

126879

**ASKERİ SAHİL GÜVENLİK BOTLARININ İMALATINDA
KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlter GÜNEŞ

514001024

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Temmuz 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Ağustos 2002

**İT. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Murat VURAL

Doç.Dr. Erdem İMRAK

AĞUSTOS 2002

126879

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana her türlü desteği verip yardımlarını esirgemeyen değerli tez hocam Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU'na, bu konuda çalışmaya başladığım ilk günden itibaren tebessümünü yüzünden hiç eksik etmeyen, tüm sorularıma cevap veren, hiçbir imkanı benden esirgemeyip en iyisini yapabilmem için beni sürekli yönlendiren Dr. Ekber İ. N. ONUK'a, başta İ. Melih ER ve Mehmet Ali TEPEBAŞ olmak üzere, içinde bulunduğum her anından çok büyük keyif aldığım ve haz duyduğum YONCA-ONUĞ A. Ortaklığı'nın tüm değerli çalışanlarına, çocukluk arkadaşım Müh. Öğm. Semih VARDI'ya, destekleriyle beni rahatlatan silah arkadaşlarım P. Kd. Öğm Yavuz GAZİBEY ve P. Kd. Öğm Kubilay COŞKUN'a, hayatımın her anında bana destek veren canım aileme, bu süre içinde beni sabırla destekleyen, bekleyen, dinleyen ve hayatımın sonuna kadar yanımda olmasını istediğimde bana "EVET" cevabını veren biricik aşkım Özlem'ime sonsuz teşekkürler ederim.

Ağustos 2002

İlter GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. MALZEME SEÇİMİ	2
2.1. Tasarım İlkeleri	2
2.2. Yüksek Performanslı Deniz Taşıtlarının İmalatında Kullanılabilecek Malzemeler	2
2.2.1. Tahta	4
2.2.2. Çelik	4
2.2.3. Alüminyum Alaşımları	5
2.2.4. Kompozit Malzemeler	5
2.3. Yapısal Düzenleme	6
3. KOMPOZİT MALZEMELER	9
3.1. Tanım	9
3.2. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	9
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	11
3.3.1. Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemeler	11
3.3.1.1. Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemeler	12
3.3.1.2. Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemeler	13
3.3.1.3. Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Yapımında Kullanılan Katkı Maddeleri	15
3.3.2. Liflerle Takviyeli Kompozit malzemeler	15
3.3.2.1. Genel	15
3.3.2.2. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi	17
3.3.2.3. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemeleri (LİFLER)	24
3.3.2.4. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemelerinin Üretim Şekilleri	34
3.3.2.5. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeleri	41

4. ASKERİ SAHİL GÜVENLİK BOTLARINDA KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI UYGULAMASI (“KAAN” SINIFI BOTLAR)	58
4.1. Genel	58
4.2. Sahil Güvenlik Komutanlığı	58
4.3. Üretci Firma ve “MRTP” Konsepti	59
4.3.1. Konsept Tarifi	59
4.3.2. MRTP Konseptinin Geliştirilmesi	60
4.3.3. MRTP: İleri Teknoloji Kompozit Çok Amaçlı Taktik Platform	63
4.4. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Sistemler ve Malzemeler	64
4.4.1. Üretim İçin Kullanılan Kalıp Yöntemi: Dişi Kalıp	65
4.4.2. Gövdenin İmalatında Kullanılan Yapı: Tek Cidarlı Konstrüksiyon (Single-Skin)	66
4.4.3. Güverte ve Üst Binanın İmalatında Kullanılan Yapı: Sandviç Yapı (Sandwich Structure)	67
4.4.4. Sandviç Yapıda Kullanılan Çekirdek Malzemeleri	67
4.4.5. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Takviye Malzemeleri	69
4.4.5.1. Keçe Kullanımı	69
4.4.5.2. E-Camı Liflerinin Kullanımı	71
4.4.5.3. Kevlar49 Kullanımı	72
4.4.5.4. Karbon Liflerinin Kullanımı	78
4.4.6. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Matris Malzemesi: Vinilester reçine	79
4.4.7. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatı ve Laminasyon	82
4.4.8. MRTP Konseptinin Modernizasyon ve ARGE Çalışmaları	88
5. SONUÇ	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

HTS	: High Tensile Strength
CRES	: Corrosion Resistant
FRP	: Fibre Reinforced Plastic
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
CSM	: Chopped-Strand Mat
PAN	: Poliakronitril
HS	: High Strength
VHS	: Very High Strength
HM	: High Modulus
UHM	: Ultra High Modulus
MMCs	: Metal Matrix Composites
CMCs	: Ceramic Matrix Composites
PMCs	: Polimer Matrix Composites
HDT	: Heat-Deflection Temperature
SAR	: Search And Rescue
M RTP	: Multi Role Tactical Platform

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Tekne imalatında kullanılan malzemelerin özellikleri.....	3
Tablo 3.1 Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzeme örnekleri ve uygulamaları.....	15
Tablo 3.2 Liflerle takviyeli betonların bazı özelliklerinde matris malzemelerinin özelliklerine oranla görülen yüzde artış değerleri....	17
Tablo 3.3 Lifler ve özellikleri.....	25
Tablo 3.4 Dört farklı cam elyafın bileşimleri ve bazı özellikleri.....	26
Tablo 3.5 Metal matris malzemesi olarak en çok kullanılan üç metalin özellikleri.....	43
Tablo 3.6 Termoplastik reçinelerin özellikleri.....	46



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Üç farklı konseptin değerlendirmesi..... 7
Şekil 3.1	İki geleneksel iki fazlı yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlar ile taneciklerle güçlendirilmiş sinterlenmiş alüminyum toz kompozitin akma dayanımlarının karşılaştırılması..... 13
Şekil 3.2	% 12.5 ThO ₂ içeren taneciklerle güçlendirilmiş platinin saf platinle kıyaslanması..... 14
Şekil 3.3	Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin farklı şekilde yönlendirilmeleri..... 18
Şekil 3.4	Liflerle takviyeli kompozit için gerilim-birim uzama eğrisi..... 19
Şekil 3.5	Bor kaplanmış silisyum karbür lif takviyeli alüminyumun özellikleri üzerinde kısmi hacim oranının etkisi..... 20
Şekil 3.6	Bor takviye edilmiş titanyum alaşımları için liflerle takviyeli kompozitlerde uygulanan gerilmeye göre yönlendirmenin etkisi..... 21
Şekil 3.7	Tek lif için gerilim-birim uzama eğrisi..... 22
Şekil 3.8	Liflerin metallere ve polimerlere göre özgül dayanımlarının ve özgül modüllerinin kıyaslanması..... 23
Şekil 3.9	Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde kullanılan bazı liflerin üzerinde sıcaklığın etkisi..... 23
Şekil 3.10	Cam liflerinin yaklaşık olarak 1500 kat büyütülmüş hali..... 26
Şekil 3.11	Poliakronitril (PAN) öncü malzemeden yüksek dayanımlı ve yüksek modüllü karbon lifleri üretim aşamaları..... 32
Şekil 3.12	Poliakronitril (PAN) esaslı karbon liflerinde ısıtma işleminin, elastisite modülü ve çekme dayanımı üzerine etkileri..... 33
Şekil 3.13	Düz dokuma kumaş..... 38
Şekil 3.14	Kabarık dokuma kumaşın 2x1 dokunmuş formu..... 38
Şekil 3.15	Atlas dokuma kumaş..... 39
Şekil 3.16	Mat dokuma kumaş..... 40
Şekil 3.17	Atkıların daha fazla kullanıldığı tek yönlü dokuma..... 40
Şekil 3.18	Doymamış polyester reçinenin imalatı..... 49
Şekil 3.19	Farklı sıcaklık ve sürelerde kürlenmiş üç farklı reçinenin çekme dayanımlarının karşılaştırılması..... 56
Şekil 3.20	Farklı sıcaklık ve sürelerde kürlenmiş üç farklı reçinenin çekme modüllerinin karşılaştırılması..... 56
Şekil 4.1	ONUK MRTP29 90 Tonluk Sahil Güvenlik Botu..... 62
Şekil 4.2	ONUK MRTP15 Süratli Müdahale Botu..... 62
Şekil 4.3	ONUK MRTP 29'un yan kesiti..... 62
Şekil 4.4	ONUK MRTP15'in yan kesiti..... 63
Şekil 4.5	E-Camı elyafına elle yatırma yönteminin uygulanması..... 68
Şekil 4.6	Koramat..... 69
Şekil 4.7	Keçe..... 70
Şekil 4.8	Keçeye elle yatırma yönteminin uygulanması..... 70
Şekil 4.9	300'lük E-Camı elyafı..... 71
Şekil 4.10	600'lük E-Camı elyafı..... 72

Şekil 4.11	Rovimat.....	72
Şekil 4.12	Çarpma sonucu Kevlar49-E-Camı takviyeli ince kompozitteki artık çekme dayanımı.....	74
Şekil 4.13	Çarpma sonucu sadece E-Camı takviyeli kalın kompozitteki artık çekme dayanımı.....	75
Şekil 4.14	Kevlar49'un yapıda kullanım yüzdesine göre kompozit malzemede meydana gelen ağırlık ve kalınlık azalışı.....	77
Şekil 4.15	460'lık Kevlar49.....	78
Şekil 4.16	Aramat.....	78
Şekil 4.17	Karbon elyafı.....	79
Şekil 4.18	Vinilester reçine.....	81
Şekil 4.19	Kalıp ayırıcı malzeme (wax).....	82
Şekil 4.20	Cam elyafa uygulanan zımparalama işlemi.....	85
Şekil 4.21	Kevlar49 için kullanılan peelply.....	86
Şekil 4.22	Gövde ve güvertenin birleştirilmesi.....	87
Şekil 4.23	Gerekli donanım ve sistemlerin tekneye eklenmesi.....	87



SEMBOL LİSTESİ

E	: Elastisite modülü
f	: Hacim oranı
Δ	: Birim ağırlık
k	: Isıl iletkenlik
δ	: Panel eğilme faktörü
t_0 , k_0	: Panel kalınlık katsayıları
C_1 , C_2	: Panel katsayıları



ASKERİ SAHİL GÜVENLİK BOTLARININ İMALATINDA KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI

ÖZET

Okyanus ve açık denizdeki yoğun harekattan yerel, kıyusal ve özel görevlere dönüşen denizlerdeki savaş stratejileri ile birlikte deniz güçleri de değişmektedir. Yerel ve sahil savaş ortamları, doktrinlerde yeni düşüncelerin gelişmesine sebep olmaktadır.

Değişen stratejilerle beraber gelişen teknoloji, denizlere kıyası bulunan ülkelerin kıyusal sularında en etkin korumayı sağlayabilecek yüksek performanslı deniz taşıtlarının önemini arttırmıştır.

T.C. Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın görevlerini daha etkin bir şekilde ifa edebilmesine imkan sağlayacak Sahil Güvenlik Botlarının imalatında, alternatif tekne inşa malzemeleri ile karşılaştırıldığında, teknelerin özel amaçlarına yönelik performanslarını sağlayabilmesi için kompozit malzemelerin kullanılmasının optimum faydayı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında, alternatif tekne inşa malzemeleriyle karşılaştırılarak, yüksek performanslı deniz taşıtlarında kompozit malzeme kullanılmasının neden optimum çözüm olduğu açıklanacaktır. Kullanılmasına karar verilen kompozit malzemelerin özellikleri detaylı olarak ele alındıktan sonra, yüksek performanslı bu teknelerden beklenenler ortaya konularak kullanılan sistem ve malzemelerle birlikte üretim aşaması anlatılacaktır.

THE USAGE OF COMPOSITE MATERIALS IN THE PRODUCTION OF MILITARY COAST GUARD VESSELS

SUMMARY

By war strategies turning into littoral and coastal waters and special operations from dense operations in the oceans and blue waters, the naval forces of countries will also be changed. Littoral and coastal war atmosphere has caused the development of new thoughts in doctrines.

Developing technology accompanying with changing strategies, have increased the place and the importance of high performance naval vessels which can prove the most effective protection in littoral for the countries located by the sea.

In the production of coast guard boats that can help Turkish Coast Guard Command to fulfil its duties and responsibilities more efficiently, in comparison with the alternative boat building materials, the usage of composite materials had been evaluated for the purpose of proving the best performance of the crafts due to their special objectives.

In this study, it will be explained why the usage of composite materials is optimum in the production of high performance naval vessels by comparing them with the alternative boat building materials. Composite materials which had been decided to be used will be covered in details, and then by putting forward the expected performance values of these special-aimed vessels the production process including systems and materials used will be explained.

1. GİRİŞ

Son 20 yılda askeri ve sivil sektörlerin küçük ve hızlı deniz taşıtlarına olan ilgisi giderek artmıştır. Artan bu talep, yüksek performanslı deniz taşıtlarının gövde imalatı kriterlerini, bunların tasarım metotlarını ve analitik tekniklerini geliştirmeye çabalayan sektörleri canlandırmıştır. Bunlara ek olarak, kullanıcıların maksimum performansı ve minimum maliyeti talep etmeleri, alüminyum alaşımların ve metal olmayan kompozit malzemelerin tekne gövdelerinin imalatında kullanılmasında hızlı bir artışa sebep olmuştur.

Yüksek performanslı deniz taşıtlarının teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, bunların gövdelerinin tasarımı, imalatı ve analizine yönelik çalışmalarındaki literatürde de gelişmeler olmuş ve bazı sınıflandırma kuruluşları tarafından gövde imalatına ait kurallar ve teknikler belirlenmiştir[1].

Bu tez çalışmasında, uzunlukları 15-60 m arasında olup, hızları 20 knot'un üzerinde olan, yüksek performanslı askeri ve sivil deniz taşıtlarının gövdelerinin imal edilmesinde, belirli kriterler dahilinde, *performans* ve *maliyet*, kullanılabilecek en uygun malzemenin belirlenmesi ve bu malzemenin kullanılmasını incelenecektir.

İkinci bölümde yüksek performanslı deniz taşıtlarının gövdelerinin imalatında kullanılabilecek farklı malzemeler karşılaştırmalı olarak ele alınarak, bu malzemeler arasından hangisinin kullanımının en uygun olduğuna karar verilmesi incelenecektir.

Üçüncü bölümde kullanılmasına karar verilen kompozit malzemeler ele alınarak, dördüncü bölümde Sahil Güvenlik Botlarında kompozit malzemelerin kullanımı anlatılacaktır.

2. MALZEME SEÇİMİ

2.1. Tasarım İlkeleri

Küçük deniz taşıtlarının gövdelerinin tasarımı, minimum ağırlık ve minimum maliyet gibi birbirleriyle çatışan kısıtların arasında kabul edilebilir bir denge kuran ve hedeflenen dayanım kriterlerini sağlayan yapısal sistemlerin kullanılmasını gerektirir. Minimum ağırlık kısıdı hedeflenen performansa göre değişiklik gösterir. Maliyet ise, kullanım ömrü de göz önüne alınarak hesaplanması gereken bir kriterdir. Ağırlık ve maliyet, hem gövde imalatı için gerekli malzemenin seçiminden, hem de yapının karmaşık olabilecek düzeninden çok fazla etkilenen iki kısıttır. Tasarım ve imalata başlamadan önce, bu iki kriterin hangi ölçülerde kabul edilebileceği çok iyi tahlil edilerek hesaplanmalı ve teknenin inşa edilmesindeki amaçlar en iyi şekilde ortaya konulmalıdır.

2.2. Yüksek Performanslı Deniz Taşıtlarının İmalatında Kullanılabilecek Malzemeler

Günümüzde tekne gövdelerinin imalatı için elimizde birçok farklı malzeme seçeneği vardır. Bu malzemelerin her biri, dayanıklılık, yoğunluk, ömür, maliyet ve bunun gibi özellikler baz alındığında birbirlerinden farklı değerler ortaya koyarlar. Malzemenin seçiminde teknedeki beklenen temel performans hedefleri, imal edilecek teknelerin sayısı ve bunları imal edebilmek için gerekli endüstriyel imkanlar gibi program detayları çok iyi incelenmeli ve malzemenin seçimi yukarıda yazılı özellikler baz alınarak çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

Tablo 2.1’de yüksek performanslı teknelerin imalatında kullanılabilecek malzemelerin bazı temel özellikleri gösterilmiştir. Bu tabloda verilen *özellik dayanım* ve *özellik modül* değerleri, ağırlık baz alındığında yapısal sistemin etkinliğinin ölçülmesini sağlar. Uygulanan yüklere dayanım için tasarlanmış mükemmel bir yapıda, en yüksek özellik dayanım değerine sahip malzeme en düşük yapısal ağırlığı sağlar. Buna benzer olarak, istenilen sertliğe sahip yapılardaki en düşük yapısal ağırlık en yüksek özellik modül değerine sahip malzeme tarafından sağlanır.

Tablo 2.1 Tekne imalatında kullanılan malzemelerin özellikleri

MALZEME	Yoğunluk ρ (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı σ (MPa)	Elastisite Modülü E (GPa)	Özgül Dayanım σ/ρ	Özgül Modül E/ ρ
TAHTA					
Köknar	0.48	55.85	13.24	116.35	27.58
Maun	0.46	60.67	9.86	131.35	21.43
Meşe	0.62	57.92	12.55	93.41	20.24
Ladin	0.40	46.79	10.82	116.98	27.05
METALLER					
<u>Çelik</u>					
Yüksek Dayanım (HTS)	7.83	317	199	40.48	25.41
Korozyon Dayanım (CRES)	7.74	537	193	69.37	24.93
<u>Alüminyum</u>					
5083-H321	2.77	220	71	79.24	31.27
5086-H32	2.77	165	71	72.68	31.27
5456-H116	2.77	227	71	81.94	31.27
<u>Titanyum</u>	4.60	827	110	179.78	23.91
KOMPOZİTLER					
E-Camı / Polyester	1.79	158	11	88.26	6.14
S-Camı / Polyester	1.79	158	10.3	88.26	5.75
Aramid / Polyester	1.52	213	12.5	140.13	8.22
E-Camı / Vinilester	1.79	206	12.6	115.08	7.03
S-Camı / Vinilester	1.79	199	11.4	111.17	6.36
Aramid / Vinilester	1.52	186	12.1	126.53	8.23
E-Camı / Epoksi	1.99	517	24.1	259.79	12.11
S-Camı / Epoksi	1.99	758	17.2	380.90	8.64
Aramid / Epoksi	1.43	592	44.8	413.99	31.2

Şimdi Tablo 2.1’de gösterilen tekne inşa malzemelerinin uygunluğu, yapıdan beklenen minimum ağırlık ve minimum maliyet kısıtlarının ışığı altında tek tek ele alınacaktır.

2.2.1. Tahta

Son zamanlara kadar küçük ebatlı teknelerin imalatında kullanılan başlıca malzeme tahta idi. Tablo 2.1’de görüldüğü gibi tahta, mükemmel özgül dayanım ve özgül modül değerlerine sahiptir. Buna rağmen yapı olarak tek yönlü olmasından dolayı, yüksek özgül dayanım ve özgül modül değerlerinden ancak birleşme noktalarına çok önem verilerek yapılacak dikkatli bir tasarım sonucunda yararlanılabilir.

Tahta kullanılarak yapılan teknelerin imalatı genellikle, kurutma ve şekil verme dışında fazla bir ön hazırlığa ihtiyaç duymadan, uzun tahta ve kalasların mekanik olarak birleştirilmeleriyle yapılır. Bu yolla imal edilen tekne gövdelerinin etkinliği, mekanik olarak bağlanmış birleştirme noktalarının etkinliği ile sınırlıdır. Bu malzemenin özelliklerinden, daha ince kalıplama tahtası kullanılarak ve teknenin imalatında gövdede kullanılan bu ince tahtaları, yüksek mukavemetli , suya ve küflenmeye karşı dayanıklı, sentetik reçine yapıştırıcıları ile tabakalar halinde üst üste birleştirilerek daha etkin olarak yararlanılabilir. Bu tekniklerin kombinasyonu mayın arama gemileri gibi özel yapılarda kullanılmaktadır.

Şu anda yüksek performanslı teknelerin imalatında çok nadir olarak kullanılan tahta yerine metal ve kompozit malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bunun başlıca nedeni, tahtanın diğer malzemelere göre yüksek fiyatı ve tahta ile imal edilen teknelerin işçilik maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Ayrıca seri imalat için de uygun bir malzeme değildir.

2.2.2. Çelik

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi, çelikler orta performanslı deniz taşıtlarının üretiminde, düşük maliyet sağlayan iyi bir seçenek olabilirler. Etkinlikleri mevcut diğer malzemelere göre daha düşük olduğu için, yüksek performanslı teknelerin imalatında optimum bir seçenek olarak değerlendirilmezler. Aynı zamanda yüksek dayanım çeliklerinin deniz suyu ortamında korozyona maruz kalacağı da akıldan çıkarılmamalıdır. Bu sebepten dolayı, çeliklerin tablodaki değerlerini, uygulamada, korozyondan doğan malzeme kaybını karşılamak için belli oranlarda azaltarak kullanmak gereklidir. Diğer bir çözüm ise imalatta korozyon dayanımlı çeliklerin kullanılmasıdır. Bu seçim de doğal olarak imalat sırasında maliyetleri arttıran bir seçenektir.

2.2.3. Alüminyum Alaşımları

Günümüzde, yüksek mukavemete sahip ve korozyona karşı dayanıklı alüminyum alaşımları, Tablo 2.1'deki verilerden de anlaşılacağı gibi, ağırlık kısının bulunduğu yüksek performanslı deniz taşıtlarını imalatı için yaygın bir seçenektir. Özgül dayanımları kabul edilebilir seviyede yüksek olup, alüminyum gövdelerin tasarımının yapıda yeterli dayanımı sağlayıp sağlayamadığı, eğilmeleri ve ilave gerilme konsantrasyonlarını önleyici yeterli sertliğe sahip olup olmadığı dikkatli bir şekilde araştırılmalı ve test edilmelidir. Bunlara ek olarak uygulanan yüklerin daha yüksek ve periyodik olduğu durumlarda yorulma ömrünün doğru tahmini yapı açısından çok önemlidir.

2.2.4. Kompozit Malzemeler

Çok farklı kombinasyonlara sahip olabilen kompozit malzemeler, denizcilik sektöründe gemi gövdelerinin inşasında, gün geçtikçe artan şekilde yaygın bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde tekne gövdelerinin imalatı için, polyester reçinenin E-Camı lifleri ile takviye edildiği katmanların kullanıldığı kompozit yapılar çok fazla kullanılan bir seçenek oluşturmaktadır. Kompozitlerin özgül dayanım ve özgül modül değerleri, alüminyum alaşımlarının değerlerine çok yakındır. Aynı alüminyum alaşımları gibi, yüksek kabul edilebilecek özgül dayanım değerlerinden dolayı kompozit malzemelerden tasarlanan tekneler için de, sertlik, gerilme konsantrasyonları ve yorulma ömrü mutlaka çok iyi bir şekilde analiz edilmesi gereken hususlardır.

