,57	281	C-8-2-6M-A-2	138,86	1,67	25,64
138	C-8-2-1M-A-3	139,37	1,74	25,78	282	C-8-2-6M-A-3	139,21	1,71	25,82
139	C-8-3-1M-A-1	137,88	1,95	24,89	283	C-8-3-6M-A-1	138,43	1,67	26,13
140	C-8-3-1M-A-2	137,79	1,9	24,89	284	C-8-3-6M-A-2	138,79	1,61	26,2
141	C-8-3-1M-A-3	137,32	1,89	24,75	285	C-8-3-6M-A-3	136,9	1,9	24,94
142	C-8-4-1M-A-1	137,34	1,89	24,63	286	C-8-4-6M-A-1	138,17	1,87	24,82
143	C-8-4-1M-A-2	137,92	1,92	24,6	287	C-8-4-6M-A-2	137,42	1,94	24,98
144	C-8-4-1M-A-3	137,34	1,81	24,28	288	C-8-4-6M-A-3	139,12	1,91	24,58

C

KALİBRASYON BELGESİ

Çekme testlerinin gerçekleştirildiği ALŞA Universal Çekme Cihazının kalibrasyon belgesi Şekil C.1'de verilmiştir.

 SMS Kalibrasyon	TÜRKAK TÜRK AKREDİTASYON KURUMU TURKISH ACCREDITATION AGENCY tarafından akredite edilmiş. SMS KALİBRASYON ÖLÇÜM VE DANIŞMANLIK HİZ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ. Mecidiyeköy Mahallesi Teraziler Caddesi No:13 P.K. 34785 Sarıyer / İstanbul / TÜRKİYE Tel: +90 216 329 55 38 (Pbx) Fax: +90 216 329 58 73 E-Mail: info@smskal.com Web: www.smskal.com Kalibrasyon Sertifikası Calibration Certificate	 Kalibrasyon TS EN ISO 17025 AB-0066-K AB-0066-K 48113.YIL.01 10-17
Cihaz Sahibi / Adresi Customer / Address	YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ GEMİ İNŞAAT VE DENİZCİLİK FAKÜLTESİ BEŞİKTAŞ	
İstek Numarası Order Number	48113	
Makine / Cihaz Instrument / Device	ÇEKME BASMA TEST CİHAZI	
İmalatçı Manufacturer	ALŞA	
Tip / Model Type / Model	20 TON ÇEKME	
Seri No. / Envanter No. Serial / Inventory Number	630 /	
SMS Kal. Kodu SMS Cal. Code	48113.YIL.01	
Kalibrasyon Tarihi Date of Calibration	25.10.2017	Bul.Yer./Bölüm : LABORATUAR
Sertifikanın Sayfa Sayısı Number of Pages of the Certificate	3	Notlar:
Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI). Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI). Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren SMS Kalibrasyon TÜRKAK'tan AB-0066-K akreditasyon dosya numarası ile TS EN ISO 17025 standardına göre akredite edilmiştir. SMS Kalibrasyon accredited by TÜRKAK under registration number AB-0066-K accreditation file no for TS EN ISO 17025 as Calibration Laboratory. Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınabilirliği konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır. Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates. Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir. The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate. Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınması konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır. The Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for the Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates. Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir. The measurements, uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.		
	Tarih Date 25.10.2017	Kalibrasyonu Yapan Calibrated By MUSTAFA KÜLÜNK 
		Onaylayan Approval A.SAMET DOĞAN 
Bu sertifika laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir. This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.		

Şekil C.1 Çekme cihazı kalibrasyon belgesi

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: ercumentyuncuoglu@gmail.com

Makaleler

1. Bağci E., Yüncüoğlu E.U., "The Effects of Milling Strategies on Forces, Material Removal Rate, Tool Deflection, and Surface Errors for the Rough Machining of Complex Surfaces", Strojnicki Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, vol.63, pp.643-656, 2017
2. Yüncüoğlu E.U., Ince S.T., Bağci E., "Cross-Correlation Assessment of Carbon Fiber/Epoxy Strength in Sea Water", Materials Testing, (Submitted)