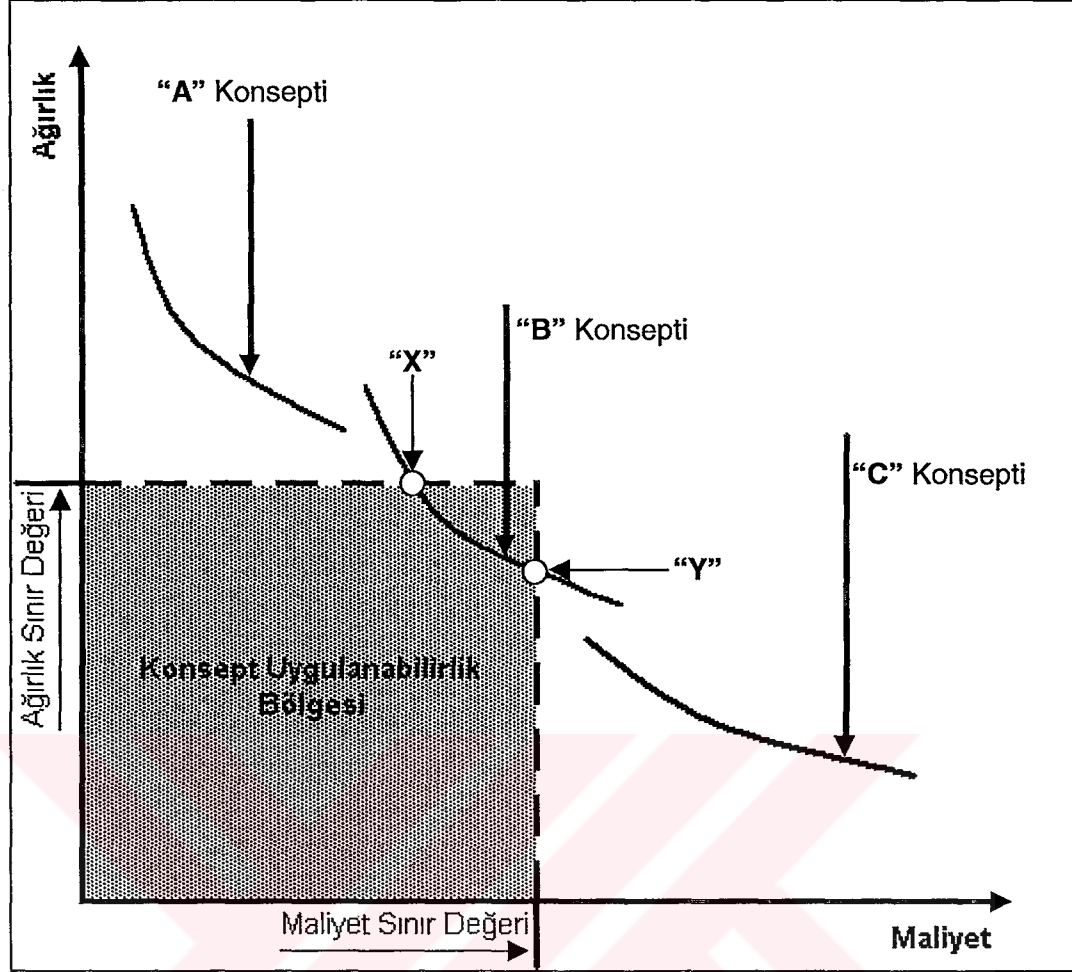
Yüksek performanslı yapılarda kompozit malzeme kullanılması ile ilgili ilk önemli gelişmeler havacılık endüstrisinde elde edilmiş olup, doğal olarak bu olumlu gelişmeler gemi inşa sektörüne de sıçrayarak kullanımdaki yerini almıştır. Ayrıca denizcilik sektöründe yüksek performanslı kompozit yapılarda kullanılan aramid ve grafit gibi pahalı liflerin fiyatları, imalat tekniklerinin gelişmesiyle daha uygun hale gelmiş ve bunun doğal bir sonucu olarak, kompozitlerin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Bu olumlu gelişmelerin yanında, yüksek performanslı kompozitlerin gittikçe artan kullanımları, bunların etkili kullanımlarını garanti altına almak maksadıyla, tasarım standartlarının, imalat süreçlerinin kalite kriterlerinin ve kalite denetleme uygulamalarının standartlarının çok iyi şekilde belirlenmesini gerektirmektedir.

2.3. Yapısal Düzenleme

Tüm gövde tasarımlarında yapının düzenlenmesi için ana ilke, imal edilecek tekneye özel olarak, *beklenen temel ihtiyaçların karşılanmasıdır*. Yapının tasarlanmasında, minimum ağırlık ve minimum maliyet gibi çok önemli iki kısıdı optimum olarak dengeleyebilecek sistemin ve alt sistemlerin belirlenmesi gerekir. Bu dengeyi sağlayabilmek için, gövdenin imalatında kullanılacak en uygun malzeme seçilmelidir. İmalatın uygulanması, işçilerin kabiliyetleri, malzemeyi işleyebilecek ekipmanlar ve gelişmenin sınırları minimum ağırlık ve maliyet kısıtlarını etkileyen diğer faktörler olarak belirtilebilir.

Tekne tasarım sürecinin ilk safhalarında, kullanılacak malzemenin mantıklı temellere dayanarak seçimini sağlayacak ve imal edilecek teknedeki beklenen özellikleri karşılayacak yapısal düzenin belirlenmesine yardımcı olacak konseptin değerlendirilmesi ve ticari olmayan çalışmalar mutlaka tamamlanmalıdır. Birçok bot tasarım süreci uygulamasında amaç, belirlenen ağırlık ve maliyet sınır değerleri içerisinde imalata aday konseptlerin ağırlık ve maliyet karakteristiklerinin belirlenmesi ve tanımlanmasıdır. Şekil 2.1’de üç farklı konseptin değerlendirmesi, ağırlık ve maliyet sınır değerlerinin belli olduğu bir sistemde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. “A” konsepti belirlenen ağırlık sınır değerini, “C” konsepti ise belirlenen maliyet sınır değerini aştığı için uygulanamaz olarak görülmektedir. “B” konsepti ise başlangıçta belirlenen sınır değerlerinin ikisini de karşılayabilecek bölgede olup uygulanabilir bir konsept olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 2.1 incelendiğinde, uygulanabilirlik bölgesinde bulunmayan iki aday konseptin de, planlamalarında bazı değişiklikler yapılarak bu bölge içine alınabileceğini görüyoruz. A konsepti maliyet bakımından uygulanabilecek bir seviyede olmasına rağmen, yapının istenen ağırlığının aşıldığı görülmektedir. Ağırlığı azaltıp konsepti uygulanabilir hale getirmek için, maliyet biraz arttırılıp bu konseptin tekrar planlanması uygun olacaktır. C konseptine baktığımızda ise, A konseptine benzer bir şekilde bu defa ağırlığın uygunluk sınırları içinde olmasına rağmen maliyetin istenilen sınırlar içine alınamadığı görülmektedir. Burada planlama tekrar gözden geçirilerek ağırlığın belli bir ölçüde arttırılması ile maliyet değeri düşürülebilir ve C konsepti de uygulanabilir bir hale getirilebilir.



Şekil 2.1 Üç farklı konseptin değerlendirilmesi.

Uygulanacak konseptin belirlenmesinden sonra, yapılan bu seçimin başlangıçta belirlenen kriterlerin iyileştirilebilmesi için detaylı planlamasının yapılması gerekir. İyileştirme çalışmalarına örnek olarak, kullanılacak enine ve boyuna takviyeler arasındaki mesafenin, maruz kalınabilecek belirli yüklere karşı dayanım için tasarlanmış kaplama panellerinin ağırlık ve maliyetlere olan etkilerinin belirlenmesi verilebilir.

Seçilen konsept üzerinde, uygulanabilir alan içinde olmak koşulu ile herhangi bir noktaya karar verilebilir. Bu nokta bazen geçerli bölgenin sınırlarına denk gelebilir ve optimize edilmeye çalışılan kısıtın hangisinin çok daha önemli olduğuna bağlı olarak yer değiştirebilir.

Şekil 2.1'deki B konsepti incelendiğinde, uygulanabilir bölgenin sınırları üzerinde iki noktanın farklı kısıtların önceliğine göre uygulama için seçilebileceği görülmektedir. "X" noktasında maliyetin azaltılması ile ağırlık artışına neden olunur. "Y" noktası ise ağırlığın azaltılması ile maliyetin arttığı noktadır. Başlangıçta planlanan ve öncelikleri

belirlenen ağırlık ve maliyet kriterlerinden hangisine daha fazla önem verilmek zorunda ise, uygulanacak nokta bunun ışığında seçilmek zorundadır[1].

Herhangi bir taşıt imalatında yukarıda bahsedilen şekliyle performans-maliyet ilişkisi önemli bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir taşıt çok hafif ancak çok pahalı veya çok ağır ama çok ucuz yapılabilmektedir. Ancak tüm reel projelerde aşılmaması gereken bir bütçe ve ağırlık sınırı bulunmaktadır.

Üstün denizcilik ve yüksek sürati hedef alan kararlı platformların tasarımında da, yapı malzemesinin seçimi performans/maliyet kriterlerini en iyi karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Bu yüzden, Sahil Güvenlik Komutanlığı için Savunma Sanayii Müteşarlığı tarafından Yonca-Onuk A. Ortaklığı'na inşa ettirilen 19 ton, 54 knot "KAAN15" Sınıfı Ani Müdahale Botları ve 96 ton, 48 knot "KAAN29" Sınıfı Sahil Güvenlik Botlarında, yapı malzemesi olarak ileri kompozit malzeme kullanılmaktadır. Yapısal optimizasyonu yapılarak kullanılan malzeme sayesinde, bahsedilen botlar, dünyada kendi klaslarında rakiplerine göre çok daha üstün performans ve denizcilik özelliklerine sahiptirler[2].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Tanım

Kompozit malzeme, “belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen yapıdır”. Buradaki amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir[3]. Örnek olarak oldukça esnek bir malzeme olan elyaf, reçine ile karıştırılarak Elyaf Takviyeli Plastik (FRP: Fiber Reinforced Plastic) elde edilmiştir. Benzer biçimde, olağan kullanımda oldukça kırılgan olan çimentonun kafes teli ile güçlendirilmesi, bu yeni malzemenin mukavemetini arttırmıştır[4].

Yukarıdaki tanım ve açıklamalar doğrultusunda, kompozit malzemede genelde şu koşullar aranmaktadır:

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaç için üretilmiş olması[3].

3.2. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bunlar aynı zamanda kompozit malzemelerin avantajları olarak da belirtilebilir:

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa karşı dayanım,

- Isı iletkenliği veya ısı direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırılık veya hafiflik,
- Görünüm,
- Ekonomiklik

ve bunlara benzer çeşitli özellikler olarak sıralanabilir. Bu amaçların bir veya birkaçının elde edilmesi amacıyla kullanılan üretim yöntemi ne olursa olsun, değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir.

Kompozit malzemelerin dezavantajlarını da aşağıdaki madde başlıklarıyla sıralayabiliriz:

- Hammaddelerin yüksek fiyatı,
- Enine özelliklerdeki zayıflıklar,
- Zayıf matris ve düşük sertlik,
- Çevresel koşulların matris üzerindeki etkileri,
- Birleştirme sırasında karşılaşılan zorluklar,
- Analiz safhasında karşılaşılan zorluklar[5].

Bir kompozitin yapısı genel olarak “matris” olarak kabul edilen sürekli bir faz ile, onun içinde dağılı değişik özelliklere sahip “takviye” fazından meydana gelmektedir[3].

Malzemeler makroskopik yapıda ve birbirleri içinde çözünmezler[6]. Takviye malzeme tanecik veya lif halinde olabilir, matris ise genellikle sürekli dir. Kompozit malzemelerde kullanılan takviye fazı esas yük taşıyıcı eleman olarak görev yaparken, takviyeleri çevreleyen matris fazı ise malzemeye eklenmiş takviyelerin belirli bir konumda ve yönde bulunmasını sağlayarak yapının tamamına gelen yükleri takviyelere iletir ve yükün mümkün olduğu kadar eşit şekilde takviyelere yayılmasını sağlar. Matris fazının diğer bir görevi ise takviyeleri yüksek sıcaklık ve nem gibi zararlı dış etkenlerden korumaktır[5].

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Farklı kaynaklarda kompozit malzemeler değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Matris malzemesine göre sınıflandırmanın da kullanıldığı farklı sınıflandırmaların aksine tez çalışmasına konu olan Sahil Güvenlik Botlarında birden fazla takviye elemanları kullanıldığı için “Takviye malzemesinin geometrisine göre sınıflandırma” bu çalışma için daha uygun olacaktır. İlerleyen bölümlerde kompozit malzeme elemanlarını incelendiğinde “Matris malzemesine göre sınıflandırma”dan da ayrıca bahsedilecektir.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında kompozit malzemeleri iki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemeler
- Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemeler

Burada ayrıca belirtilmesi gereken bir konu daha var. Bazı kaynaklarda bu iki şıkka ilave üçüncü bir şık olarak “Tabakalı Kompozit Malzeme (Lamine Kompozit Malzeme)” terimi de kullanılmaktadır. Değişik özelliklere sahip birden çok malzemenin bir yapıştırıcıyla birleştirilmesiyle oluşan malzemeler olarak tanımlanan Tabakalı Kompozit Malzemeler, takviye malzemesinin geometrisinden ziyade üretim şeklini ifade ettiği için bu çalışmada bu şık sınıflandırmanın dışında kalacaktır.

3.3.1. Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemeler

Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzeme, çeşitli kaynaklardan elde edilen parçaların bağlayıcı nitelikteki bir malzeme içinde dağılı olarak yer aldıkları malzeme grubudur[3]. Burada taneler takviye malzemesini (dağılı faz), bağlayıcı ise matris malzemesini (sürekli faz) oluşturmaktadır.

Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzeme oluşumu içinde genellikle sert taneler, sünek bir matris malzemesine bağlanarak bir araya getirilmekte ve malzeme üretilmektedir. Bu tür malzemelere örnek olarak çimento ve agregası ile yapılmış çeşitli özelliklere sahip betonlar, polimer bağlayıcı ile agregası karışımları, kırmataş ile asfalt karışımları gibi malzemeler verilebilir.

Günümüzde başta yapı sektörü olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılan beton ve özel türleri, taneli kompozitlerin çok önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Geniş anlamıyla beton malzemenin kendisi taneli kompozitleri tanımlamaktadır.

Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemeler, tanelerin boyutu ve kompozit malzeme özelliklerine etki durumuna dayalı olarak iki gruba ayrılabilir[7].

- Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemeler
- Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemeler[3]

3.3.1.1. Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemeler

Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemelerde kullanılan tane çapı genelde 1 µm'den daha büyüktür[3]. Bu taneler dislokasyonları etkin olarak engellemeyen fazla miktarda kaba tanelerdir. Malzemeler mukavemeti iyileştirmekten daha çok alışılmışın dışında özellik kombinasyonları üretmek için tasarlanmaktadır. Bu amaçla yapılan bir kompozit malzemenin özelliği kendisini oluşturan elemanların nispi miktarlarına ve özelliklerine bağlıdır. Örneğin bu şekilde oluşturulan bir kompozitin yoğunluğu:

$$\rho_c = \sum f_i \cdot \rho_i = f_1 \cdot \rho_1 + f_2 \cdot \rho_2 + f_3 \cdot \rho_3 + \dots + f_n \cdot \rho_n \quad (3.1)$$

denklemleriyle (Karışım kuralı) bulunur. Bu denklemde f her bir elemana ait hacim oranı p ise kompoziti oluşturan her bir elemana ait yoğunluktur[7].

Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemelere örnek olarak gösterilebilecek malzemeler şunlardır:

- **Semente Karbürler**

Semente karbürler veya sermetler metalik matris içerisinde dağılmış sert seramik parçacıkları içermektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım olarak kullanılan Tungstern karbür (WC) takviyeli kompozitler bu gruba tipik bir örnektir[7].

- **Aşındırıcılar**

Aşındırıcı ve kesici diskler alumina (Al_2O_3), silisyum karbür (SiC), kübik boron nitrit (BN) ve elmaştan oluşmaktadır. Tokluğu sağlamak için aşındırıcı parçacıklar cam veya polimer matris ile bağlanmaktadır[7].

- **Elektrik kontakları**

Elektrik anahtarları ve ileticilerdeki elektrik kontakları için kullanılan malzemeler iyi aşınma ve elektrik iletkenliği kombinasyonuna sahip olmalıdırlar. Tungstern takviyeli gümüş gibi Tanelerle Donatılmış Kompozit Malzemeler, sertlik ve iletkenlik açısından uygun kombinasyonun ortaya çıkmasını sağlar[7].

- **Döküm kalıpları ve maçalar**

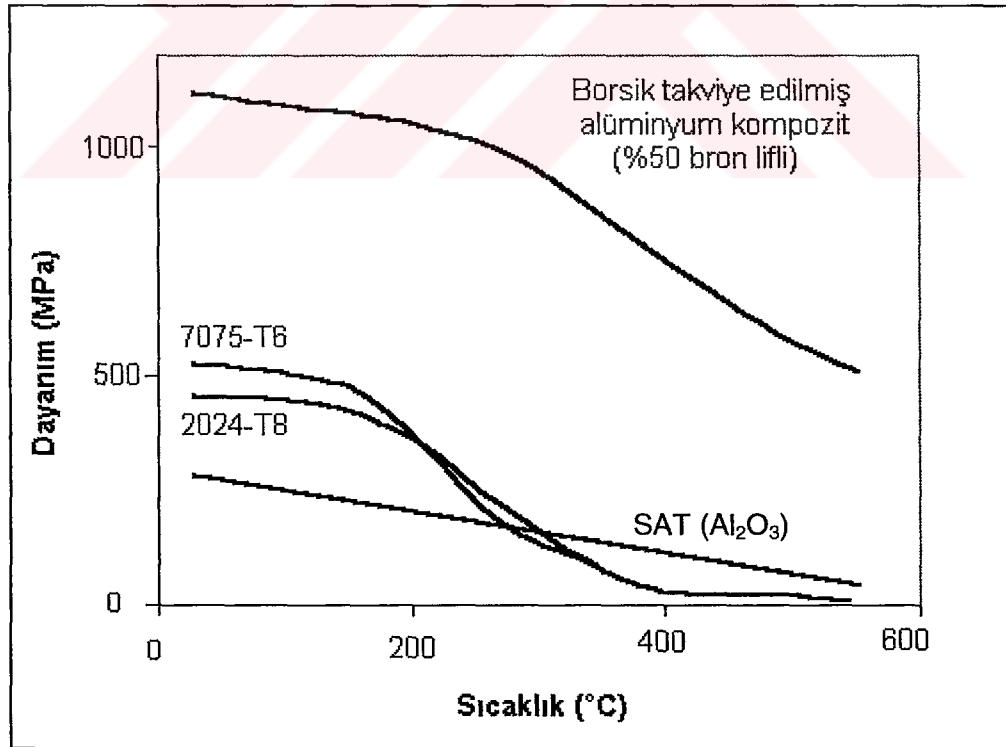
Metal dökümleri için kullanılan kalıp ve maçalar, organik veya inorganik matris tarafından bağlanmış silika kum tanelerinden meydana gelmektedir[7].

3.3.1.2. Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemeler

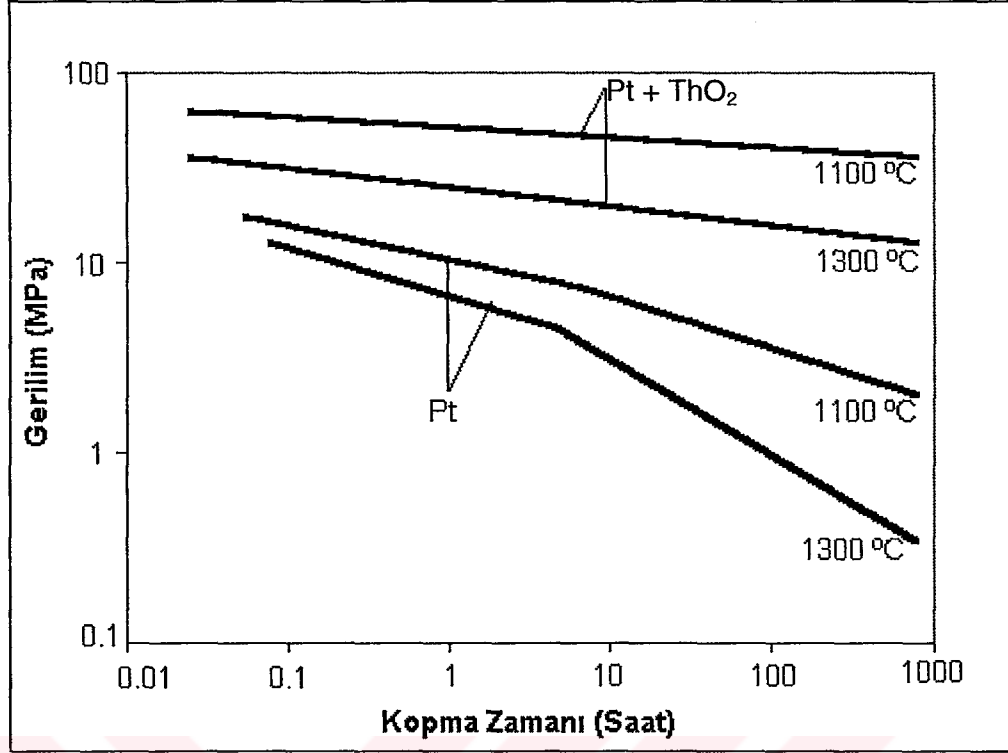
Bu malzemelerde kullanılan tanelerin boyu çok daha küçük olup 0.01-0.1 μm arasında değişmektedir. Bu gruba giren kompozit malzemelerde tanelerin hacim oranı, toplam hacme göre genelde %25 ve üstünde değerler almaktadır.

Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemelerde matris malzemesi asıl yük taşıyıcı eleman olup dağılı taneler dislokasyonların hareketlerini engelleyerek malzeme dayanımını artırır[3].

Normal sıcaklıklarda Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemeler iki fazlı metal alaşımlardan daha zayıf olabilmektedir, buna karşın bu malzemelerin dayanımları aşırı yaşlanma, temperlenme, dağılan fazın tane büyümesi ve kabalaşması sonucu şiddetli şekilde yumuşamaması nedeniyle sadece kademeli olarak azalmaktadır.(Şekil 3.1) Buna ek olarak kompozitin dayanımı Şekil 3.2'de görüldüğü gibi metal ve alaşımlara göre daha üstündür[7].



Şekil 3.1 İki geleneksel iki fazlı yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlar ile taneciklerle güçlendirilmiş sinterlenmiş alüminyum toz kompozitin akma dayanımlarının karşılaştırılması. Yaklaşık 300 °C'nin üzerinde kompozit daha faydalıdır. Liflerle takviyeli bir alüminyum kompozit karşılaştırma için verilmiştir.



Şekil 3.2 % 12.5 ThO₂ içeren taneciklerle güçlendirilmiş platinin saf platinle kıyaslanması. Güçlendirilmiş platin daha yüksek sürünme direncine sahiptir.

Takviye malzemesinin seçiminde dikkate alınması gereken hususlar şunlardır:

- Takviyeler sert ve kaymaya etkin bir engel oluşturmaktadır,
- Takviye malzemeleri optimum hacim, şekil, dağılım ve miktara sahip olmalıdır,
- Takviye malzemesi matris içinde düşük çözünürlüğe sahip olmalı, malzeme ile matris arasında kimyasal reaksiyon oluşmamalıdır,
- Takviye malzemesi ile matris arasında iyi bir bağ oluşumu sağlanmalıdır. Matris içerisinde takviye malzemesinin düşük bir miktardaki çözünülebilirliği iyi ve sağlam bir bağın oluşmasına yardımcı olur.

Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzeme örnekleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir[7].

Tablo 3.1 Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzeme örnekleri ve uygulamaları

Sistem	Uygulamalar
Ag-CdO	Elektrik kontak malzemeleri
Al-Al ₂ O ₃	Nükleer reaktörler
Be-BeO	Uzay reaktörleri ve nükleer reaktörler
Co-ThO ₂ , Y ₂ O ₃	Sürünme dirençli manyetik malzemeler
Ni-%20 Cr-ThO ₂	Türbin motor elemanları
Pb-PbO	Batarya ızgaraları
Pt-ThO ₂	Elektrik elemanları
W-ThO ₂ , ZrO ₂	Isıtıcılar

3.3.1.3. Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Yapımında Kullanılan Katkı Maddeleri

Tanelerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin ana elemanları çok çeşitli kaynaklardan elde edilen, karışım üretiminde kullanılabilecek niteliklere sahip olan takviyeler ve matrislerdir. Ayrıca üretilmesi hedeflenen kompozitin özelliklerinin kontrol edilebilmesi amacıyla karışımlara zaman zaman katkı maddeleri de eklenebilmektedir. Örneğin alçı ve sünger taşından oluşan kompozitlerin üretiminde karışımın katılaşması için geçen süre alçının özelliklerine bağlıdır. Alçının bilinen kısa sürede katılaşma özelliği bazı uygulamaları olanaksız kılabilir. Bu süreyi uzatabilmek için karışıma katılaşmayı geciktirici katkı maddesi katılmakta ve uygulama açısından zaman kazanılmaktadır.

Katkı maddeleri karışıma çok az miktarda katıldıkları için toplam hacim içinde kapladıkları hacim ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadır[3].

3.3.2. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemeler

3.3.2.1. Genel

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzeme en basit haliyle iki fazlı bir kompozit malzeme olarak ele alınabilir. Kompozitin sürekli fazını (matris fazı), lifleri birarada tutan ve kompozit içindeki hacim oranının yüksekliği nedeniyle kompozitin ana bileşeni olarak

da tanımlanan matris malzemesi oluşturmaktadır. Bu matris içinde takviye olarak kullanılan malzeme ikinci bir faz oluşturur.

Bu bölümde, takviye olarak kullanılan malzemelerin tümü “lif” adıyla kullanılacaktır. Ayrıca “elyaf” sözcüğü lifin çoğulu, yani “lifler” anlamına geldiği için liflerin bir arada kullanıldığı kumaş, fitil ve hazır kalıplama bileşenleri gibi takviye formları için bu terim de kullanılacaktır. Lifler malzeme türüne ve üretildiği hammaddeye göre de isimlendirilebilmektedir. Dolayısıyla, lif şeklindeki genel isimlendirme, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan her türlü ince malzemeyi kapsamaktadır.

Takviye fazının etkinliği, takviye malzemesinin E-modülünün matrisin E-modülünden çok daha yüksek olmasına bağlıdır. Matrisin ve takviyenin E-modülü değerlerinin birbirlerine çok yakın olması durumunda, takviyeler taşımaya yeterince katılamamakta ve dolayısıyla kompozit malzeme istenilen özelliklere sahip olamamaktadır[3].

Sünek matris içine güçlü, bükülmez, kırılgan liflerin takviyesi ile Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin mukavemeti, yorulma direnci ve ağırlığa göre mukavemet oranı iyileştirilmektedir. Lifler uygulanan yükün büyük bir kısmını taşıırken, matris malzemede lifleri bir arada tutar ve aynı zamanda yükün liflere transferini sağlar. Buna ek olarak yapının sünekliğini ve tokluğunu temin eder.

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde lifin taşımaya katılabilmesi için matris üzerindeki mekanik etkinin liflere iletilebilmesi gerekir. Burada liflerle matris arasında herhangi bir kimyasal bağ yoktur ve iletim kayma kuvvetleriyle olacaktır. Dolayısıyla liflerle matris arasında meydana gelebilecek kayma gerilmelerine dayanabilecek düzeyde bir aderansın bulunması gerekmektedir. Ayrıca fazlar arasında kimyasal etkileşimin olmaması ve yine fazların ısı genleşme değerlerinin kompozitin yapısını bozacak düzeyde farklılık taşımaması gerekmektedir. Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzemelerin aksine Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin mukavemeti hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda artmaktadır[7] (Şekil 3.1).

Liflerle Takviyeli Kompozitlerde özellikle çekme, eğilme, çarpma dayanımlarında önemli artışlar olmaktadır. Bu sebepten dolayı bu tip kompozit malzemelerde çekme, eğilme gibi gerilmelerin birim ağırlığa oranı da (σ_c / Δ) diğer malzemelere göre çok daha yüksektir. Bu konuya bir örnek teşkil etmesi açısından liflerle takviyeli betonların özelliklerinde görülen yüzde artış oranları Tablo 3.2’de verilmiştir[3].

Tablo 3.2 Liflerle takviyeli betonların bazı özelliklerinde matris malzemelerinin özelliklerine oranla görülen yüzde artış değerleri.

Özellik	Liflerle takviyeli beton
Tokluk	% 100 – 1200
Çarpma dayanımı	% 100 – 1200
İlk çatlak dayanımı	% 25 – 100
Çekme dayanımı	% 25 – 150
Yorulma dayanımı	% 50 - 100
Şekil değiştirme oranı	% 50 – 300
Kavitasyon/Erozyon direnci	% 200 -300
Elastisite modülü	% -25 - 25

3.3.2.2. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Belirlenmesi

- Yoğunluk**

Karışım kuralı ile bu malzemelerin yoğunluğu belirlenebilmektedir.

$$\rho_c = f_m \cdot \rho_m + f_t \cdot \rho_t \quad (3.2)$$

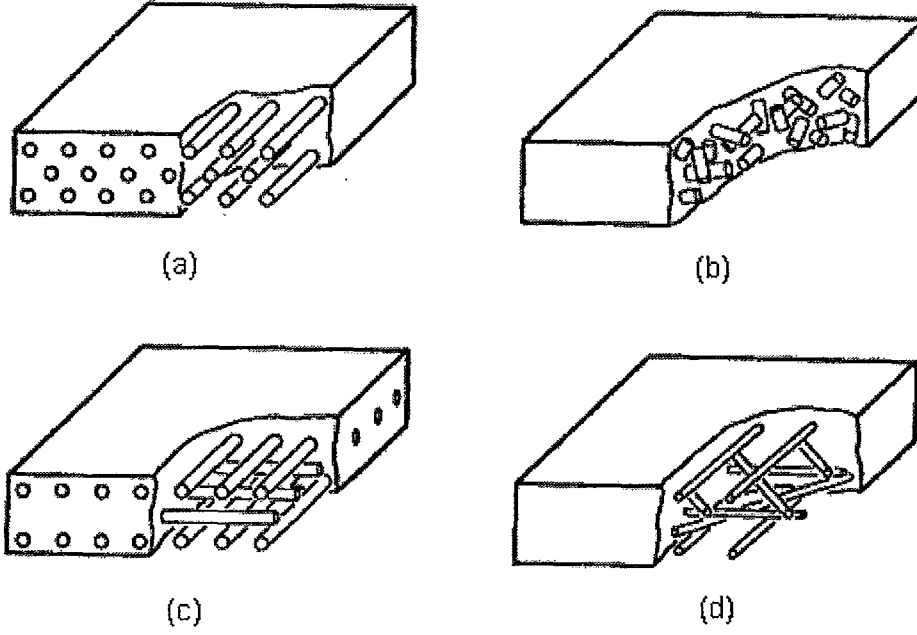
Denklemden m ve t indisleri sırasıyla matris ve takviyeye karşılık gelmektedir.

Takviye malzemeler Şekil 3.3'te görüldüğü gibi farklı yönlendirme şekillerine göre de dizilebilmektedirler[7]. Eğer lifler sürekli ve tek yönlü ise, karışım kuralı ile elektrik ve ısı iletkenlik tutarlı bir şekilde tespit edilebilmektedir.

$$k_c = f_m \cdot k_m + f_t \cdot k_t \quad (3.3)$$

$$\sigma_c = f_m \cdot \sigma_m + f_t \cdot \sigma_t \quad (3.4)$$

3.3 ve 3.4 no'lu denklemlerde k ısı iletkenliği, σ elektrik iletkenliğini temsil etmektedir. Ancak lifler sürekli ve tek yönlü olarak yönlendirilmemiş ise yoğunluk dışındaki özelliklerin tahmin edilmesi oldukça güçtür.



Şekil 3.3 Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin farklı şekilde yönlendirilmeleri. (a) Sürekli tek yönlü lifler, (b) Rasgele yönlendirilmiş sürekli lifler, (c) Enine ve boyuna (ortogonal) lifler, (d) Açılı yerleştirilmiş lifler.

- **Elastisite Modülü**

Sürekli tek yönlü liflere yük uygulandığı zaman karışım kuralı ile elastisite modülü hesaplanabilmektedir.

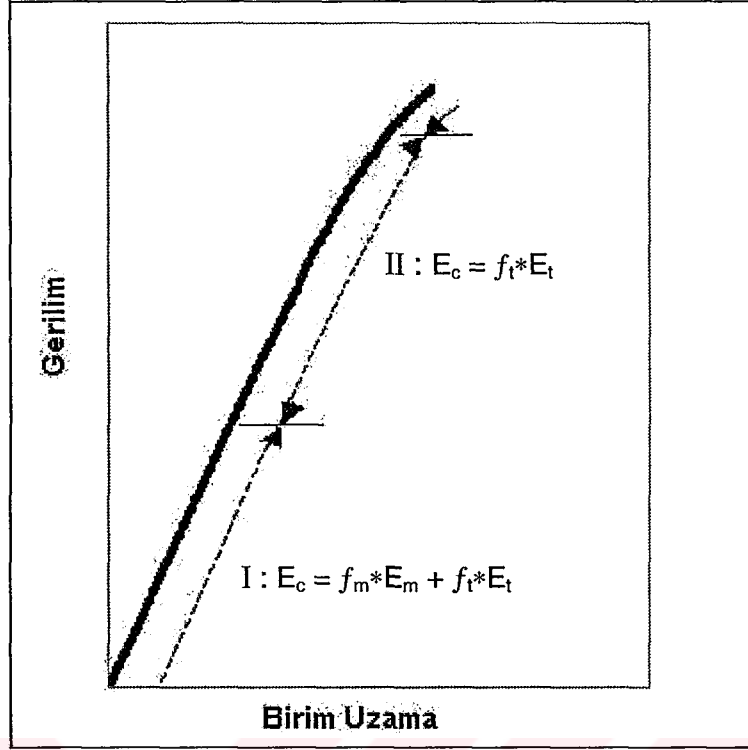
$$E_c = f_m \cdot E_m + f_t \cdot E_t \quad (3.5)$$

Buna karşılık uygulanan yük çok büyük olduğu zaman matris deforme olmaya başlar ve gerilim-birim uzama eğrisi Şekil 3.4'te görüldüğü gibi daha fazla doğrusal olarak devam etmez[7]. Matris kompozitin bükülmezliğine çok az katkıda bulunduğundan elastisite modülü aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$E_c = f_t \cdot E_t \quad (3.6)$$

Yük liflere dik önde uygulandığında her bir eleman birbirinden bağımsız olarak etki yapar ve bu durumda kompozitin elastisite modülü şu şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_t}{E_t} \quad (3.7)$$



Şekil 3.4 Liflerle takviyeli kompozit için gerilim-birim uzama eğrisi. Düşük gerilmelerde elastisite modülü karışım kuralı ile verilmektedir. Yüksek gerilmelerde matris deforme olmakta ve karışım kuralı geçerli olmamaktadır.

- **Dayanım**

Bir kompozitin dayanımı lifler ile takviye arasındaki bağlanmaya bağlıdır ve matrisin deformasyonu ile sınırlıdır. Dayanım daima karışım kuralından temin edilen değerden daha azdır[7].

- **Boy/Çap Oranı**

Liflerle Takviyeli Kompozitlerin üretiminde değişik kaynaklardan elde edilen , farklı özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Ayrıca kullanılan lifler değişik boylarda ve biçimlerde olabilmektedir. Liflerin boy/çap oranı belirleyici bir kriter olarak kabul edilmekte ve bu değer lif narinlik oranı olarak da adlandırılmaktadır. İlgili Amerikan Standardı ASTM uyarınca, bir malzemenin lif olarak tanımlanabilmesi için , boy/çap oranının en az on ($l/d \geq 10$) olması, lifin en büyük genişliğinin 0.25 mm'den ve en büyük kesit alanının da 0.05 mm²'den küçük olması gerekir.

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde kullanılan takviye malzemesini, boyutlarına bağlı olarak tel, lif, kıl şeklinde üç ayrı grupta toplamak mümkündür.

Teller, milimetrik boyutta metal malzemelerdir. Çapları diğer takviye malzemelerine oranla daha büyük olup, genellikle beton ve harçların takviyesinde kullanılır.

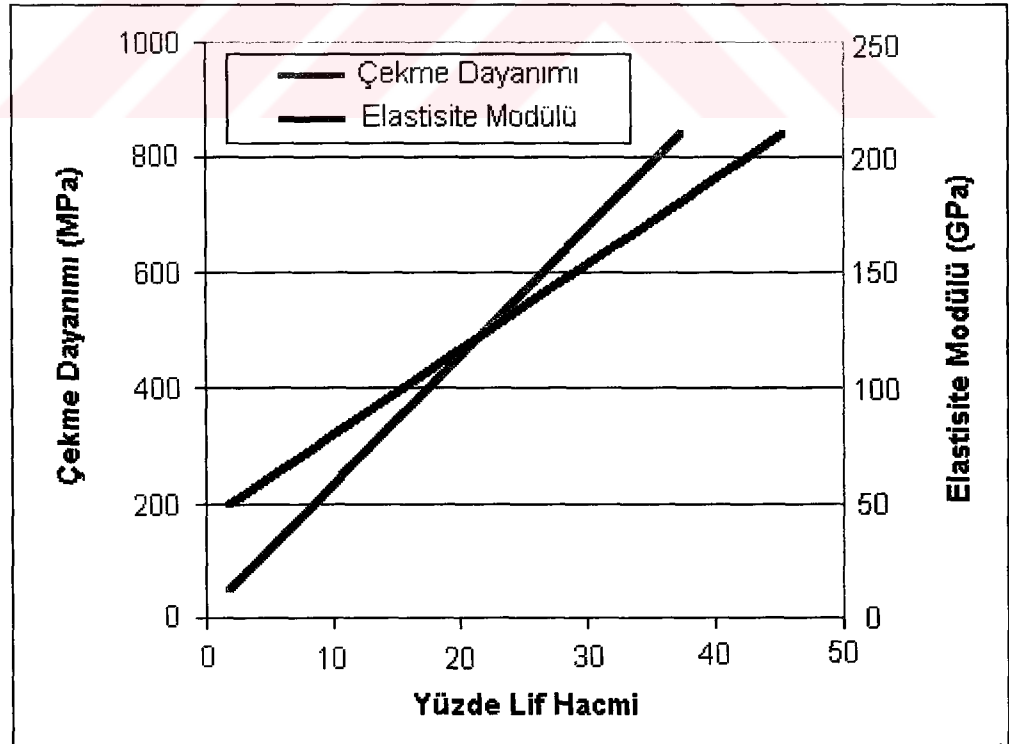
Süreksiz takviyelerin boyları 6-7 cm'nin altında olup boy/çap oranı 30 ila 150 arasında değişmektedir.

Lifler, tellere göre çok daha narin olan takviye malzemeleridir. Liflerin çapı ortalama 0.01 mm mertebesinde olup, boy/çap oranı onbine kadar çıkabilmektedir ($l/d \leq 10^4$). Boy/çap oranı büyük olan matrise katılmış lifler yüksek bükülmezlik ve dayanım sağlamaktadır.

Kıllar, takviyede kullanılan en ince malzemelerdir. Bunlar, buhar yoğunlaşmasıyla büyütülen değişik şekillerdeki tek kristaller olup, çapları birkaç mikron, boyları birkaç milimetre kadardır. Buharda büyütülmüş olan bu kristallerin (kıl/whisker) genelde yapısal hataları olmamakta, dolayısıyla dislokasyon içermeyen bu cisimlerin dayanımı, normal boyutlardakilere oranla yaklaşık bin kat kadar daha fazla olabilmektedir. Üstün özelliklerine karşın kılların sahip oldukları yüksek çekme dayanımı sadece elastik bölgededir. Plastik deformasyonun başlamasıyla birlikte kıllarda dislokasyonlar oluşmakta ve dayanım düşmektedir[3].

- **Kısmi hacim oranı**

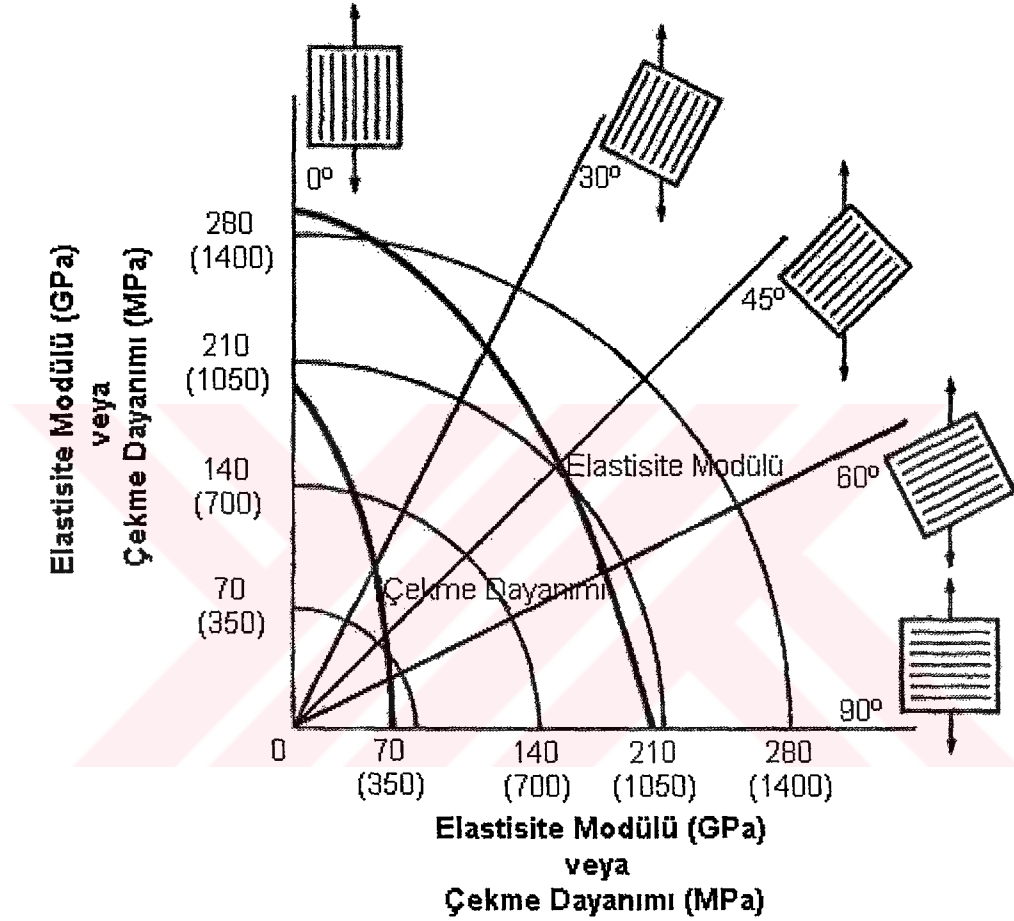
Kısmi hacim oranı, liflerin kompozit malzeme içerisindeki oranını ifade eder. Yüksek kısmi hacim oranı Şekil 3.5'te görüldüğü gibi malzemenin dayanımını ve bükülmezliğini arttırmaktadır[7].



Şekil 3.5 Bor kaplanmış silisyum karbür lif takviyeli alüminyumun özellikleri üzerinde kısmi hacim oranının etkisi.

- **Liflerin yönlendirilmesi**

Tek yönlü dizilmiş Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemeye uygulanan yük liflere paralel ise optimum bükülmezlik ve mukavemet elde edilir[7] (Şekil 3.6). Ancak tek yönlü dizilmiş lifler anizotropik davranış gösterebileceğinden, bu uygulama yerine enine ve boyuna veya açılı olarak yönlendirilirler ise maksimum dayanımdan ödün verilmesine karşın kompozit malzeme daha üniform özellikler kazanır.



Şekil 3.6 Bor takviye edilmiş titanyum alaşımları için liflerle takviyeli kompozitlerde uygulanan gerilmeye göre yönlendirmenin etkisi.

Lifler güçlü, bükülmez, hafif ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmalıdır. *Özgül Dayanım* ve *Özgül Modül* aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\text{Özgül Dayanım} = \frac{\sigma}{\rho} \quad (3.8)$$

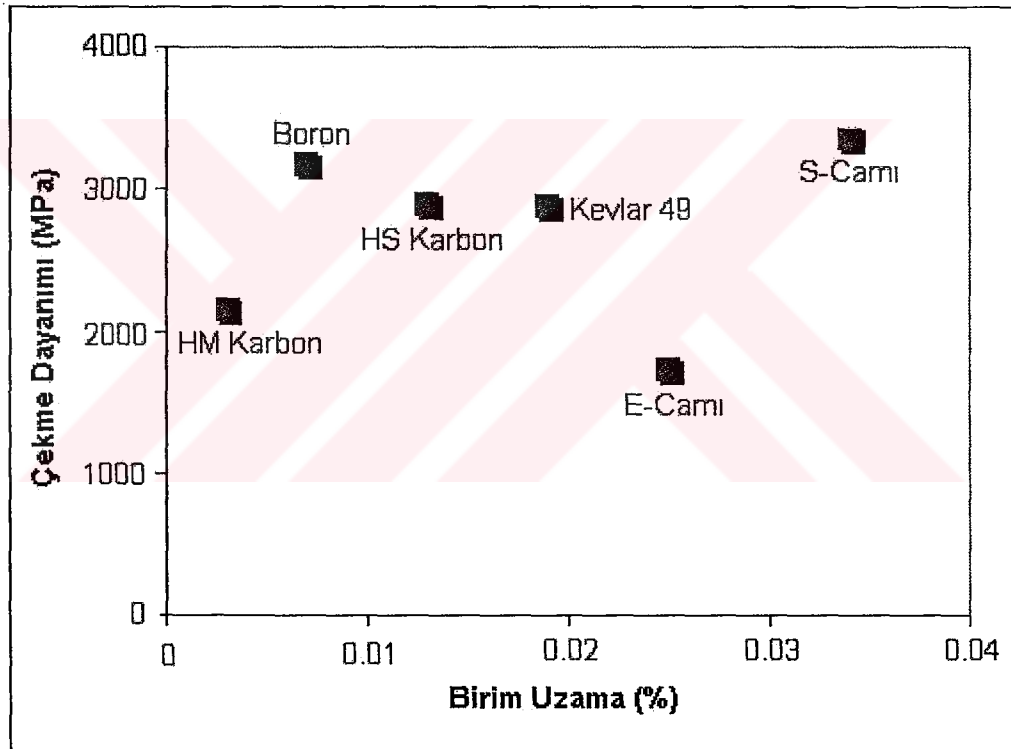
$$\text{Özgül Modül} = \frac{E}{\rho} \quad (3.9)$$

Burada σ akma dayanımı, ρ yoğunluk ve E elastisite modülüdür.

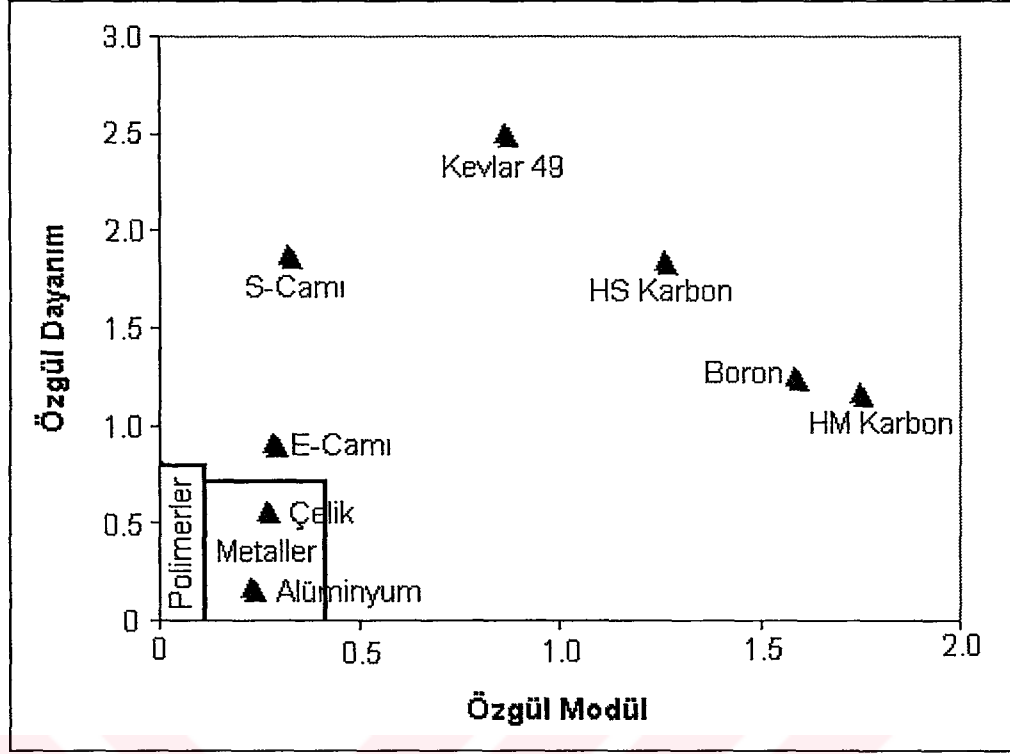
Tek lifin gerilim-birim uzama eğrisi Şekil 3.7’de ve liflerin bazı metallere ve polimere göre özgül dayanımlarının ve özgül modüllerinin karşılaştırması Şekil 3.8’de gösterilmiştir[7]. En yüksek özgül modül, genellikle karbon ve düşük atom numarası ve kovalent bağa sahip malzemelerde bulunmaktadır. Bu iki element aynı zamanda yüksek dayanım ve ergime sıcaklığına sahiptirler. Grafit lifler (karbonlar) düşük sıcaklıklardaki dayanımlarını yüksek sıcaklıklarda da aynen muhafaza ederler[7] (Şekil 3.9).

Ticari ismi aromatik polyamid polimer olan kevlar, düşük ergime sıcaklığına sahip olmakla birlikte mekanik özellikleri mükemmeldir.

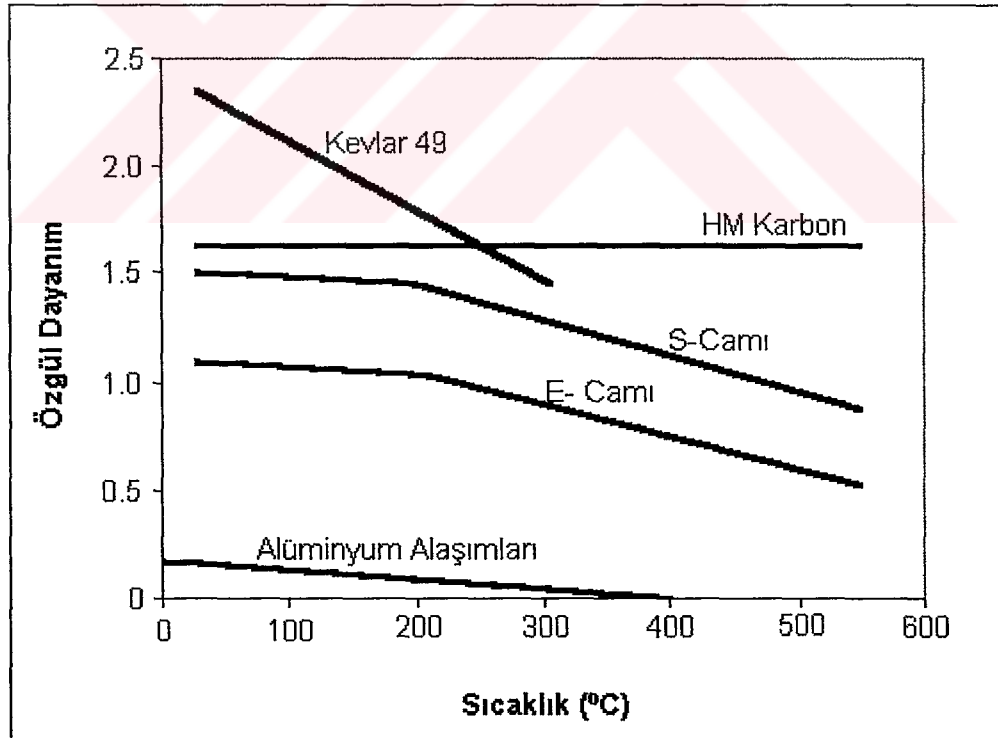
Alümina ve cam da çok hafif olup yüksek dayanım ve özgül modüle sahiptirler.



Şekil 3.7 Tek lif için gerilim-birim uzama eğrisi.



Şekil 3.8 Liflerin metallere ve polimerlere göre özgül dayanımlarının ve özgül modüllerinin kıyaslanması.



Şekil 3.9 Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde kullanılan bazı liflerin üzerinde sıcaklığın etkisi.

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin özelliklerini lifler süreksiz olduğunda tahmin etmek zordur, çünkü her lifin ucu lifin geri kalan kısmından daha az yük taşır.

Kompozitin dayanımı karışım kuralı hesaplanandan daha azdır. Hatta lifin gerçek boyu (l) kritik lif boyundan (l_c) uzun olursa veya daha hassas olarak boy/çap oranı (l/d) kritik değeri aşarsa dayanım azalır. Örneğin boy/çap oranı 30 olan karbon takviyeli naylon 110 MPa çekme dayanımına sahipken, boy/çap oranının 800 olduğu uzun lifler 240 MPa'lık bir dayanım oluşturlar[7].

3.3.2.3. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemeleri (LİFLER)

Lifler, Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin temel bileşenidirler. Bu malzemeler, kompozit katmanlarda yüksek hacim oranına sahiptirler ve aynı zamanda kompozit yapıya uygulanan yükleri taşıyıcı esas eleman olarak görev yaparlar[7]. Takviye olarak kullanılacak elemanın tipinin, miktarının ve yönlenmesinin uygun seçimi çok ama çok önemlidir. Bu seçim aşağıdaki özelliklerin iyileştirilmesini doğrudan etkiler:

- Yoğunluk,
- Çekme dayanımı,
- Basma dayanımı,
- Kopma dayanımı,
- Elektriksel ve ısısal iletkenlik veya yalıtkanlık,
- Maliyet.

Liflerle Takviyeli Kompozitler, gemilerin gövde, güverte veya diğer kısımlarının imalatında, imalat sırasında şekillendirilme özelliği ile eşsiz imkanlar sunar. Bu özelliği ile tasarımcıya ve imalatçıya, kalıbın gerekli ve farklı bölümlerine dayanım ve sertlik gibi özellikleri, istenilen şekilde ve istenilen düzeyde tam olarak uygulayabilme imkanını verir. Kompozit malzeme kalıp içerisinde uygulandığından dolayı, diğer herhangi bir malzeme ile yapılabilmesi imkansız karmaşık geometriler kolaylıkla tatbik edilebilir. Ayrıca tasarım açısından farklı şekillerin keşfedilmesi ve uygulanabilmesi özgürlüğü de sağlamış olur.

Yukarıda belirtilen üstünlüklere ek olarak, Liflerle Takviyeli Kompozitler, alternatif bot inşa malzemeleriyle karşılaştırıldıklarında, aşağıda belirtilen üstünlüklere de sahiptirler[8]:

- Yüksek ağırlığa göre mukavemet oranı,
- Yüksek ağırlığa göre sertlik oranı,
- Hafiflik,
- Kolay imal edilebilme,
- Kolay tamir ve bakım,

- Korozyon dayanımı,
- Aşınma dayanımı,
- Dış etkenlere karşı koruma,
- İmalat sırasında kolaylıkla renk verilebilme.

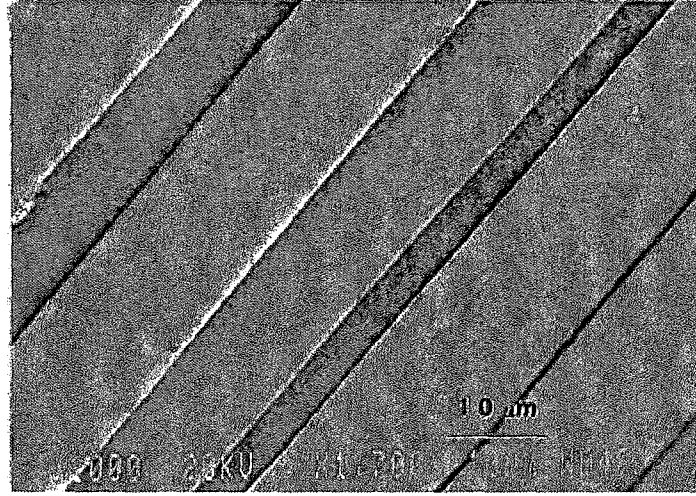
Günümüzde kullanılan lifler ve özellikleri Tablo 3.3'te gösterilmiştir[5,8,9,10,11,12].

Tablo 3.3 Lifler ve özellikleri.

Lif	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Kopmada Uzama (%)
E-Camı	2.60	3600	76	4.8
C-Camı	2.49	3400	70	-
S-Camı	2.48	4500	70	5.0
Kevlar 49	1.44	3600	130	2.3
Karbon (Yüksek Dayanım : HS)	1.75	3400	230	1.1
Karbon (Yüksek Modül : HM)	1.95	2400	390	2.6
Boron	2.7	3100	379	1.0

• Cam Lifler

Cam lifleri, Liflerle Takviyeli Kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan takviye malzemesidir. Üstün özelliklerinin yanı sıra, ekonomik bir malzeme olması bu sonucu ortaya çıkarmıştır. Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılabilir olmasına rağmen, temel kullanım alanı cam takviyeli plastik (CTP) endüstrisidir. Cam liflerinin büyültülmüş haldeki görünümü Şekil 3.10'da gösterilmiştir[2].



Şekil 3.10 Cam liflerinin yaklaşık olarak 1500 kat büyütülmüş hali.

Cam lifler büyük çoğunlukla temel bileşeni olan silikaya (SiO_2) kalsiyum, boron, sodyum, demir ve alüminyumun çeşitli farklı oranlarla eklenmesiyle meydana gelirler. Dört farklı çeşit cam elyafın bileşimleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir[7,8,11].

Tablo 3.4 Dört farklı cam elyafın bileşimleri ve bazı özellikleri.

Bileşen(%)	E-Camı	C-Camı	S-Camı	R-Camı
SiO_2	52.4	64.4	64.4	60.0
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	14.4	4.1	25.0	25.0
CaO	17.2	13.4	-	9.0
MgO	4.6	3.3	10.3	6.0
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.8	9.6	0.3	-
B_2O_3	10.6	4.7	-	-
BaO	-	0.9	-	-
Yoğunluk (gr/cm^3)	2.60	2.49	2.48	-
Çekme Dayanımı (MPa)	3600	3400	4500	4400
Çekme E-Modülü (GPa)	76	70	86	85
Kopma Uzama Oranı (%)	4.8	4.8	5.4	-

Cam lifleri, her biri tabanında çok sayıda küçük delikler bulunan ve bu deliklerden erimiş camın yerçekimi vasıtası ile aşağıya aktığı, sürekli beslenen platin kovanlar

vasıtasıyla üretilirler. Her bir lif bu deliklerden aşağıya doğru akarken çok yüksek hızda çekilerek soğutulur. Sıcaklık ve çekme hızı kontrol edilerek istenilen çaplarda sürekli lifler elde etmek mümkündür.

İmal edilen bu lifler, nemin etkisiyle aşınmaya ve yıpranmaya açık oldukları için hemen bu halleriyle kullanıma uygun değildirler. Bu sebepten dolayı cam lifleri genellikle imalat sırasında çok ince bir tabaka (size) ile kaplanırlar. Bu tabaka pasta kıvamındaki polimerin suyla birlikte lifler üzerine püskürtülmesiyle uygulanır. Bu ince tabakanın lif hacmindeki oranı %0.3 civarındadır ve uygulanması sayesinde lif yüzeylerini sürtünme ve nemden görebilecekleri hasarlardan korur, lifleri birarada tutarak daha kolay işlenmelerini sağlar, lifleri yağlı halde tutarak imalatın ilerleyen safhalarında aşınmaya karşı dirençlerini artırır, liflere anti-statik özellikler kazandırır ve cam lif yüzeyi ile matris arasında kimyasal bir link oluşturarak arayüzey dayanımını artırır. Cam lifleri fitil (roving), kumaş/dokuma (fabric/woven), keçe (Chopped Strand Mat :CSM) veya hazır kalıplama bileşeni (prepreg) formlarında imal edilirler.

Tüm cam lifleri çok yüksek ağırlığa göre mukavemet oranına ve yanmazlık özelliğine sahiptirler. Cam lifleri ayrıca dayanımlarının yaklaşık %50 sini 371°C ye kadar ve yaklaşık %25 ini de 583°C ye kadar koruyabilirler. Neme karşı ve korozyona karşı dirençleri mükemmeldir, şişmezler, dağılmazlar ve ıslandıklarında kimyasal değişikliklere uğramazlar[9].

E-Camı Lifleri

Başlangıçta cam lifleri üretiminde A-Camı veya açık adıyla “Alkali cam” kullanılmıştır. Bunu çok az alkali içeren ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahip bir borsilikat camı olan E-Camının (Elektriksel) kullanılması izlemiştir[3]. E-Camı çok geniş bir kullanım yelpazesine sahip olup, şu an halihazırda toplam cam lifleri üretiminin yaklaşık %90’nını oluşturmaktadır. Elektriksel özelliklerinin yanında E-Camı iyi sertlik, dayanım ve dış etkenlere karşı dayanım özelliklerine de sahiptir. Plastik reçinelerde takviye olarak kullanılan bu lifler genellikle 6-15 µm çapında imal edilirler.

İşlem görmemiş haldeki E-Camı lifleri olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir, örneğin çekme dayanımları. Fakat, bununla birlikte, E-Camı lifleri, işlem gördükten sonra, E-Camı elyafı haline gelinceye kadar mekanik özelliklerini yaklaşık %50 oranında yitirirler ve kompozit malzeme üretiminde kalıplamada kullanılan en zayıf elyaflar haline dönüşürler.

E-Camı liflerinin mekanik özellikleri , bu liflerin elyaf olarak kullanılmak üzere işlem görmesi sırasında, birbirleriyle sürtünmelerinden meydana gelen aşınmadan dolayı düşer. Ne kadar çok lif işlem görürse aşınma da o kadar fazla olur ve dolayısıyla dayanım da o kadar düşer. Bu sebepten dolayı imalatı çeşitli aşamalardan oluşan E-camı liflerinin dokuma/kumaş formu, bu liflerin fitil formuna nazaran daha az dayanıma sahiptir.

Elyaf üretimindeki aşamalarından dolayı performanslarındaki düşüşe rağmen E-Camı özellikle maliyet bazındaki alternatifleriyle kıyaslandığında, halen çok etkili bir takviye malzemesidir. E-Camı elyafı çok fazla sayıda üretilen bir elyaftır. Üretimde mamul madde fiyatının istenilen performans kriteriyle uygun olarak düşük tutulması gerekliliği, bu performansı arttırmasına rağmen fiyatı çok yüksek olan diğer takviye malzemelerinin olmasına ve üretilmesine karşın, E-Camı liflerinin üreticiler ve kullanıcılar tarafından halen popüleritesini koruyan bir takviye malzemesi olmasının asıl nedenidir[8].

S ve R-Camı Lifleri

Havacılık ve uzay teknolojisinin E-Camından daha yüksek mekanik özelliklere ihtiyaç duyması nedeniyle, Amerikalı ve Avrupalı üreticiler ayrı ayrı olarak E-Camı lifinin yüksek performans formu olan S ve R-Camlarını geliştirmişlerdir. Bunlardan, 1960'lı yıllarda Amerikan Owens Corning firması tarafından geliştirilen S-Camı (Strength : dayanım), alüminyum ve magnezyum oksit miktarı E-Camına göre daha yüksek bir türdür ve mekanik özellikleri de daha yüksektir. Özel uygulamalar için çok yüksek mekanik dayanım özelliğine sahip bir diğer cam lifi türü de Amerika'da üretilen S-Camı lifleri ile çok benzer özellikler taşıyan ve yine 1960'lı yıllarda Avrupa'da Fransız Vetrotex firması tarafından geliştirilen R-camı lifleridir.

Kimyasal bileşenlerinin değişik oranlarda olmasından dolayı, S ve R-Camı lifleri, E-Camı liflerine nazaran %20 - 40 oranında daha yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Genellikle S ve R-Camı liflerinin çapları E-Camı liflerinin yarısı kadardır. Bu özellikleri S ve R-Camlarına matris malzemesiyle birleşmeleri sırasında , E-Camı liflerine oranla iki katı daha fazla yüzey alanına sahip olma imkanı sağlar ve dolayısıyla kompozit malzeme katının dayanımını arttırır.

Maliyet açısından karşılaştırıldıklarında, S ve R-Camı liflerinin maliyetleri E-Camı liflerinin maliyetinin yaklaşık olarak beş katıdır. Üstün dayanım özelliklerine rağmen, maliyetlerinin yüksek olması, imalatçılar tarafından çok özel ağırlık ve dayanım gerektiren hallerde bu liflerin kullanılmalarını uygun kılmaktadır.

Bu lifler, üstün mekanik özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay endüstrilerinin yanı sıra, yüksek performanslı yarış ve sürat teknelerinde ve yüksek dayanım ve sertlik özelliği gerektiren yerlerde kullanılır[8].

C-Camı Lifleri

Özellikle cam takviyeli plastikler için yüzey katının yapımında kullanılan bir diğer tür de C-Camı (Corrosion: korozyon) lifleridir. Kimyasal özellikleri mekanik özelliklerine nazaran çok daha yüksek olan bu tür genellikle yüzeyler için kullanılır[3].

- **Asbest Lifler**

Asbest, lifli yapıda doğal bir mineraldir. Esası magnezyum silikat olan, yanmazlık özelliğine sahip bu maddenin birçok türü vardır. Bu doğal maddeden elde edilen asbest liflerin boyları, genel olarak 0.8–20 mm arasında olup en küçük çapları 0.01 µm kadardır. Asbest liflerin çekme dayanımları 3000 MPa'ın üzerinde olmasına rağmen bu liflerden oluşan takviye malzemesinin dayanımı 300 MPa ile 1800 MPa arasında bir değer almaktadır.

Asbest liflerin kimyasal direnci, özellikle alkali ortama dayanımları, bunların çimento türü bağlayıcılarla üretilen kompozitlerde çok başarılı bir biçimde kullanılabilmesi sonucunu doğurmuştur. Özellikle çimento hamuru ile kullanılan bir takviye malzemesi olan asbest ile yapı alanında başarıyla kullanılan malzemeler üretilmiştir.

Asbest liflerin dayanımı yüksek tiplerinden biri olan crocidolite veya mavi asbest, insan sağlığı açısından olumsuz özellikler gösteren bir türdür. Bunların çok uzun süreler solunmasının veya bu lifleri taşıyan havanın bulunduğu bölgelerde yaşamının asbestosis denen solunum yolları hastalığına ve akciğer kanserine neden olduğu ileri sürülmektedir[3].

- **Çelik Teller**

Çelik teller özellikle beton ve harçların takviyesinde kullanılmaktadır. Farklı yöntemlerle üretilen teller, matris malzemesiyle arasındaki adreansın artırılması amacıyla çeşitli şekillerde imal edilmektedirler. Bu teller genellikle beton takviye malzemesi olarak kullanılmakta ve suda kolay çözünebilen özel bir yapıştırıcı ile birbirlerine tutturularak, betonun karıştırılması sırasında suyun etkisiyle rahatça çözülüp dağılabilecek demetler halinde üretilmektedirler[3].

- **Aramid Lifler (Kevlar)**

Aramid lif, polyamid lif ailesine verilen genel addır. 1972 yılında Du Pont firması tarafından Kevlar adı altında piyasaya sürülmüş olup günümüzde Kevlar29 ve Kevlar49 ticari cinsleri bulunmaktadır. Düşük yoğunlukta ve yüksek dayanımdaki Kevlar29, mermi çarpmasına karşı koruyucularda, ip ve kablo yapımında kullanılmaktadır. Kevlar49 ise düşük yoğunlukta olup, yüksek dayanım ve modüle sahiptir. Kevlar49 havacılık ve uzay sanayiinde, denizcilik sektöründe, otomobil ve diğer sanayi dallarında kullanılan kompozit malzemeleri güçlendirici lifler olarak kullanılabilecek özelliklere sahiptir[10].

Yüksek oranda yönlendirilmiş liflerinin molekül zincirleri poliparafenilen tereftalamitten oluşan Kevlar düşük ağırlık ile yüksek mukavemet oranına, düşük elektrik iletkenliğine, yüksek kimyasal dayanıma, düşük ısı büzülme oranına, yüksek sertliğe, mükemmel boyutsal kararlılığa, yüksek kesme dayanımına, yanmaya karşı dayanım ve kendi kendine sönebilme özelliklerine sahip bir malzemedir[13].

Bu tez çalışmasında adı geçen aramid liflerden Kevlar49, denizcilik sektöründe yüksek performans taşıtlarını yapımında kullanıldığı için, incelenecek ve imal edilen kompozit malzemelerde kullanılan aramid lifler Kevlar49 olacaktır.

Aramid lifler, diğer liflerle karşılaştırıldığında en düşük özgül yoğunluğa ve en yüksek ağırlığa göre mukavemet oranına sahiptirler. Kevlar49'un yoğunluğu $1,44 \text{ gr/cm}^3$ olup bu değer cam liflerin yoğunluğundan %40, karbon liflerin yoğunluğundan ise %20 oranında daha azdır[5]. Ağırlığa göre mukavemet bazında karşılaştırıldıklarında Kevlar49 ticari olarak kullanılan liflere göre daha yüksek özgül çekme mukavemetine (karbon lifler kadar değil) sahip olup, çelikten beş kat, E-Camı liflerinden ise iki kat daha mukavim bir malzemedir.

Liflerin çekme mukavemetleri karşılaştırıldığında, (çekme modülü malzemenin çekme yükleri altında gerinmeye dayanım olarak ifade edilir), Kevlar49 cam liflere göre daha iyi sonuçlar verir.

Kevlar49'un en önemli özelliklerinden ve en büyük avantajlarından biride çarpma dayanımının yüksek oluşu olup bu kriter, gemi gövdelerinin tasarımı ve üretimi aşamasında çok önemli bir avantaj sağlar. Bu özelliğine bağlı olarak, katmanlarında Kevlar49 bulunan kompozit malzemelerde oluşabilecek çatlakların ilerlemesi engellenir. Cam liflerle takviyeli kompozit katmanlarda, takviyede veya matriste mevcut çatlak ilerleyerek kırılmaya varan sonuçlar doğururken, bu katmanlarda Kevlar49'un bulunması, aramid liflerin kırılğan olmayan yapısından dolayı çatlakların ilerlemesini ve muhtemel bir kırılmayı önler[8].

Kevlar49 basma dayanımının önemli olduğu yerlerde sınırlı kullanıma sahip bir malzeme olup, bu tip yerlerde kullanımı fazla tavsiye edilmemektedir. Kevlar49'un basma dayanımı çekme dayanımının yaklaşık %20'si kadardır. Çekme ve bükme yükleri altında akıcı özellikler gösteren Kevlar49[5] 55-60 °C sıcaklıklar arasında plastik deformasyona uğrar[14].

Aramid lifler 160-200 °C arasında sürekli olarak kullanıma çok uygundur. Bununla birlikte bu lifler mükemmel aşınma ve yorulma dayanımına, gayet iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere ve yüksek sertliğe sahiptirler[5].

Bükme esnasında aramid lifler, basma kuvvetinin uygulandığı yönde yüksek derecede eğilme özelliği gösterirler. Cam ve karbon liflerde bulunmayan bu özellik sayesinde, aramid lifler çarpma ve dinamik yüklerin uygulanması esnasında çok yüksek hasar toleransı sağlar.

Kevlar49 erimez ve yanmayı desteklemezler fakat 427 °C'de karbonize olurlar. Bu elyaf için için maksimum uzun süre kullanım ısısı olarak 160 °C tavsiye edilir.

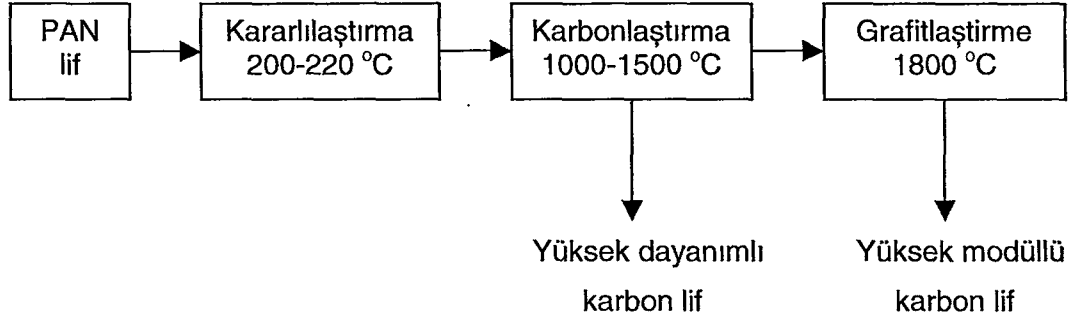
İplik, fitil, dokuma ürünler olarak üretilen Kevlar49 lifleri ultraviole ışınlarına karşı çok hassas olup uzun süreli güneş ışınlarına maruz kalmaları sonucu renklerinde bozulma ve daha da önemlisi çekme dayanımlarında azalma meydana gelir. Bu problem liflerin matris malzeme ile çevrelenmesinden sonra daha az etkili olur.

Kevlar49 yaklaşık %6 oranında nem emer fakat bu durum malzemenin çekme dayanımını çok fazla etkilemez[8].

- **Karbon Lifleri**

Karbon lifleri, Liflerle Takviyeli Kompozit malzeme üretiminde kullanılan önemli bir lif türüdür. 1960'lı yılların ikinci yarısından kullanılmaya başlanan bu liflerin düşük yoğunluklarına rağmen çekme mukavemetleri ve elastisite modülleri yüksektir[3]. Üstün fiziksel özelliklerinden dolayı başlangıçta uzay sanayiinde kullanılmış olan bu lifler, bu özelliklerinin yanında hafifliğinin de olmasından dolayı yüksek performanslı kara ve deniz taşıtlarında, denizaltılarda karbon lifleri takviyeli kompozit malzemeler olarak kullanılmaya başlanmıştır[8,15].

Karbon lifleri çoğunlukla Poliakronitril (PAN), özel akrilik lif, öncü malzemesinden üç işlem kademesinde üretilir: (1) Kararlılaştırma (Stabilizasyon), (2) Karbonlaştırma (Karbonizasyon) ve (3) Grafitleştirme (Grafitizasyon) (Şekil 3.11)[10].



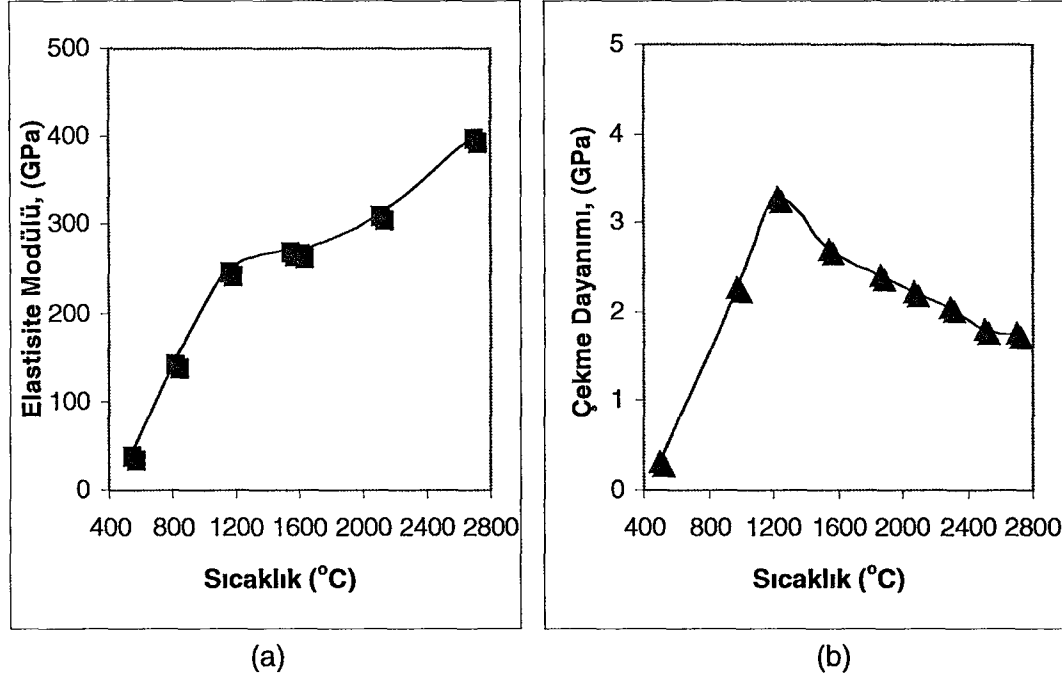
Şekil 3.11 Poliakronitril (PAN) öncü malzemedan yüksek dayanımlı ve yüksek modüllü karbon lifleri üretim aşamaları.

Kararlılaştırma kademesinde PAN lifleri, her bir lifteki polimer ağının lif eksenine paralel hale gelmesi için gerilerek, gerilmiş durumda, 200-220 °C sıcaklıkları arasında oksitlenir[10]. Oksitlemenin nedeni lifler ile reçine arasındaki bağı kuvvetlendirmektir[8].

İkinci işlem kademesinde yüksek dayanımlı karbon lifleri karbonlaştırılmaktadır. Bu işlemde kararlılaştırılmış PAN asıllı karbon lifleri, öncü liflerde bulunan O, H ve N uzaklaştırılıncaya kadar kavrulur. Karbonlaştırma işlemi çoğunlukla 1000-1500 °C sıcaklıkları arasında yapılır. Karbonlaştırma işlemi sırasında, her bir lifin içinde grafit benzer şekiller oluşarak malzemenin çekme dayanımı büyük miktarda artırılır.

Üçüncü kademe veya grafitleştirme işlemi, çekme dayanımındaki düşme kabul edilerek elastisite modülünde bir artış isteniyorsa uygulanır. 1800 °C'ın üzerinde yapılan grafitleştirme işleminde her bir lif içindeki grafit benzeri kristalin tercihli yönelimleri artırılır.

Poliakronitril esaslı karbon liflerde sıcaklığın çekme elastisite modülü ve çekme dayanımı üzerindeki etkileri Şekil 3.12'de gösterilmiştir[10]. Yüksek çekme modülüne ulaşabilmek için, karbon liflerinin grafit temel düzlemlerinin lif eksenlerine paralel olarak, yüksek derecede yönelmiş olmaları gerekir. Öte yandan, PAN liflerinin çekme dayanımları 1200 °C'a kadar kavurma sıcaklığı arttıkça artar, sıcaklık daha fazla yükselince hızla düşer. Yüksek kavurma sıcaklıklarında çekme dayanımındaki düşüşün malzeme içindeki veya yüzeyinde oluşan artan sayıdaki kusurlardan kaynaklandığı sanılmaktadır[10].



Şekil 3.12 Poliakronitril (PAN) esaslı karbon liflerinde ısıtılmanın, (a) elastisite modülü, (b) çekme dayanımı üzerine etkileri.

Karbon lifleri özelliklerine göre: (1) Yüksek Dayanım (High Strength: HS), (2) Çok Yüksek Dayanım (Very High Strength: VHS), (3) Yüksek Modül (High Modulus: HM), (4) Çok Yüksek Modül (Ultra High Modulus: UHM) karbon lifleri olarak dört başlık altında sınıflandırılır. Çok yüksek modül karbon lifleri 3000 °C'yi geçen sıcaklıklarda işlem görerek imal edilirler ve yapılarındaki karbon oranı %99'dur. Diğer çeşit karbon liflerinde bu oran %91-95 arasında değişen değerler almaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda işlem gördükleri için çok yüksek modül karbon lifleri diğerlerine göre daha pahalı olup çekme dayanımı en az olandır[8].

Yoğunluğu 1.75 ile 2.1 gr/cm³ arasında değişen yüksek dayanım ve yüksek modül karbon liflerinin[8,9,10,11] çekme dayanımları 2.1 ile 3.17 GPa arasında olup[8,10], elastisite modülleri 193 ile 527 GPa arasında değişir[9,10]. Karbon liflerinin çapları 7-11 µm arasında değer almakta, kullanılan lif tutamlarındaki lif sayısı 40000'e kadar çıkabilmektedir.

Diğer liflerle karşılaştırıldıklarında karbon lifleri, sertliğin önem kazandığı yerlerde çok üstündür. Kompozit malzeme katlarında kullanıldıklarında mükemmel basma dayanımına sahiptirler. Karbon lifleri ayrıca iyi yorulma ve titreşim dayanımına sahip olup, sürtünme ve aşınmaya karşı çok iyi özellikler göstermezler.

Yüksek maliyetleri, düşük çarpma mukavemetleri ve yüksek elektrik iletkenlikleri karbon liflerinin dezavantajlarıdır. Çarpma mukavemetini arttırmak ve aynı zamanda

kompozit malzemenin maliyetini düşürmek amacıyla karbon lifleri cam lifler veya aramid lifler ile birlikte kullanılabilir[8].

- **Boron Lifleri**

Boron lifleri 1960'lı yıllarda üretilmeye başlayan bir malzemedir. Yüksek dayanımlı ve pahalı bir malzeme olan boron lifleri, günümüzde özellikle metal matris elemanlarıyla birlikte takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Lif çapı 0.1 ile 0.2 mm arasında olan ve diğer liflere göre oldukça kalın bir lif özelliği taşıyan malzemenin çekme dayanımı karbon liflerinden daha yüksek olup 3448 MPa mertebesindedir[3].

Diğer liflere göre çapları çok daha büyük olan boron lifleri mükemmel bükülme dayanımına sahip olup, bu özelliği boron lifleri takviyeli kompozit malzemelerin basma dayanımlarının yüksek olmasının nedenidir. Diğer liflere göre çok yüksek maliyetlerinden dolayı boron liflerinin kullanımı genellikle uzay endüstrisi ile sınırlı kalmıştır[5].

3.3.2.4. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemelerinin Üretim Şekilleri

- **Keçe (Chopped-Strand Mat : CSM)**

Keçeler, bazı kaynaklarda “cam keçe” şeklinde adlandırılmıştır, E-Camı liflerinin genellikle 25-30 mm uzunluklarda kırılarak, hareketli bir bandın üzerine rasgele düştüğü ve burada bunları bir nevi kumaş şeklinde bir arada tutmak için üzerine bir arada tutucu bir bağlayıcı (binder) emdirildiği sistemlerde imal edilirler. Keçe imalatı sırasında kullanılan bağlayıcılar iki çeşit olup bunlar, toz formundaki polyester reçine ve polivinil asetat içeren emülsiyonlardır. Emülsiyonlarla imal edilen keçeler, toz formundaki polyester reçine ile imal edilen keçelere nazaran daha zayıf mekanik özelliklere sahiptirler. Bunlar çok kolay işlenip, reçine ile yatırılmaları daha kolay olmalarına rağmen neme karşı çok hassastırlar. Bu sebeplerden dolayı, gemi inşa sektöründe kullanılan keçelerin çok büyük kısmı toz formundaki polyester reçine ile üretilen reçinelerdir.

Keçelerin en büyük avantajları, kolay kullanımları ve ekonomikliğidir. Keçelere reçine tatbiki çok kolay olup, reçine emişleri gayet iyidir. Diğer önemli özelliklerinden biride, keçe kullanılan kompozit katmanın özelliklerinin kırılmış demetlerin rasgele dağılmalarından dolayı, hemen hemen tüm doğrultularda aynı olmasıdır. Bu özellik diğer takviye formlarında bulunmamaktadır.

Keçeler, denizcilik sektöründeki en popüler takviye malzemesi formu olmalarına rağmen, sağlam ve aynı zamanda hafif yapılarda kullanılmalarında uygun olmayan bazı dezavantajlara sahiptirler. Keçe kullanılan kompozit malzeme katmanları, diğer takviye formlarının kullanıldığı katmanlara göre en zayıf dayanıma sahip katmanlardır. Bunun nedenlerinden biri, yapısında kullanılan süreksiz liflerin sürekli lifler kadar güçlü olmaması, diğer bir nedeni ise yüksek kısmi hacim oranının elde edilememesidir. Kompozitin matris bileşeni, takviye bileşenine göre daha zayıftır ve yüksek kısmi hacim oranına sahip kompozit malzeme katmanlarının mukavemetleri daha fazladır. Keçe kullanıldığı durumlarda elde edilebilecek kısmi hacim oranı kompozit malzeme hacminin yaklaşık %20'si ve ağırlığının yaklaşık %30'u mertebesinde. Çok daha uygun, özel takviye formları kullanılarak bu oranlar hacim bazında %65'e ve ağırlık bazında da %80'e kadar çıkarılabilir[8].

- **Fitil (Roving)**

Fitiller, cam liflerin 120 taneye kadarının bir araya getirilmesiyle ve bunların bir makara etrafına sarılmasıyla imal edilirler. Fitil yapımında kullanılan cam lifleri genelde 10-15 μm çapında olup bunların üzeri cam ile reçinenin kimyasal reaksiyonunu sağlamak maksadıyla bir bağlayıcı ile kaplanır.

Kullanılan fitillerin ayrıca "fitil dokuma (Woven roving)" şeklinde bir formu daha vardır. Bunlar birbirleri içinden geçirilerek dokunur. 1 m² fitil dokumanın ağırlığı 200-960 gr arasında değişebilmektedir. Fitillerin hazırlanması fazla işlem gerektirmediğinden, diğer takviye formlarına göre daha ucuzdur. Kıvrımlara kolaylıkla uyar ve elle yatırma metoduna uygundur. Kısmi hacim oranı yüksek olduğundan fiziksel özellikleri gayet iyidir. İstenilen kalınlık kolaylıkla sağlanabilmesine karşılık, reçinenin fitillerin içine kadar nüfuz edebilmesi zordur. Bu nedenle iç kısımlarda hava kabarcıkları kalabilmekte ve bunlar daha sonra yüzeyi bozabilmektedir[8].

- **Hazır Kalıplama Bileşenleri (Prepreg)**

Takviye olarak kullanılan elyafların, önceden reçine ile ıslatılarak ve uygun katalizör katılmış olarak kullanılmaya hazır hale getirilmesiyle hazır kalıplama bileşenleri elde edilir. Yakın zamanlarda kullanıma başlanan hazır kalıplama bileşenleri ilk önce uzay sanayiinde kullanılmaya başlanmış, daha sonra gemi inşa sektöründeki yerini almıştır. Hazır kalıplama bileşenlerinin ıslatılmasında kullanılan reçinelerin tamamına yakını epoksi reçineler olup[16], bunlar sadece yüksek basınç ve sıcaklık şartları altında kullanılmaya uygun olarak dizayn edilmişlerdir.

Hazır kalıplama bileşenlerinin imalatı esnasında, kumaş elyafa tatbik edilen reçine, son kullanımdaki optimum lif/reçine oranını sağlayabilmek maksadıyla, elyafın merdaneler arasından geçirilmesi esnasında dikkatli bir şekilde kontrol edilerek uygulanır. Sandviç yapılarda çekirdek malzemesiyle bağlanmak amacıyla üretilen hazır kalıplama bileşenleri, daha iyi yapışmaya imkan vermesi maksadıyla yüksek reçine oranına sahiptirler. Buna karşılık tek cidarlı yapılarda, kompozit katmanlarının oluşumunda optimum lif oranını sağlamak ve dolayısıyla dayanımı arttırmak için kullanılan reçine oranı düşük tutulur. Kullanılan reçineye önceden katalizör eklenmekte olup, hazır kalıplama bileşenlerinin raf ömürleri uzundur. Depolanmaları için gerekli ortam malzemelerinin bileşenlerine göre soğuk ve kuru ortamdan buzdolabına kadar çeşitlilik gösterebilir.

Her iki yüzü de koruyucu kaplamalarla kaplı olan hazır kalıplama bileşenlerinin üzerindeki bu koruyucular kumaş elyafın tatbik edilme safhasına kadar üzerlerinden çıkarılmamalıdır[8]. Genellikle 25-475 mm genişliğinde[16] sargılar halinde satılan hazır kalıplama bileşenleri ambalajlarından çıktıkları anda kullanıma hazırdırlar ve hemen kullanılmalıdırlar[4]. Bu bileşenler ambalajlarından çıktıklarında belli derecede yapışkandırlar ve bu sayede, istenilen şekilde kesilip uygulanacakları yerlere tatbik edildiklerinde pozisyonlarını muhafaza ederler. Ayarlama ve yeniden yerleştirme zorluğuyla karşılaşılması için, hazır kalıplama bileşenlerinin yapışkanlık derecesinin çok yüksek olmaması istenir. Eğer malzeme çok kıvrımlı veya ayrıntılı bir kalıp içerisinde uygulanacağı pozisyonu koruyabilecek kadar yapışkan değil ise, bu bölgeye sıcak hava verilerek yapışkanlığı artırılabilir.

Kullanım açısından hazır kalıplama bileşenlerinin çok önemli avantajları vardır. Temizdirler, kolaylıkla kullanılabilirler, lif/reçine oranının çok sıkı kontrol edilebilmesinde dolayı kompozit malzeme katmanlarında optimum dayanımı sağlarlar. Fakat bunların yanında kullanımları yüksek sıcaklık ve basınç gerektirdiğinden, mevcut gemi inşa sektöründe kullanılan yapıların ötesinde özellikler göstermektedirler. Bu sektördeki uygulamaları, halihazırda maliyetin ikinci planda olduğu uygulamalar ve çok yüksek performanslı deniz taşıtları ile sınırlıdır bulunmaktadır[8].

Kumaş (Fabric)

Yüksek performanslı kompozit malzemelerin elde edilmesinde, genellikle daha hafif ve daha dayanıklı, diğer takviye malzemelerinin formlarıyla karşılaştırıldıklarında, en iyi sonucu veren ve en çok kullanılan form kumaşlardır. Kumaşların kullanımı yüksek lif/reçine oranına imkan vermesinin yanı sıra aynı zamanda daha ince kompozit

katmanların elde edilmesine ve tasarımcı ve imalatçının istenilen mukavemet değerlerine daha kolay ulaşmasına imkan verir.

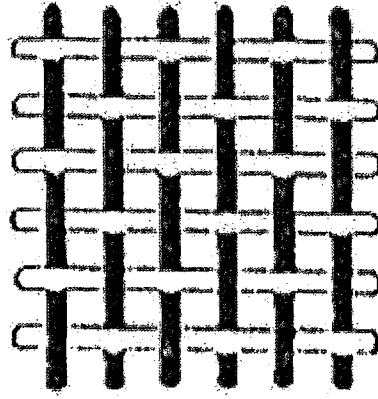
Kumaşlar, daha önce açıklanan liflerin hepsinden, tek başına veya bir kombinasyon dahilinde imal edilebilirler. Cam liflerinden imal edilen kumaşlar, ya liflerden meydana gelen demetler halinde yada fitillerden dokunarak yapılır. Demetlerden dokunarak imal edilen kumaşlar daha hafiftirler ve daha kolay işlenebilirler. Fakat imalat sırasında fitillerden daha fazla aşınmaya maruz kaldıklarından dolayı dayanımları fitillerden dokunan kumaşlara nazaran daha azdır.

Kevlar49 ve karbon lifleri de cam lifleri gibi kumaş şeklinde dokunabilirler. Kevlar49 kumaşlar genelde liflerden meydana gelen demetlerden dokunurken, karbon kumaşlar hem bu şekilde hem de fitillerden imal edilirler. Ağılıklarındaki tutarlılıkları diğer takviye formlarına göre kumaşların en büyük avantajlarından. Kumaşlar ayrıca kalınlıkları açısından da çok tutarlı olup kompozit katmanları zayıflatan boşluklara sahip değildirler. Demetler veya fitiller kumaşların dokunması esnasında tam olarak yönlendirilebildikleri için, keçelere nazaran daha fazla lif ihtiva ederler ve bu özelliğinden dolayı yapılarında daha fazla dayanıma sahip olmalarına imkan sağlayan daha fazla sayıda life sahiptirler. Kumaşlar ayrıca reçine ile ıslatıldıklarında dahi kolayca işlenip, rahatça kesilerek kalıp içerisinde istenilen yere tatbik edilebilirler.

Kumaşların yapısı genelde birbirlerini dik bir biçimde kesen lif veya fitillerden meydana gelir. Lif veya fitillerden boyuna doğrultuda olanlar “çözüğü”, ve bunları genelde dik olarak kesen enine doğrultudakiler de “atkı” olarak adlandırılır. Kumaşlar çözüğü ve atkıların değişik sayı ve şekillerde birbirleri üzerinden/altından geçirilerek örülmelerine göre farklı isimler alırlar ve her bir kumaşın ağırlığı gr/m^2 cinsinden ifade edilir. Farklı şekilde örülen kumaşların her biri farklı karakteristiklere sahiptir. Örgü şekli kumaşın reçineye yatırılmasını ve sıklığını etkiler. Birbirlerinden farklı şekilde dokunmuş olan kumaşlar dört farklı şekilde sınıflandırılır:

Düz Dokuma (Plain weave)

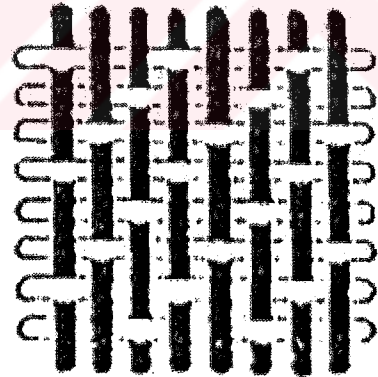
En basit dokuma şekli olan düz dokuma, her çözüğü veya atkının, kendisine dik atkı veya çözüğünün altından ve üstünden geçerek örüldüğü dokuma şeklindeki kumaşlardır. Düz dokuma kumaşlar kolaylıkla işlenebilir ve tutarlı bir kompozit katmanı kalınlığı sağlar. Çok sıkı dokunmuş olanlarına reçine tatbiki nispeten zordur (Şekil 3.13). Lif veya fitillerin çok fazla kıvrılmaları, mekanik özelliklerin diğer dokumalara göre daha düşük olmasına sebebiyet verir[8].



Şekil 3.13 Düz dokuma kumaş.

Kabarık Dokuma (Twill weave)

Kabarık dokuma kumaşlar, çözgü ve atkılarının farklı kombinasyonlarla, örneğin 2x2 veya 2x1, dokunmasıyla elde edilirler. Şekil 3.14'te kabarık dokuma kumaşın 2x1 şeklinde dokunması gösterilmiştir. Burada çözgüler iki atkının üzerinden ve birinin altından geçirilerek dokunmuştur. Bu kumaşların reçineye yatırılması düz dokuma kumaşlardan daha kolay olup, kıvrımları daha az olduğu için mekanik özellikleri daha kuvvetlidir[8].

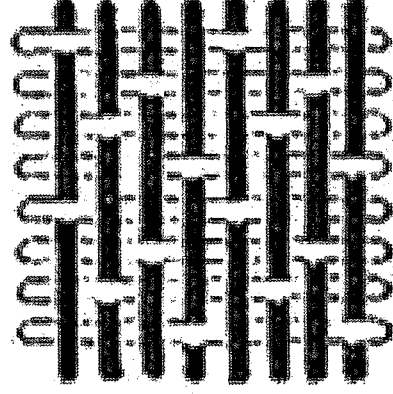


Şekil 3.14 Kabarık dokuma kumaşın 2x1 dokunmuş formu.

Atlas Dokuma (Satin Weave)

Atlas dokuma kumaşlar, kabarık dokuma kumaşlara benzer şekilde dokunur. Çözgüler daha fazla atkının üzerinden ve bir atkının altından geçirilir (Şekil 3.15). Bir yüzeyin çoğunlukla atkı, diğer yüzeyinde çoğunlukla çözgüden oluşması, yüzeylerin çok daha düzgün olmasına imkan verir. Reçine tatbiki çok kolay olup, daha az kıvrımlı yapıları mekanik özelliklerinin yüksek olmasını sağlar. Pürüzsüz bir yüzeyle sağlanabilecek minimum kalınlıktaki kompozit malzeme katmanı için atlas dokuma

kumaşlar kullanılmalıdır. Bu özelliklerinin yanında, çok sıkı dokunmamasından dolayı reçine tatbiki sırasında yüzeylerin bozulma ihtimali olduğundan çok dikkatli olunmalıdır[8].

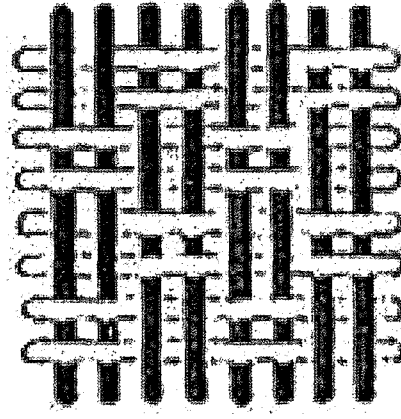


Şekil 3.15 Atlas dokuma kumaş.

Mat Dokuma (Matt weave)

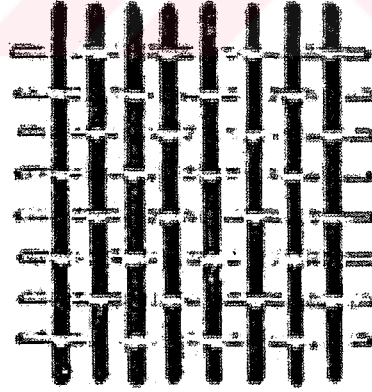
Aynı zamanda sepet dokuma da denilen mat dokuma kumaşlarda genellikle iki çözüğü ve atkı tek çözüğü ve atkı gibi birbirlerinin üzerinden ve altından geçirilerek dokunur (Şekil 3.16). Daha çok Kevlar49 ile kullanılan bu şekil dokuma, genellikle daha küçük liflerle daha ağır fakat daha ucuz kumaşların elde edilmesi maksadıyla kullanılır.

Kumaşların imalatında en fazla kullanılan form, enine ve boyuna liflerin eşit sayıda ve boyutta olduğu düz dokumadır. Bu dengelenmiş yapı, enine ve boyuna mekanik özelliklerin eşit olmasını sağlar. Daha önce bahsedilen takviye çeşitlerinden keçe izotropik bir yapıya sahiptir. Kumaşların dayanımı, liflerin yönlendirilmesine bağlı olup, çözüğü ve atkı doğrultusunda uygulanan kuvvetlere karşı kumaşlar iyi dayanım gösterirler. Fakat uygulanan kuvvetin doğrultusu değiştikçe, örneğin 45°, kumaşın dayanımı düşecektir. Üretimde kullanılan çözüğü ve atkıların sayısı ve boyutlarını değiştirilerek, farklı uygulamalara göre farklı kombinasyonlar yaratılabilir[8].



Şekil 3.16 Mat dokuma kumaş.

En çok kullanılan kumaş formu dengelenmiş yapı olmasına karşın, çift yönlü kumaşlarda kullanılan enine ve boyuna liflerin oranı %70'e %30 çözgü/atkı veya atkı/çözgü mertebesine kadar çıkabilmektedir. Eğer kumaşın %70'i veya fazlası bir yönde yönlendirilmiş ise buna "tek yönlü dokuma" denir (Şekil 3.17). Daha çok fitillerin kullanıldığı bu kumaşlarda, enine veya boyuna özelliklerden biri çok iyi iken diğeri zayıftır. Kalıplamada arzulanan yerlerde beklenen fazla yüklere karşı, o bölgenin güçlendirilmesi için tek yönlü kumaşlar rahatlıkla kullanılabilir. Tek yönlü kumaşlar reçine tatbiki daha zor olup, uygulama esnasında kumaşın dağılmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.17 Atkılarının daha fazla kullanıldığı tek yönlü dokuma.

Eğer kumaşın yapısında iki veya daha fazla lif bulunuyorsa, bunlara karma kumaş denilir. Farklı liflerin aynı kumaş üzerinde bir araya getirilmesinin amacı, bu liflerin farklı özelliklerinin aynı kumaş üzerinde toplanması ve bunun kompozit malzeme katmanlarına uygulanmasıdır. Örnek olarak çok sağlam ve çarpma dayanımı yüksek bir yapı isteniliyorsa, mümkün olan en küçük ağırlık, Kevlar49 ve karbonun bir arada kullanıldığı elyaf sayesinde imal edilir. Aynı şekilde cam lifleri ile Kevlar 49 ve/veya

karbon liflerinin bir arada bulunduğu bir elyaf maliyetin optimizasyonu nedeniyle tercih edilir[8].

3.3.2.5. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Matris Malzemeleri

Kompozit malzemelerin sınıflandırılması esnasında, kullanılan matris malzemesine göre sınıflandırmanın da kullanıldığını, fakat tez çalışmasına uygunluğu açısından takviye malzemesinin geometrisine göre sınıflandırmanın daha uygun olduğu belirtilmişti. Kompozit malzemelerin yapılarında kullanılan matris malzemesine göre sınıflandırması, (a) Metal Matris Kompozitler (MMCs), (b) Seramik Matris Kompozitler (CMCs) ve (c) Polimer Matris Kompozitler (PMCs) olarak üç farklı şekilde çeşitli kaynaklarda kullanılmaktadır.

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde matris malzemesi, lifleri sararak bir arada tutan, kompozite gelen yükleri liflere aktaran ve takviye malzemesini dış etkenlere karşı koruyan sürekli fazı oluşturmaktadır. Matris malzemesi bu işlevlerinin yanı sıra, kompozit bünyesindeki gerilmelerin bir kısmını karşılayarak taşımaya yardımcı olmakta ve liflerde meydana gelen çatlama ve kopmaları tolere ederek kompozitin tokluğunu arttırmaktadır[3].

Matrisin kompozit yapıya uygulanan gerilme yüklerini taşımaya çok fazla yardımı yoktur. Fakat matris seçimi, kompozit katmanlar arasındaki kayma gerilmesi ve kompozit katmanı içindeki kayma gerilmesi açısından çok önemlidir. Kompozit katmanlar arası kayma gerilmesi bükme yüklerine maruz kalan yapılarda, katman içindeki kayma gerilmesi ise burulma yüklerine maruz kalan yapılarda önemli dizayn kriterlerindendir.

Matris, kompozit malzemenin basma dayanımını etkileyen liflerin basma yükleri altında muhtemel eğilmelerini önleyici yanıl desteği sağlar. Kompozit malzemenin işlenilebilirliği ve kompozit yapıdaki kusurlar, çoğunlukla yapısındaki matrisin fiziksel ve ısısal özelliklerine, örneğin viskozite, erime sıcaklığına, kütleme ısısına v.b. gibi özelliklerine bağlıdır.

Uygulanacak yapının amacına uygun olarak, bir matrsten istenen ve beklenen özellikler şunlardır:

- Nem emişinde minimizasyon,
- Islaklık ve liflerle bağlanabilme,

- Tatbiki esnasında akıcılığından dolayı liflerle çok iyi temas edip boşluk bırakmama,
- Yükleri liflere transfer edebilmesi için elastiklik,
- Yüksek sıcaklıklara dayanım (uygulama yerine göre),
- Mükemmel kimyasal özellikler (uygulama yerine göre),
- Düşük büzülme oranı,
- Düşük ısı genleşme katsayısı,
- Uygun dayanım, modül ve uzama (uzama oranı liflerin uzama oranlarına göre daha yüksek olmalı),
- Kolayca tatbik edilebilme,
- Boyutsal kararlılık[5].

Kompozit malzeme yapısında kullanılan matris malzemelerini, Metal Matris Malzemeleri, Polimer Matris Malzemeleri ve Seramik Matris Malzemeleri olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz:

- **Metal Matris Malzemeleri**

Kompozit malzemeyi sürekli faz olarak bir arada tutan ve bu bütünlük içinde liflerle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından özellikle polimer matris malzemelerine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler. Metal matrisli, liflerle takviyeli kompozitleri üretmek daha güç ve bunun maliyeti de çok yüksek olmasına karşın, metal matris malzemeleri kompozitin tokluğunu önemli ölçüde arttırmakta ve yüksek sıcaklık etkisindeki uygulamalara olanak vermektedirler.

Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan çok ince liflerin (kıl/whisker) üretimiyle başlamıştır. Daha önce üretilen cam lifi, polimer matrislerin takviyesinde başarıyla kullanılsa da, akışkanlık özelliği nedeniyle yüksek sıcaklık uygulamalarında taşıyıcılığını kaybetmektedir. Bu nedenle çok ince alüminyum oksit lifler (Al_2O_3 -kıl) üretilinceye kadar metal matrisli kompozitlerin üretimine gidilmemiştir[3].

Kompozit malzeme üretiminde, metal matris malzemesi olarak en çok kullanılan metaller alüminyum, magnezyum ve titanyum olup[11] bunlara ek olarak bakır, nikel ve gümüşte kullanılabilmektedir[3]. Metaller fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi maksadıyla diğer elementlerle çok geniş bir yelpazede birleştirilerek

alaşım oluşturabilirler. Alaşımın özellikleri mikro yapıyı belirleyen ısısal ve mekanik uygulamalardan etkilenir. Metal matris malzemesi olarak en çok kullanılan üç metale ait bazı özellikler Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Metal matris malzemesi olarak en çok kullanılan üç metalin özellikleri.

Metal Özellik	Alüminyum	Magnezyum	Titanyum
Yoğunluk (gr/mm ³)	2.70	1.80	4.5
Elastisite Modülü (GPa)	70	45	110
Poisson Oranı	0.33	0.35	0.36
Çekme Dayanımı (GPa)	0.2-0.6	0.1-0.3	0.3-1.0
Kopmada Uzama (%)	6-20	3-10	4-12

Tablo 3.5'teki üç metal de sünek yapıya sahip olup izotropiktirler. Polimer matris malzemelerin tersine, metal matris malzemeleri takviyelere tatbik edildiklerinde dayanımlarındaki artış daha az olur. Asıl artış kimyasal özelliklerinde, sürünme dayanımlarında ve ısı çarpılmaya karşı dayanımlarında meydana gelir[11].

Matris malzemesi ergimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka (folyo) şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kalıplama, haddeleme yöntemleriyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleştirme ve kompoziti oluşturma işleminde en önemli nokta, takviyede kullanılacak olan yüksek dayanımlı lif, tel ve kılların zedelenmemesi, tahrip olmaması ve dolayısıyla özelliklerinin bozulmamasının sağlanmasıdır.

Metal matris içinde en kolay kullanılabilen lifler nadir ve pahalı bir lif türü olan boron ve borsic (yüzeyi silisyum karbür kaplı bor) liflerdir. Yaygın olarak kullanılan metal matrislere örnek olarak çeşitli alüminyum alaşımları ile saf alüminyum gösterilebilir. Burada kompozit malzeme yaklaşık 450-550 °C sıcaklıkta, sıcak presleme yöntemiyle üretilmekte ve üretilen bu kompozit 300 °C sıcaklığa kadar oda sıcaklığındaki özelliklerini koruyabilmektedir. Matris malzemesi olarak titanyum alaşımları da borsic liflerle birleştirilerek kullanım sıcaklığı 420-520 °C'ye kadar yükseltilen kompozit malzemeler üretilmektedir.

Metal matrise sahip liflerle takviyeli kompozitlerde fazlar arasında elektro-kimyasal etkileşim olması, fazlardan birinin korozyona uğraması gibi sonuçlarla da karşılaşilmektedir. Örneğin, alüminyum alaşımlı bir matris içinde karbon liflerinin kullanılması halinde, bu iki malzeme arasında galvanik korozyon görülmektedir. Bunun önüne geçmek için karbonun yüzeyi daha önceden nikel veya gümüşle kaplanmaktadır[3].

- **Seramik Matris Malzemeleri**

Cam seramiklerde, ısıtılma işlem görmüş bor-silikat ve alüminyum-silikat, kristalin fazı cam fazı içinde iyi bir dağılım gösterir. Diğer seramik matris malzemelerine göre daha düşük yumuşama ısısına sahiptirler ve imalatları daha kolaydır[11].

Yüksek sıcaklıklarda, yeni nesil motorların kullanıldığı uygulamalarda, malzemenin dayanıklı, sert, oksidasyon direnci yüksek, yüksek sıcaklıklara ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olması istenir. Bir diğer seramik matris malzemesi olan SiC, silisyum karbid, süpersonik uçakların gaz türbin motorları uygulamaları için kullanılır. Matris malzemesi olarak SiC kullanılan kompozitler, 1400 °C'nin üzerindeki uygulamalarda, yüksek dayanım, yüksek sertlik, yüksek ısı iletkenlik özelliklerini gösterirler.

Yüksek sıcaklık uygulamalarında karşılaşılan zorlukları aşmak için geliştirilmiş diğer bir seramik matris malzemesi de Si_3N_4 , silisyum nitrit, olup bu matris malzemesinden imal edilen kompozitte takviye malzemesi genellikle hacim oranının %30'u civarında olan SiC elyafıdır. Tek yönlü veya çift yönlü yönlendirilmiş SiC elyaf ve Si_3N_4 matristen oluşan kompozit malzeme 1400° C'ye kadar olan uygulamalarda, yüksek sertlik, yüksek dayanım, çentik dayanımı ve ısıl şoklara karşı dayanım gösterir. Bu kompozit ayrıca 1550° C'ye kadar mükemmel dayanım gösterir ve 15 dakikaya kadar bu sıcaklığa maruz kalması halinde bile kompozitin dayanımı hızlı değil yavaş bir şekilde düşer.

Seramik matris malzemesi olarak ayrıca ZrO_2 ve Al_2O_3 kullanılan, takviye olarak sürekli veya süreksiz liflerin kullanılabildiği uygulamalarda mevcut olup geliştirilmelerine devam edilmektedir[5].

- **Polimer Matris Malzemeleri (REÇİNELER)**

Liflerle takviyeli kompozitlerde en çok kullanılan matris malzemesi polimerlerdir. Bu malzemeye günlük dilde “plastikler” de denmektedir. Örneğin cam lifleri takviyeli polimer matrisli malzemelerin Cam Takviyeli Plastikler yani kısaca CTP diye adlandırıldığını belirtilmişti.

Malzeme olarak polimerler içyapılarına göre, *Termoplastikler* ve *Termosetler* olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Liflerle takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde her iki gruba giren malzemeler de kullanılmaktadır.

Termoplastikler, düz veya dallı zincirlerden yapılmış maddelerdir. Zayıf bir yapıya sahip olup, Van der Waals bağlarıyla bağlanarak oluşmuşlardır. Yanal bağların zayıflığı nedeniyle, bu gruba giren malzemeler yükselen sıcaklık karşısında yumuşamaktadır. Sıcaklık azalınca malzemede yine sertleşme görülür. Sıcaklık etkisine bağlı bu yumuşama ve sertleşme özelliği, malzemenin yapısının buharlaşmayla bozulmadığı sürece devam etmektedir.

Termoplastik malzemeler oda sıcaklığında yüksek viskoziteye sahip oldukları için, matris malzemesi olarak kullanıldıklarında, uygulamada matris ile lif arasındaki bağların kurulması termoset malzeme grubuna göre daha zor olmaktadır. Ayrıca, termoplastiklerin yükselen sıcaklık karşısında yumuşamaları nedeniyle, bu malzemelerin kullanım sıcaklığı seviyesi de düşük olmaktadır. Akrilikler, fluorakarbon esaslı plastikler, poliamidler ve PVC gibi vinil esaslı plastikler bu gruba girmektedir.

Termoset, monomer moleküllerinin kimyasal reaksiyonlar sonucunda yan al bağlarla birbirlerine bağlanmalarıyla meydana gelen malzemelerdir. Kovalent bağlarla, üç boyutlu olarak bağlandıkları için oldukça rijit bir yapıya sahiptirler. Üretimleri sırasında gerçekleşen polimerizasyon reaksiyonu geriye dönüşümlü olmadığından, termoset grubundaki maddelerin tekrar ısıtılarak yumuşatılmaları ve şekillendirilmeleri mümkün değildir. Polyester, vinilester, epoksi, fenolik, silikon ve furan reçineleri gibi malzemeler termoset reçineler grubuna girmektedir[3]. Bu reçineler arasında gemi inşa sektöründe en çok kullanılanları polyester, vinilester ve epoksi reçinelerdir[8]. Termoplastik reçinelerin bazılarının özellikleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir[8,15].

Tablo 3.6 Termoplastik reçinelerin özellikleri.

Reçine Özellik	Polyester	Vinilester (Derakane 411-45)	Epoksi	Fenolik
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.21-1.23	1.12	1.2	1.15
Elastisite Modülü (GPa)	3.2-3.6	3.4	3.0	3.0
Poisson Oranı	0.36	-	0.37	-
Çekme Dayanımı (MPa)	60-65	83	85	50
Kopmada Uzama (%)	2.0-2.5	3.0-7.0	3.0-6.0	2.0
Basma Dayanımı (MPa)	130	120	130	-
Isıl Sapma Sıcaklığı (°C)	65-95	110	110	120

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin üretiminde kullanılan reçinelerin dayanım özellikleri, burada kullanılan liflere nazaran düşük olmalarına rağmen, kompozit yapıdaki rolleri çok önemlidir. Amaca ve kullanım yerine uygun olarak reçineler kompozit yapıdaki takviyeleri su emişi, aşınma, kimyasal etkiler gibi dış etkenlere karşı korur. Takviyelerin kompozit yapıdaki görevlerini yerine getirebilmeleri için reçineler tarafından sarılması ve uygulanan yüklerin yine reçineler tarafından takviye fazına eşit olarak iletilmesi gerekir. Eğer reçine ve lifler arasındaki bağ herhangi bir yerde zarar görürse, matris uygulanan yükleri liflere tam olarak iletemez ve bu durumda oluşan çatlaklar kompozitin dayanımını düşürür.

Reçinelerin mekanik özelliklerinin liflere göre düşük olmasına rağmen, kompozitin bir bütün olarak davranışı üzerindeki rolleri önemlidir. İdeal bir reçineden bahsedildiğinde, bunun sert, yüksek maksimum çekme dayanımına sahip ve aynı zamanda kopmaya karşı uzamasının iyi olması istenir. Bu iki özelliğin aynı anda birarada bulunması zordur. Çünkü yüksek maksimum çekme dayanımı kırılma matrislerde bulunur. İyi kopmaya karşı uzama oranına sahip reçineler ise düşük dayanım, düşük ısıl sapma sıcaklığı (heat-deflection temperature: HDT) ve düşük su geçirmezlik özelliği gösterirler. Buradaki ısıl sapma sıcaklığı (HDT) terimi belirli bir sıcaklığın üzerinde reçinenin fiziksel özelliklerinin sabit kalmasının beklendiği sıcaklıktır. Bazı yüksek sıcaklık kompozit malzeme uygulamalarında bu özellik önemli olmasına rağmen, tekne imalatçıları için üretilecek ürün çok fazla yüksek

sıcaklıklara maruz kalmayacağından dolayı önemi daha azdır. Reçine seçiminde ısıl sapma sıcaklığı 60 °C'nin altında olan reçinelerin seçiminden kaçınmak gereklidir.

Yukarıda belirtilen özelliklerin yanında, kompozit malzemenin uzun süre kullanımı için reçinenin tekrarlanan yüklere karşı iyi yorulma dayanımı özelliğine de sahip olması gerekir. Reçinenin maksimum çekme dayanımına kadar olan yüklere karşı dayanımının yanı sıra, uygulanan bu yükün kaldırılması durumunda da kalıcı bir hasarın meydana gelmemesi gerekir. Tekne yapımında kullanılacak olan reçinelerin maksimum çekme dayanımlarının 60 MPa ve çekmeye karşı uzama oranlarının %2.5 civarında olması istenir.

Reçine seçimine ek olarak, kullanılacak takviyenin tipi, kalıplama işlemi, lif/reçine oranı ve yüzey tamamlama işlemlerinin hepsi dış etkenlere karşı dayanımı etkileyen faktörlerdir. Yüksek performanslı kompozit malzemelere ihtiyaç duyulduğunda, yüksek mekanik özelliklerle çevresel etkenlere karşı yüksek dayanım özelliklerinin birarada bulundurulabilmesinin zorluğu ile karşı karşıya kalınır. Yüksek mekanik özellikleri için lif/reçine oranının olabildiğince yüksek olması istenir. Buna karşılık dış etkenlere karşı daha fazla dayanım için kompozit malzemenin en azından dış katmanlarının yüksek reçine/lif oranına sahip olması gerekir. Bu iki gereksinime de aynı anda ihtiyaç duyulması durumunda yüksek performanslı reçinelerin seçilmesi çok büyük önem kazanır.

Reçinenin liflere hızlı ve tamamını kaplayacak şekilde tatbiki çok önemlidir. Bunun olabilmesi reçinenin özelliklerinin yanı sıra aynı zamanda lif tipine, kumaşın şekline ve yüzey alanının büyüklüğüne de bağlıdır. Kullanılan reçinenin viskozitesi, imalatın laminasyon aşamasında, liflere reçinenin tatbikinin kolaylığını etkiler. Uygulamada kullanılan reçinelerin viskoziteleri 400-800 cps arasında değişmektedir. Burada viskozitenin sıcaklığa bağlı bir özellik olduğu göz önünde bulundurulmalı ve düşük sıcaklıklarda tatbikinin çalışmayı zorlaştıracığı akıldan çıkarılmamalıdır.

İstenilen dizayn kriterlerine ulaşabilmek için reçinenin liflere tam nüfuz edecek şekilde tatbik edilmesi gerekir. Malzeme içinde boşlukların bulunmasının önüne tamamiyle geçilememesine rağmen, uygulamadaki her faaliyette bunların minimum seviyeye indirilmesine gayret gösterilmelidir. Kompozit yapıdaki toplam boşluk oranındaki her %1'lik artış, katmanlar arasındaki kayma dayanımının %7 oranında azalmasına sebebiyet verir.

Düşük viskoziteli reçinelerin tatbiki kolay olmasına rağmen, genellikle reçine/lif oranının yüksek olduğu katmanların uygulamasında, dik veya dike yakın yüzeylerde

bunlar akıtma problemleri doğurur. Bunun önüne geçmek için genellikle tatbik edilecek reçinenin tiksotropik formu kullanılır. Tiksotropik formdaki reçinelerin viskozitesi reçinenin elle veya merdanelerle tatbiki sırasında düşük kalır ve tatbiki kesildiği anda reçinenin eğilmesini ve akmasını engelleyecek şekilde yükselir.

Tekne imalatçıları açısından önemli diğer bir faktör de, reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesinden (curing process) sonra iyi mekanik, kimyasal özelliklere ve su geçirmezliğe sahip olabilme özelliğidir. Yüksek sıcaklıklarda külendikten sonra çok yüksek sonuçlar alınabiliyor olmasına rağmen, birçok imalatçı yüksek sıcaklıkta bu işlemi gerçekleştirebilecek imkanlara sahip değildir. Eğer reçinenin kürlenmesi oda sıcaklığında yapılırsa beklenen dayanım değerleri, yüksek sıcaklıklarda yapılan işleme göre daha düşük olacaktır. Yüksek performanslı ve hafif yapılar için en iyi sonuçlar kalıplamanın önceden yüksek sıcaklıklarda kürlenmiş reçinelerle yapıldığı sistemlerde elde edilir.

Uygulama esnasında, reçinelerin belirli dereceye kadar zehirli yan etkileri görülebilir. Bunun önüne geçmek için mutlaka reçine imalatçılarının tavsiyeleri göz önünde bulundurulmalıdır. Reçinenin tatbiki esnasında karşılaşılabilecek deri yanması, zehirli gaz soluma gibi problemleri önlemek için koruyucu elbiseler, aparatlar ve kremler kullanılması gerekir. Uygun havalandırma sisteminin zararlı etkileri en aza indirmedeki rolü de büyüktür.

Reçine seçiminde özelliklerin yanında mutlaka göz önünde tutulması gerekli faktörlerden biri de maliyettir. Fiyat tüm imalatçılar ve kullanıcılar için çok büyük bir öneme sahip olmasına rağmen, hiçbir zaman diğer tüm performans kriterlerini ikinci plana koyarak tek başına değerlendirilmemelidir. Reçineler birbirleriyle fiyat bazında karşılaştırdıklarında, birçok imalatçı ve kullanıcı yüksek maliyetten kaçınmaktadır. Bu kısa vadeli bakış açısı, ucuz fakat düşük performanslı ürünlerle, maliyeti biraz arttıran ve performansı çok fazla derecede yükselten sistemler arasındaki farkın görülemeyişinin bir göstergesidir[8].

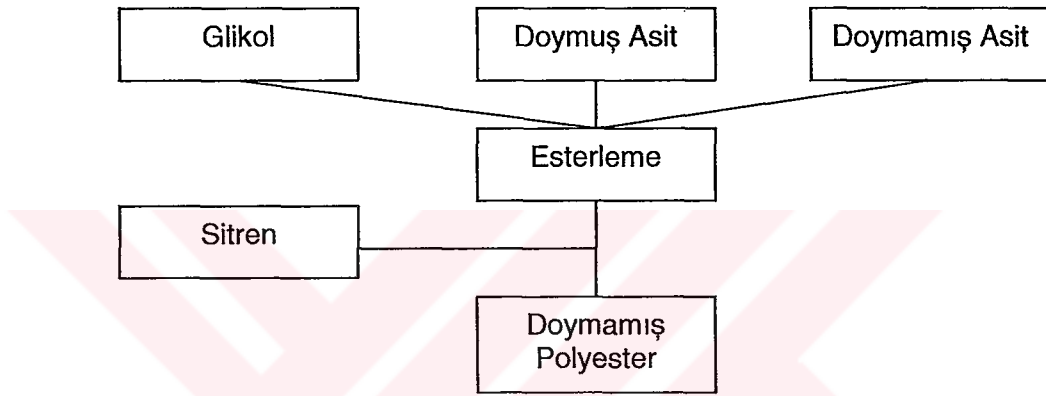
Polyester Reçineler

Polyester reçineler, cam takviyeli plastiklerin üretiminde en çok kullanılan matris malzemelerindendir. Bunlar doymuş polyester ve doymamış polyester olarak iki grupta toplanır.

Doymuş polyester reçineler, termoplastik özellikler gösteren, enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan malzemelerdir. Doymamış polyesterler ise, uygun bir katalizör aracılığı ile yapı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. Bu malzeme, mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri, kullanım amacına göre tasarım kolaylığı,

boya ve benzeri katkı maddelerini kabul edişı gibi nedenlerle, olanakları geniş ve ekonomik bir malzeme niteliği taşımaktadır. Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerin üretiminde kullanılan polyester reçine terimi genellikle doymamış polyester reçine olarak kullanılmaktadır[3].

Polyester reçineler, doymuş ve doymamış organik asitlerin (çoğunlukla fitalik ve malik anhidridler), propilen veya etilen glikol ile esterlenmesinden sonra, reaktif monomer olan sitrenin eklenmesiyle imal edilirler (Şekil 3.18). Farklı asitler, glikoller ve reaktif monomerler reçineden beklenen fiziksel özelliklere göre bir araya getirilerek, özel durumlarda kullanılmak üzere farklı kombinasyonlara sahip polyester reçineler imal edilebilir[8].



Şekil 3.18 Doymamış polyester reçinenin imalatı.

Kürleme işlemi sonucu moleküllerin çapraz bağla birbirine çok sıkı bağlandıkları üç boyutlu bir yapı meydana gelir. Bu genelde kompozit yapının imalatı sırasında yapılır[11]. Polyester reçinenin kompozit yapıyı meydana getirebilmesi için önce jel formuna gelmesi ve daha sonra katılaşması gerekir. Kürleme işleminin başlaması için reçineye uygun katalizör katılır. Polyester reçineler için kullanılan katalizörler, genelde organik peroksitlerin macun formu veya sıvı formunun uygun seyreltici ile %50 oranında karıştırılması ile elde edilir. Bu reçineler için en uygun katalizörler, sıvı oldukları için oranları kolaylıkla hesaplanabilen Metil Etilketon Peroksittir (MEK Peroksit). Reçinelerin kürlenmesi için gerekli katalizör miktarı, reçine hacminin %2'sinden az olmamalıdır. Aksi taktirde, kompozit malzemenin kürlenme işlemi gerçekleşmeyebilir.

Katalizörler ister macun formunda ister sıvı formda olsun, yanıcıdır ve bu sebepten dolayı reçinelere katılmaları ve depolanmaları sırasında çok dikkat edilmelidir. Deri ile temas etmesinden de mutlaka kaçınılmalıdır. Peroksitlerin dayanımları zamanla azalır ve dolayısıyla kullanılması düşünülen eski imal tarihli

katalizörlerin, reçineye katılmadan önce küçük bir miktarının test edilmesi faydalı olacaktır[8].

Kürleme reaksiyonu egzotermik bir reaksiyon olup, kürleme işlemine yardımcı olan ısıyı sağlar[15]. Bu işlem katalizörün reçineye karıştırıldığı anda başlar[8]. Kürleme oda sıcaklığında yapılabileceği gibi, optimum çapraz bağların ve özelliklerin sağlanabilmesi için daha önceden belirlenmiş sıcaklıklarda ve sürelerde yapılabilir[11]. İşlemi hızlandırmak için sıcaklığı arttırmanın yanında ayrıca hızlandırıcılar da eklenebilir. Birçok kimyasal bileşik hızlandırıcı olarak kullanılabilir. Bunların en çok kullanılanı kobalt tozlarıdır. Hızlandırıcılar reçineye %1-2 oranında ilave edilirler ve ekleme işlemi yanıcı özellik taşıyabileceğinden dolayı çok dikkatli yapılmalıdır. Güvenlik nedenlerinden dolayı önceden hızlandırıcı katılmış reçinelerin kullanılması ve bunlara sadece katalizör eklenmesi daha uygun olur. Eğer yinede hızlandırıcı ve katalizörün reçineye birlikte eklenmesi zorunda kalınırsa, önce hızlandırıcı eklenmeli ve tam olarak reçine ile karıştıktan sonra katalizör eklenmesi yapılmalıdır.

Diğer termoset reçinelerde olduğu gibi, polyester reçinenin kürlenmesindeki reaksiyon, daha önce belirtildiği üzere, egzotermik olup, bu sırada açığa çıkan ısı 150 °C'ye kadar ulaşabilir.

Kürleme işlemi üç safhaya ayrılır. Birinci safha olan “jel safhası”, reçineye katalizörün eklendiği andan başlayıp sağlam bir jel formuna, egzotermik reaksiyonun başlamasıyla, gelinceye kadar geçen safhadır. İşlem safhalarında geçmeyen fakat jel safhasının sonu ile sertleşme safhasının başında kompozit katmana tatbik edilen reçinenin fazlalıklarının tıraşlanıp düzeltilebileceği “yeşil evre” adı verilen kısımda, sertleşmeden sonra keskin bir bıçakla bile kesilip düzeltilmesi mümkün olmayan kısımların düzeltilmesi yapılır. Jel safhasını takip eden safha “sertleştirme safhası”dır. Bu süre reçinenin kalıptan çıkarılabilecek yeterli sertliğe ulaşabilmesi için gerekli olan süredir.

Son safha olan “olgunlaştırma safhası”, reçinenin ve dolayısıyla kompozit malzemenin karalı ve tam sertliğe ulaştığı safhadır. Bu süre kürleme sürecinin çok önemli bir noktası olup, kalıbın bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak günler hatta haftalar sürebilir. Olgunlaştırma safhası sırasında kalıbın bulunduğu ortamın sıcaklığı kesinlikle oda sıcaklığından düşük olmamalıdır. Daha iyi sonuçların eldesi için kompozitin çok yüksek sıcaklıklarda sonradan kürlemesi de yapılabilir. Genellikle sonradan kürleme sırasında sıcaklık ne kadar yüksek olursa o kadar kısa sürede tam sertliğe ulaşılabilir ve kalıptan çıkarılabilir. Fakat burada uygulanacak sıcaklığın

her zaman reçinenin ısı sapma sıcaklığından daha düşük olmasına dikkat edilmelidir.

Polyester reçinelerin gemi inşa sektöründe bu denli yaygın kullanılmalarının başlıca nedenlerinden biri, kürlleme işleminin oda sıcaklığında yapılabilmesine imkan tanımasıdır. Bu düşük sıcaklıklarda kürlleme işlemi gerçekleştirilirken, en iyi sonuçların polyester reçineler ile alınacağı anlamına gelmez. Gemi imalatçıları tam olarak kürlenene kadar malzemeyi 18-20 °C sıcaklıklarda, tercihen daha yüksek sıcaklıklarda, tutmayı hedeflerler. Kompozit malzemelerin kürlleme işleminin olgunlaştırma safhası sona ermeden de kalıptan çıkarılmasına imkan olmasına rağmen, distorsiyon meydana gelmemesi için son safha tamamlanana kadar kalıpta tutulması tavsiye edilir[8].

Kürlleme işlemi sırasında reçinelerde %2-8 arasında büzölme meydana gelir. Reçinelerin tavsiye edilen raf ömrü, depolama şartlarına ve kullanılan katalizörün kalitesine bağlı olarak 6-9 ay arasındadır[15].

Polyester reçineler kolay elde edilebilir, diğer reçineler ile karşılaştırıldıklarında fiyatları daha düşüktür ve polyester ile imal edilen birçok deniz taşıtının özellikleri denizcilik sektöründe kabul edilebilir değerlerdedir. Fakat yüksek performanslı kompozit uygulamalarında bu reçinenin kullanılması her zaman istenilen sonuçları vermemektedir.

Polyester reçineler başlangıçta ortofitalik-asit bazlı reçineler olarak üretilmekte ve kullanılmaktaydı. Son zamanlarda izofitalik-asit bazlı polyester reçinelerin üretilmeye başlanmasıyla, polyester reçinelerin özelliklerinde eski formlarına göre iyileşmeler meydana gelmiştir. Yeni geliştirilen izofitalik polyesterlerin suya ve su buharına karşı dayanımlarında ortofitalik polyester reçinelere göre gelişmeler ortaya çıkmıştır. Örneğin, eski formu 25 °C sıcaklıkta 12 ayda 210 mgr su emerken, izofitalik polyester reçinenin aynı sürede su emişi 110 mgr civarındadır. Aynı zamanda bu reçinelerin dayanımları, esneklikleri, aşınmaya karşı dirençleri, çarpma dayanımları ve yorulma performansları daha gelişmiştir. Bu sebeplerden dolayı, denizcilik sektöründe daha iyi performanslı ve daha uzun ömürlü kompozit malzemelerin imalatı için izofitalik polyester reçinelerin kullanılması tavsiye edilmektedir. İzofitalik reçinelerin bu özelliklere sahip olmalarının yanı sıra fiyatlarının daha yüksek olması da doğal bir sonuçtur.

Polyester reçinelerin bazı özelliklerinin geliştirilmesi ve aynı zamanda da bazen fiyatlarının düşürölmesi için çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir. En çok kullanılan katkı maddeleri, reçinelerin renklendirilmesinde kullanılan pigmentlerdir. Bunlar

genelde macun formunda olup, gerekli renk yoğunluğunu sağlamak için reçine ağırlığının %10'u oranında eklenmeleri yeterli olur. Çok fazla pigmentin reçineye eklenmesi özellikle su geçirmezlik özelliğinin azalmasına neden olur. Bu sorunu aşmak ve istenilen rengi elde etmek amacıyla, önceden boya maddesi katılmış reçinelerin kullanılması gerekir. Kompozit katmanlarda önceden boya maddesi katılmamış reçinelerin, kalıp içindeki yüzeye en yakın katmanlar dışında kullanılmaları, boşlukların ve kusurların daha rahat tespit edilip düzeltilebilmesine imkan verir.

Polyester reçineye eklenebilecek diğer katkı maddeleri ise esnekliği artırıcı ve yanmayı geciktirici ajanlardır. Son geliştirilen reçineler gerekli tüm katkı maddelerini bünyelerinde bulunduran reçinelerdir. Bu şekilde imal edilen reçineleri kullanmak hata yapma olasılığını ortadan kaldırdığı gibi, daha tutarlı sonuçların alınmasına yardımcı olur[8].

Polyester reçine kullanmanın avantajları arasında düşük viskozite, hızlı kürlleme zamanı ve düşük maliyeti sayabiliriz. Mekanik ve kimyasal özellikleri ise denizcilik sektöründe kullanılan diğer reçinelere göre daha düşüktür. En büyük dezavantajları yüksek büzülme oranlarıdır. Bu şekilde kompozit malzeme kalıptan daha kolay çıkarılabilmesine rağmen, matris ve reçinenin farklı büzülme oranları kalıp yüzeyinde çöküntülerin oluşmasına sebebiyet verir[5].

Epoksi Reçineler

Liflerle Takviyeli Kompozit Malzemelerde matris malzemesi olarak kullanılan bir diğer termoset grubu malzeme, epoksi reçinelerdir. Epoksi reçineler yüksek performanslı kompozitlerin üretiminde kullanılan, sertleşme sırasında hiçbir yan ürün meydana getirmeyen malzemelerdir. Sertleşme sonucu meydana gelen malzeme, çok üstün mekanik, kimyasal ve elektriksel özellikleri olan ve her türlü elyafı kullanılabilen bir polimerdir[3].

Epoksi reçineler çok yönlülükleri ve diğer reçinelere göre üstün özelliklerinden dolayı, uzay araçlarından köprülere, askeri hava araçlarından spor malzemelerine ve deniz taşıtlarına kadar çok geniş kullanım yelpazesine sahip bir malzeme grubudur[8].

Epoksi reçineler genelde biri hidrojen, ikisi karbon olmak üzere üç elemanlı halkalardan oluşan epoksit gruplarını ihtiva eden, düşük moleküler ağırlığa sahip sıvı reçinelerden imal edilirler[5]. Termoplastik özelliklere sahip bu sıvı reçinelerin bu safhadan termoset haline geçişi, reaktif katılaştırıcıların eklenmeleriyle meydana gelen polimerizasyon sonucu olur. Bu işlem geri dönüşü olmayan bir işlem olup,

reçine molekülleri çapraz bağlı olarak güçlü kovalent bağlarla birbirlerine bağlanırlar.

Yapılarında %2 mertebelerinde katalizör bulunan polyester reçinelerin aksine epoksi reçinelerde kullanılan katılaştırıcıların oranı, kullanılan sisteme ve kompozit malzemeden istenen özelliklere bağlı olarak %50'ye kadar çıkabilmektedir[8].

Formulasyonuna çok dikkat edilmesi gereken bu reçinelerin imalatındaki yüzdelere ufak bir değişiklik bile kompozitin tahmin edilen ömründe %30'a varan azalmalara yol açabilir[17].

Kürleme işlemi reçineye reaktif katılaştırıcının eklenmesiyle, bazı durumlarda hızlandırıcıların eklenmesi de mümkündür, genelde 60-150 °C'de başlar. Bu reçinelerin 20-25 °C sıcaklıklar arasında soğuk kürlenmeleri de mümkün olup, soğuk kürlenen epoksi reçinelerin mekanik özellikleri daha yüksek sıcaklıklarda kürlenenlere göre daha düşük olmaktadır[15]. Bunun üstesinden gelmek için ilk safhada soğuk kürlenen reçinelerin olgunlaştırma safhasında daha yüksek sıcaklıklarda sonradan kürlemesi yapılır.

Epoksi reçinelerin kürlenmesi sırasında, jel safhasının kontrolü çok zor olup, uygun reçine/katılaştırıcı oranının kullanılması, sıcaklığın çok iyi ayarlanması yada yavaş, orta, süratli hızlandırıcılardan uygun olanının seçilmesiyle kontrol edilebilir. Epoksi reçinelerin jel safhası uygulanan kürleme sistemine göre birkaç saniyeden haftalar mertebesine kadar çıkabilir. Denizcilik sektöründe epoksi reçinelerin bu safhasının kontrolü için, 20 °C'de 45-60 dakikalık süre amaçlanır.

Sadece reçine ve katılaştırıcının kombinasyonunun, tek başına, istenilen uygulamaya göre gerekli tüm özelliklere sahip olması beklenemez. Bazı özelliklerin iyileştirilmesi maksadıyla bu kombinasyona katkı maddeleri de eklenebilir. Ağırlığın %5-10'u oranında karışıma eklenen seyrelticiler, reçinenin viskozitesini düşürerek daha kolay işlenebilmesine imkan sağlar. Reçinenin sertliğini arttırmak, basma dayanımını geliştirmek ve aynı zamanda maliyetini düşürmek için dolgu maddeleri eklenebilir. Esnekliği artırıcı veya yanmayı geciktirici ajanların eklenmesiyle, reçinenin bu doğrultulardaki özellikleri geliştirilebilir. Ayrıca hızlandırıcılar reçine ile katılaştırıcı arasındaki reaksiyonu süratlendirerek düşük sıcaklıklarda kürleme işleminin daha çabuk gerçekleşmesini sağlar.

Epoksi reçinelerin yüksek performanslı kompozit yapılarda tercih edilmelerinin nedenleri çok çeşitlidir. Örnek olarak matris malzemesinin takviyelere çok sıkı bir şekilde yapışması, yapıya uygulanan yüklerin takviyelere eşit olarak iletilebilmesi bakımından çok önemlidir. Bu kriter göz önüne alındığında, epoksi reçineler diğer

reçinelere göre üstünlük sağlar. Ayrıca sandviç yapılarda matris malzemesinin kor malzemesine yapışması çok büyük önem taşıdığından, epoksi reçineler yine tercih sebebidir[8].

Polyester reçinelere göre, epoksi reçineler 2-3 kat daha az büzülme oranına sahip olup bu oran %2-3 arasındadır[15]. Büzülme oranlarının düşük olması sebebiyle, kompozit yapılardaki baskıyı azaltarak daha esnek bir kompozitin imaline imkan sağlarlar. Ayrıca epoksi reçineler kullanılarak imal edilen kompozitlerin uzun süreli yorulmalara karşı dayanımları da daha iyidir.

Epoksi reçinelerin aşınmaya karşı dirençleri mükemmeldir ve denizcilik sektörü için çok önemli bir özellik olan su emmeye karşı dirençleri de çok iyidir. Ayrıca denizcilik sektöründe ve köprüler gibi uygulamalarda, çok şiddetli çevre şartlarına karşı dayanım maksadıyla epoksi bazlı boyalar kullanılır. Su geçirmezlik özelliklerinden dolayı epoksi reçineler yüksek performanslı kompozitlerin en dış katmanlarında, bu katmanların dayanıklı ve çevresel etkenlere karşı dirençli olmasının istendiği durumlarda rahatlıkla kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanılan reçinelerle karşılaştırıldıklarında fiyatları gerçekten yüksek olan epoksi reçinelerin gemi inşa sektöründe kullanımlarının, yüksek performanslı teknelerin gövdelerinin yapılması ile sınırlı kaldığını görülmektedir[8].

Vinilester Reçineler

Polyester ve epoksi reçinelere göre daha yeni olan vinilester reçineler, özellikle kimya endüstrisinin ihtiyaçlarını karşılamak maksadıyla geliştirilmişlerdir[8]. Doymamış vinilester reçineler, doymamış polyester reçinelere çok benzer bir şekilde, metakrilik veya akrilik asit gibi doymamış karbolik asitlerin sitren ile reaksiyona girmesi sonucu imal edilirler[5,15]. Reaksiyon sonucu oluşan vinilester reçine, yapısındaki zincirlerin polyesterdekilere nazaran daha fazla uzama ve darbeleri emme yeteneğine sahip olmasından dolayı, daha esnek bir yapıdadır. Fiyat, mekanik özellikler ve kimyasal özellikler bazında karşılaştırıldıklarında polyester ve epoksi reçineler arasında değerler alan vinilester reçineler[8], epoksi reçinelerin korozif dayanım ve çekme mukavemeti, polyester reçinelerin düşük viskozite ve hızlı kürlenebilme gibi özelliklerine sahiptirler[3].

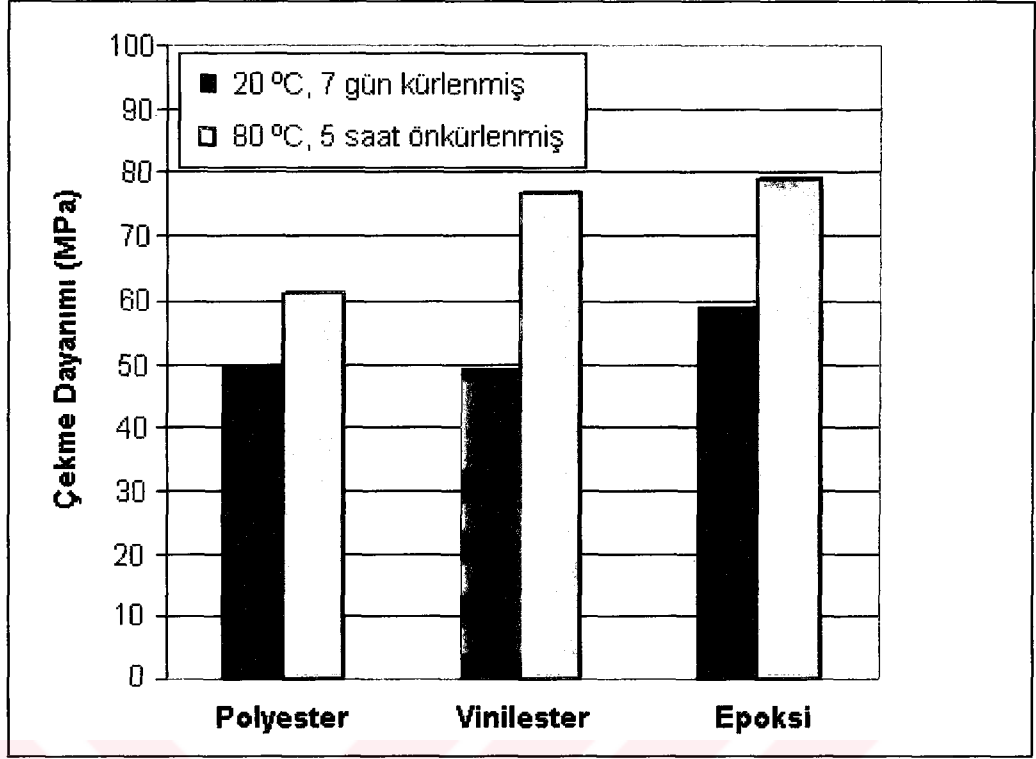
Vinilester reçineler, polyester reçineler gibi oda sıcaklığında kürlenme işlemine tabi tutulabilirler. Jelleşme birkaç dakika içinde başlar ve sıcaklığa bağlı olarak saatlerce, hatta günlerce sürebilir. Kürlenme işlemini hızlandırmak için sıcaklık artırılabilir. Vinilester reçinenin oda sıcaklığının üzerindeki kürlenme işlemi genelde 75-100 °C arasında 1-2 saat süre ile yapılır[9].

Vinilester reçinelerin kopmada uzama oranları, seçilen kürleme sistemine bağlı olarak %3-7 arasında değerler almaktadır. %7 gibi yüksek kopmada uzama değerlerine, yüksek kürleme sıcaklıklarında ulaşan vinilester reçinelerin, oda sıcaklıklarında kürlenmeleri halinde sahip olacakları uzama değerleri bile polyester reinelerinkinden daha fazladır.

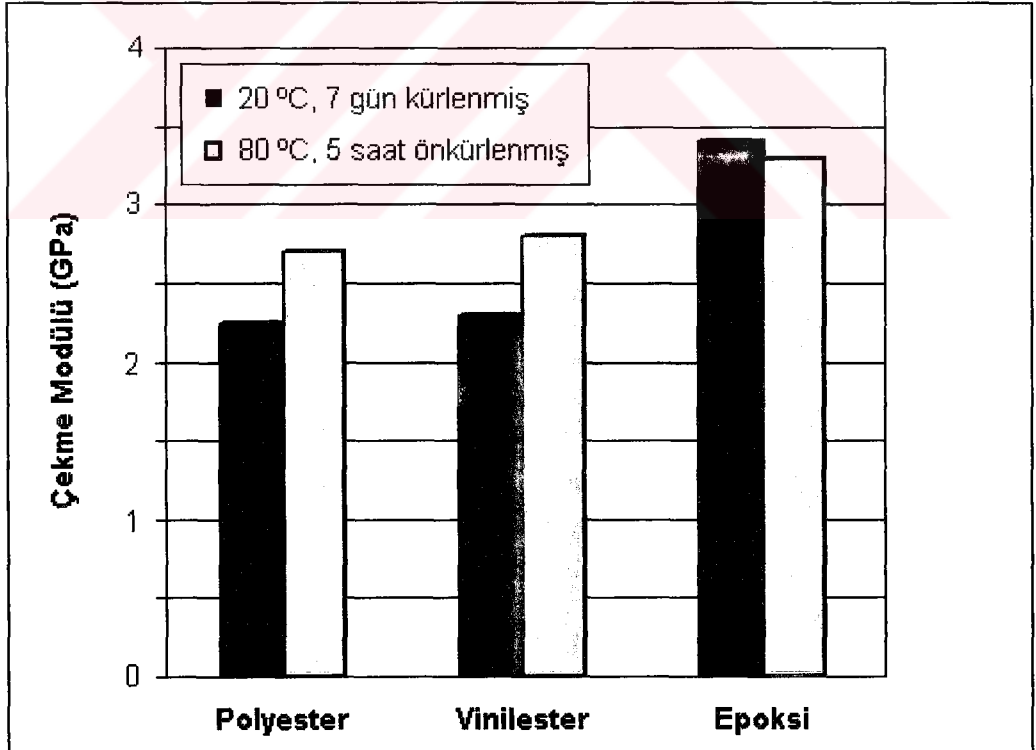
Vinilester reçinelerin son zamanlarda çok popüler olmalarının asıl nedeni, tasarımcıların ve imalatçıların, yüksek performanslı kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan reçineleri, geleişen teknolojiye paralel olarak daha modern ve özellikli hale getirme çabalarıdır. Bunu yaparken daha pahalı bir malzeme olması sebebiyle imalata fazladan maliyet külfeti getirebilecek epoksi reçinelerin geleiştirilmesi yerine, daha ucuz olup çok daha fazla kullanılan ve özellikleri çok daha iyi bilinen polyester reçinelerin geleiştirilmesi yoluna başvurulmuştur.

Vinilester reçine kullanımında, eğer kompozit malzemeden çok iyi mekanik ve kimyasal dayanım özellikleri bekleniyorsa, bu değerlere ancak bu reçinenin yüksek kürleme sıcaklıklarında imal edilmiş haliyle ulaşılabileceği hiçbir zaman akıldan çıkarılmamalıdır.

şekil 3.19 ve şekil 3.20’de en çok kullanılan üç reçinenin (polyester, epoksi, vinilester) ekme dayanımları ve modüllerinin farklı kürleme sıcaklıklarında karşılaştırmaları verilmiştir[8].



şekil 3.19 Farklı sıcaklık ve sürelerde kürlenmiş üç farklı reçinenin çekme dayanımlarının karşılaştırılması.



şekil 3.20 Farklı sıcaklık ve sürelerde kürlenmiş üç farklı reçinenin çekme modüllerinin karşılaştırılması.

Kompozit malzemelerin imalatı ve hazır kalıplama bileşenleri için matris malzemesi olarak, polyester, epoksi ve vinilester reçinelerden başka reçinelerde kullanılmaktadır. Bunlardan fenolik reçineler veya fenol-formaldehit reçineler bu yüzyılın başından beri yaklaşık yüz yıldır kullanılmaktadır. Sertleşmeleri ısı enerjisiyle gerçekleşme ve kalıplanmaları için basınç gerekmektedir. Fenolik reçinelerin ısı stabiliteleri, elektrik özellikleri, suya ve alkaliler dışındaki kimyasal maddelere dayanımları çok iyidir. Bu reçineler 300 °C'ye kadar sürekli, asbest lifleri ile takviye edilmeleri halinde ise kısa süreli olarak 1000 °C'ye kadar kullanılabilirler.

Silikon reçineler, diğer reçinelerden farklı olarak yapılarında karbon yerine inorganik silikonlar bulunan malzemelerdir. Bu reçineler cam veya asbest gibi malzemelerin keçe formlarıyla takviye edilerek hazır kalıplama bileşenlerinin imal edilmelerinde kullanılırlar. Epoksi reçine sistemlerindeki benzer yapıda hazırlanan hazır kalıplama bileşenleri, solvent buharlaştıktan sonra katlarına sıcak pres uygulanarak sertleştirilirler.

Mekanik ve elektriksel özelliklerini çok az değişikliklerle 250 °C'ye kadar koruyabilen silikon esaslı reçinelerin kullanımları, mekanik dayanımlarının diğer reçinelere göre daha düşük ve maliyetlerinin de genelde daha yüksek olması nedeniyle kısıtlı olmaktadır.

Bunlara ilave olarak poliimid, melamin formaldehit, üre formaldehit reçineler gibi farklı özellikleri ve bunlara bağlı olarak olumlu ve olumsuz yönleriyle liflerle takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılan çeşitli polimer matris malzemeleri mevcuttur[3].

4. ASKERİ SAHİL GÜVENLİK BOTLARINDA KOMPOZİT MALZEME KULLANIMI UYGULAMASI (“KAAN” SINIFI BOTLAR)

4.1. Genel

Bu tez çalışmasına konu olarak seçilen “Askeri Sahil Güvenlik Botları”, T.C. Sahil Güvenlik Komutanlığı’nın envanterinde halen mevcut olan ve imalatında kompozit malzeme kullanılan “Süratli Müdahale Botları” (KAAN 15 Sınıfı Bot) ve “90 Tonluk Botlar” (KAAN 29 Sınıfı Bot) olarak ele alınacaktır. Bu botların imalatında kullanılan malzemeler ve üretim aşamaları da bu bölümde ele alınacaktır.

4.2. Sahil Güvenlik Komutanlığı

“Sahil Güvenlik Komutanlığı, bütün sahillerimizin, karasularımızın, iç sularımız olan Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile liman ve körfezlerimizin güvenliğini sağlamak, ulusal ve uluslararası hukuk kuralları uyarınca hükümler hakkına sahip olduğumuz denizlerde bu hak ve yetkilerin Deniz Kuvvetleri Komutanlığı’nın genel sorumluluğu dışında kalanlarını kullanmak, deniz yoluyla yapılan her türlü kaçakçılığı önlemek ve izlemek amacıyla 9 Temmuz 1982 tarihinde 2692 sayılı yasa ile kurulmuş bir güvenlik kuvvetidir.”

Sahil Güvenlik Komutanlığı’nın Görevleri:

- Sahil ve karasularımızı korumak ve güvenliğini sağlamak,
- Denizlerimizde can ve mal emniyetini sağlamak,
- Arama ve Kurtarma faaliyetlerini icra etmek (SAR: Search And Rescue),
- Denizlerimizde her türlü kaçakçılık, kaçak balıkçılık deniz kirliliğinin önlenmesi ile ilgili kanunları uygulamak,
- Emredildiğinde Deniz Kuvvetleri Komutanlığı emrinde ülke savunmasına katkıda bulunmaktır.

Yukarıda yazılı bu görevlerin bir kısmının yerine getirilebilmesi maksadıyla, Süratli Müdahale Botları için 14 Haziran 1997 tarihinde ve 90 Tonluk Botlar için de 11

Şubat 1999 tarihinde Yonca-Onuk A. Ortaklığı ile gerekli sözleşmeler yapılarak üretime başlanmıştır[18].

4.3. Üretici Firma ve “MRTP” Konsepti

Yonca-Onuk A.O., 1986 yılında, ileri kompozit malzemelerden yüksek performanslı tekneler tasarlamak ve üretmek amacıyla Tuzla/İstanbul’da kurulmuştur[19]. Sahil Güvenlik Komutanlığı’nın görevlerini ifa etmesi için ihtiyaç duyduğu KAAN 15 Sınıfı ONUK MRTP15 (Multi Role Tactical Platform : Çok Amaçlı Taktik Platform) ve KAAN 29 Sınıfı ONUK MRTP29 projeleri Yonca-Onuk A. Ortaklığı tarafından gerçekleştirilmektedir.

4.3.1. Konsept Tanımı

Her türlü işin başlangıç noktası beklentilerin tanımıdır. Yeni bir uçak, otomobil veya geminin tasarımına başlarken, önce mamulden beklenenlerin listesi mutlaka yapılmalıdır. Esasında bu durum her mamul için geçerlidir. Ama özellikle bir taşıt için görev-ağırlık-performans-maliyet çemberi tasarımın temelini teşkil eder. İfa edilme olasılığı az olan görevler için “bulunsun” diye özellikler eklendiğinde, gereksiz büyüme ve dolayısıyla performans ve/veya maliyette kaçınılmaz başarısızlık hemen geliverir. Bu yüzden görev titizlikle tanımlanarak işe başlanması şarttır. Daha sonra öncelik sırasına göre sıralanmış bu beklentilerin birbirleriyle ilişkileri saplanır. Bu aşamada bazı isteklerden veya performans/maliyet hedeflerinden vazgeçilmesi bile olasıdır. Tüm bu çalışmalar yürütülürken, rakiplerin projenin ekonomik ömrü içerisinde ortaya çıkarabilecekleri olası rakip mamuller ve teknolojiler de titizlikle incelenmelidir.

Performans-maliyet ilişkisi bir taşıtın temel kriterlerinden biridir. Aynı taşıt çok hafif ama çok pahalı veya çok ağır ama çok ucuz yapılabilir. Ancak tüm reel projelerde aşılması gereken bir bütçe ve ağırlık sınırı belirlenmiştir. Bu iki üst sınır, ikinci bölümde de belirtildiği üzere, tanımlanan konseptin işe yarayıp yaramayacağını belirler. Böylece konsepti tanımlanmış bir mamulün artık teknik çözümlerine sıra gelmiştir. Nihai teknik çözümler, birbirleriyle ve ana konsept ile uyum içerisinde, her birinin üzerinden tekrar tekrar gidilerek oluşturulurlar. Sonunda mamul ilk defa olarak, bir hedef değil de bir teknik çözüm olarak ortaya çıkar. Maliyet ve ağırlık sınırları gerekirse defalarca ayarlanabilir.

4.3.2. MRTP Konseptinin Geliştirilmesi

1986 yılında Yonca-Onuk A.O. daha önce Magnum Marine tarafından ortaya konan bir tekne konsepti YONtech45'i benimsemiştir. Üstü açık deniz performansı ve spor görünümünün yanı sıra, güverte altında megayat standartlarında konfor sağlayabilecek bu teknenin ön tasarımı sonucu toplam boy 13.23 m ve en ise 4.04 m olarak seçilmiştir. 1989 yılında tamamlanan ilk tekne dizayn ağırlığından 60 kg fazla olarak çıktığı tecrübeye , seyir dizayn hızının 3 knot daha fazla yaparak 40 knot'a erişmiştir. 1989 ortalarında YONtech45'in üstü kapalı tipinin geliştirilmesi çalışmalarına başlanmış ve bu çalışmalar sonucu YONtech45/Interceptor konsepti doğmuştur. 1989 yılında tamamlanan bu konsept ile 1990 yılında tam yükte 57 knot sürata ulaşılmıştır.

Deniz ve hava şartlarının kötü olduğu durumlarda bile bir askeri tekne görev verildiği zaman denize açılmak zorundadır. Buna ilaveten ekibi görev yerine gittiğinde görevi ifa edebilecek durumda olmalı ve en sonunda ekip tekneyi eve geri götürebilmelidir. Ekip faktörü olarak tarif edilen oranlar, her noktada ekibin görev yapabilecek durumdaki yüzdesinin ifadesidir. İyi bir ekip faktörü elde edebilmek için bir askeri tekne, bir yatın sağlayabileceğinden çok daha üstün konfor ve denizciliğe sahip olmak zorundadır. Belki çözüm her zaman en verimli form değildir ama tarif edilen özel amacı sağlayabilecek olandır. Bu sebeplerin ışığı altında, kullanılabilir iç hacim ihtiyacı, dizayn ağırlığı ve dolayısıyla beklenen performansla uygun güç seçimi dikkate alınarak, sekiz kişiyi üstün konfor şartlarında ağırlayabilecek bir iç hacme sahip olan YONtech105 konsepti geliştirilmiş ve bu konseptin su altı formu askeri amaçlara yönelik olarak konforu ve denizciliği hedef alan tekne ailesinden seçilerek Yonca-Onuk A.O. tarafından tasarlanmıştır.

Yukarıda belirtilen performansın elde edilebilmesi için, hafif ve aynı zamanda sağlam bir yapıya ihtiyaç vardır. Hafif bir yapı aynı zamanda belli bir hız hedefi için gerekli makine gücünü de sınırlı tutacağından bir ölçüde ekonomik olmaktadır. YONtech105 konsepti için bu hafif ve sağlam yapıyı sağlayacak, bakım/tutum/tamir yönlerinden de son derece avantajlı olan kompozit yapıya karar verilmiştir. 30 Ağustos 1992 tarihinde denize indirilen tekne "bu güne kadar yapılmış hiçbir teknenin, hiçbir ayrıntısının, hiçbir ölçüde kopya edilmediği tek teknedir".

1993 yılında YONtech45 konseptinin kalıbı 15 m'ye uzatılarak, askeri görevler için silahlı uygulamaların çalışmalarına başlanmıştır. Daha önce yapılan çeşitli uygulanmaların da analizi sonucunda, 60 knot civarında bir performans hedeflendiğinde, 18 m'den büyük teknelerin personele zarar verebilecek düşey

ivmelere maruz kaldığı ve bu tip bir performans beklendiğinde 15-16 m'nin ideal boy olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mevcut uygulamalarda bu boydaki teknelerin çok azının silahlı olduğu görülmüştür.

Mevcut botlardaki silahların konulduğu yerler incelenerek, kötü deniz şartlarında stabilize taretin konulabileceği en uygun yerin ağırlık merkezi ve onun hemen gerisi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu analiz sonucunda 30 mm'ye kadar toplar, 40 mm'ye bomba atarlar ve küçük boy tel güdümlü mermilerin 15 m'lik bota monte edilebileceği sonucuna varılmıştır. İşte "MTRP (Multi Role Tactical Platform: Çok Amaçlı Taktik Platform)" konsepti Yonca-Onuk A.O tarafından bu şekilde meydana getirilmiş ve ilk olarak 15 m'lik botlarda kullanılmıştır.

İlk olarak 15 Haziran 1998 tarihinde denize indirilen ONUK MRTP15, 14,5 ton boş ağırlığı ile dünyada bilinen bu sınıftaki botlardan yaklaşık 2 ton daha hafif olup en yakın rakibinden 2-4 knot daha süratli bir teknedir. 50 knot mertebesindeki süratiyle yüksek manevra kabiliyetine sahip olan ONUK MRTP15, Yonca-Onuk A.O. tarafından, seri imalat ile 3 ayda tamamlanarak 28 iş gününde bir teslim yapılabilecek teknoloji ile üretilmektedir.

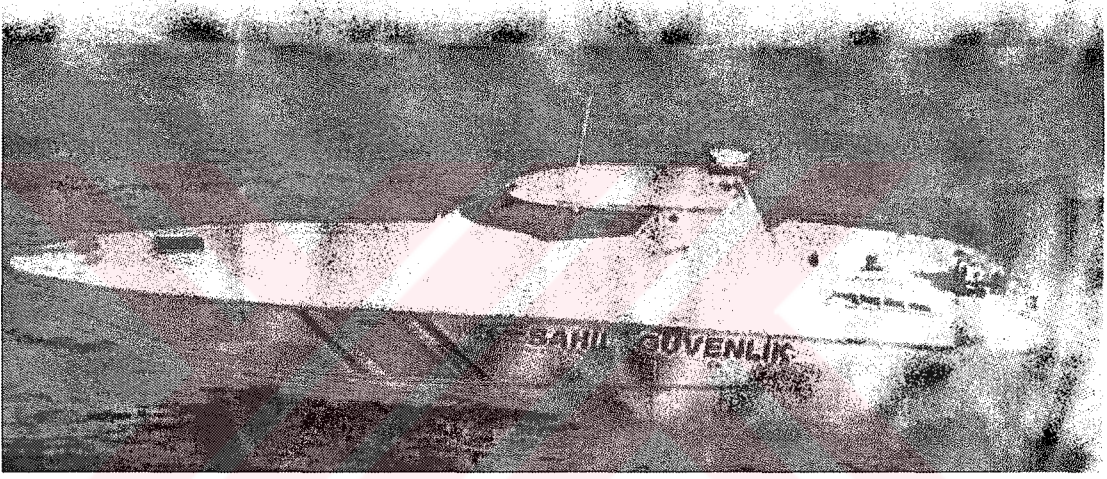
1998 yılında Sahil Güvenlik Komutanlığı'nın "90 Tonluk Sahil Güvenlik Botu" ihtiyacı için tasarlanan edilen ve tamamıyla Türk dizaynı olan ONUK MRTP29 konsepti ise, üstün denizcilik karakteristiklerini hedefleyen ve 45 knot'un üzerinde hıza sahip olarak dizayn edilen bir konsepttir. Bu botun imalatı ise 7 ayda tamamlanmakta ve seri üretimde 2,5 ayda bir bot teslim edilebilmektedir[20].

ONUK MRTP29 konsepti, performans kriterleri açısından değerlendirildiğinde, şu anda 27-40 m arasında dünyada üretilen en yetenekli platform olma özelliğini taşımaktadır[26].

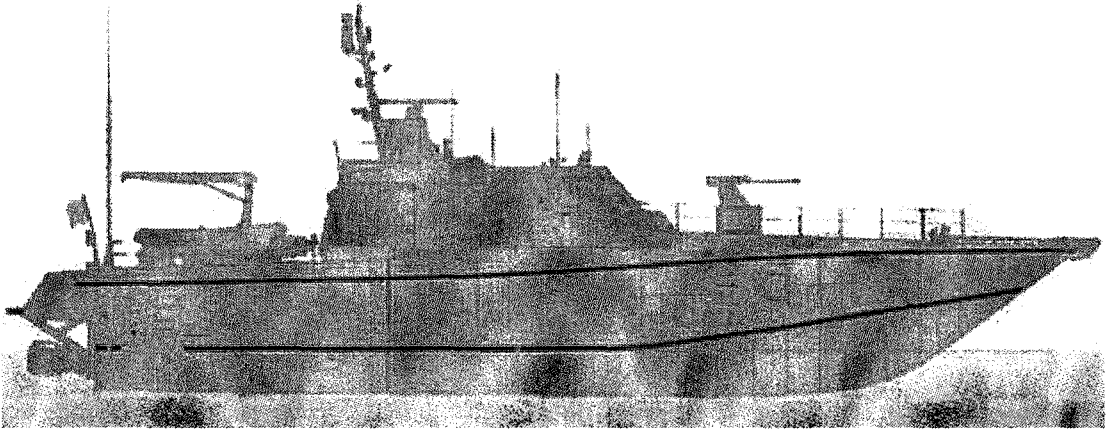
Yonca-Onuk A.Ortaklığı tarafından üretilen ONUK MRTP15 ve ONUK MRTP29 botları DNV (Det Norske Veritas) Norveç Loydu sertifikalı olup[20] bu botlar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de ve bu botlara ait yan kesitler Şekil 4.3 ile Şekil 4.4'te gösterilmiştir[19].



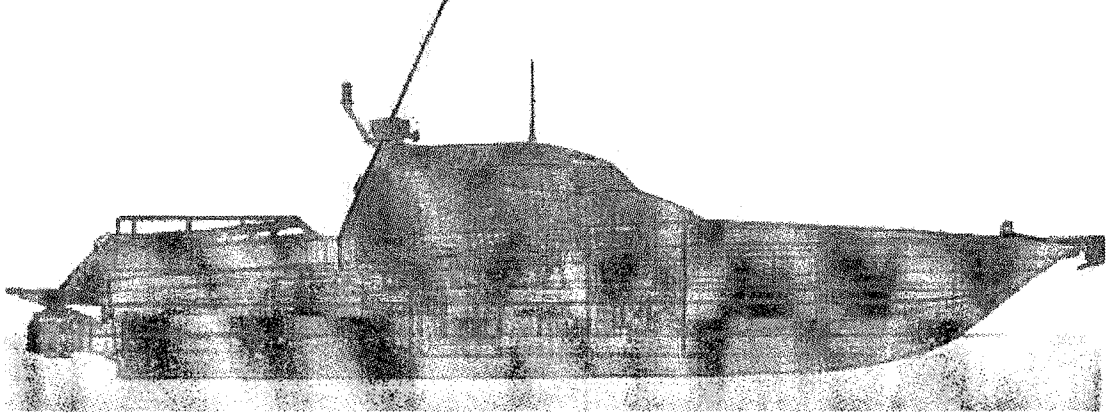
Şekil 4.1 ONUK MRTP29 90 Tonluk Sahil Güvenlik Botu.



Şekil 4.2 ONUK MRTP15 Süratli Müdahale Botu.



Şekil 4.3 ONUK MRTP 29'un yan kesiti.



Şekil 4.4 ONUK MRTTP15'in yan kesiti.

4.3.3. MRTTP: İleri Teknoloji Kompozit Çok Amaçlı Taktik Platform

“Kanunları uygulamak ve barışı korumanın en etkili yolu, potansiyel suçluları caydırabilecek en gelişmiş ekipmanlara sahip olmaktır”. MRTTP konseptinin amacı işte budur[21].

Soğuk savaştan sonra denizlerdeki savaş stratejisi, okyanus/açık denizlerdeki yoğun harekattan yerel, kıyısal ve özel görevlere dönüşürken deniz güçlerinin de yapılanması değişecektir. Açık deniz gücünün yeteneklerine dayanarak kıyının kontrolü varsayılmamalıdır. Çünkü bu güç ile kıyı kontrolü sağlanamayabilir. Kıyının kontrolü, o amaca yönelmiş özel beceri ve kaynakları gerektiren bir hedeftir. Kıyısal denizin kontrolü, liman koruma ve emniyeti özel bir güce ihtiyaç göstermektedir. Botların kullanılacağı ortam ve kıyısal suların kontrolünü araştıran çalışmalar sonucunda MRTTP programındaki hedefler şu şekilde ortaya konmuştur:

- (-) Maliyeti,
 - (-) Tekne büyüklüğünü,
 - (-) Mürettebat büyüklüğünü,
 - (-) Çeşitli izleri (signatures) asgariye indirmek,
- bunların yanında
- (+) Menzili,
 - (+) Görev yükünü,
 - (+) Hızı,
 - (+) Sığ sularda hareket kabiliyetini,
 - (+) Güvenilirlik/göreve hazır olma/bakım kolaylığını,

(+) Modülerlik/konfigürasyon değiştirme özelliğini,

(+) Çok amaçlılık (multi-mission) kabiliyetini azamiye çıkarmak için ileri kompozit yapı ve teknolojileri kullanılarak “Çok Amaçlı Taktik Platform”u geliştirmek ve kanıtlamak.

MRTTP programı teknolojik ilerlemelerin çabuk ve en uygun maliyet/performans oranı ile kullanılmasına imkan sağlar. İleri kompozit teknolojisinin “Çok Amaçlı Taktik Platform” programına sağladığı avantajlar şu şekilde belirtilebilir:

Ağırlık azaltılması

- Performans artışı,
- Artan taşıma kapasitesi,
- Yakıt Tasarrufu

Korozyon direnci

- Daha uzun hizmet ömrü
- Bakım/tutumdan tasarruf

Artan koruma

- Tehlikeden kaçınabilme ve fark edilmeme
- Balistik koruma

Azalan izler

- Makine titreşimi/akustik iz
- Manyetik iz
- Isısal iz[20]

4.4. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Sistemler ve Malzemeler

Amaca yönelik olarak üründen beklenen performans kriteri ve maliyet kısıtı göz önüne alınarak yapılan araştırmalar sonucunda KAAN Sınıfı botların imalatında kompozit malzeme kullanımının gerekliliği ve kompozit malzemelerin özellikleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bölümde imalatıta kullanılan sistemler ve malzemeler açıklanacaktır.

4.4.1. Üretim İçin Kullanılan Kalıp Yöntemi: Dişi Kalıp

Yüksek performanslı liflerin, reçinelerin ve çekirdek (core) malzemelerinin kullanılması, kalıplama seçimini yaparken daha ucuz ve sıradan malzemelerde kullanılanlara nazaran, daha kontrollü bir kalıplama sisteminin seçimini gerektirir. Eğer yüksek performanslı malzemeler için standart üretim malzemelerine göre tasarlanmış kalıp ve kalıplama sistemleri kullanılırsa, sonuçta ortaya çıkan ürün yüksek performanslı ve pahalı malzemelerden beklenen özellikleri karşılayacak nitelikte olmayabilir[8].

Kalıbın içi yüzü, bitmiş mamulün dış yüzünü oluşturuyorsa buna dişi kalıp denir. İmalat dış kattan başlayarak iç katlara doğru yapılır. Bu kalıp mamulün dış yüzünün daha pürüzsüz ve iyi olması gereken durumlarda kullanılır. Tekne üretiminde dişi kalıplar gövde ve güvertelerin imalatında kullanılır. Dişi kalıpların tam tersi özelliklere sahip olan erkek kalıplar ise kokpitler gibi iç yüzeyin düzgünlüğü istenen durumlarda kullanılır[3].

KAAN Sınıfı Botların gövdelerinin imalatında kullanılan kalıp dişi kalıptır. Bu şekilde iyi bir dış yüzey elde edilerek yüzey düzeltme ve pahalı bir boyama işlemlerine gerek kalmamıştır[22]. Erkek kalıplara göre daha pahalı olan dişi kalıplar, çok sayıda imalat yapılacak durumlarda parça başına kalıp maliyetini azaltacağından dolayı, seri üretime uygundur.

Dişi kalıbın kullanılabilmesi için ilk önce mamulün kopyası olan “master plug”ın yapılması gerekir[8]. Bu dişi kalıbın üretilebilmesi için kullanılan bir erkek kalıptır. Plug üretildikten sonra yüzeyinin düzgünlüğü sağlanır ve kalıp ayırıcılarla kaplanır[6]. Daha sonra dişi kalıp master plugın üzerine inşa edilir.

Dişi kalıbın tasarımı daha sonra karşılaşılabilecek problemleri engelleyebilmek maksadıyla çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Kalıp yüzeyi kusursuz olmalıdır. Plugdan çıkarılan kalıp zımparalanarak yüzeyi düzgün bir hale getirilir. Parlak ve düz bir yüzey elde edildiğinde, yüzeyde oluşabilecek kusurlar mat bir yüzeye göre daha kolay fark edilerek giderilebilir. Kalıp ayrıca mamulün inşası bitikten sonra içinden çıkarılabilmesine imkan verecek şekilde üretilmeli, gerekirse parçalı kalıplar kullanılmalıdır. Tekne dişi kalıbın içinde imal edileceği için, içinde çalışmaya müsaade edecek sağlamlıkta inşa edilmesi gerekir. Ayrıca yüzeyde muhtemel yorulma çatlaklarının oluşmasını engellemek için yeteri kadar dış destek sağlanmalı ve yeterli kalınlıkta imal edilmelidir. Bitirilen kalıp master plugdan çıkarılmadan önce mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıkta birkaç gün bekletilmelidir[8].

4.4.2. Gövdenin İmalatında Kullanılan Yapı: Tek Cidarlı Konstrüksiyon (Single Skin)

Yapısı içten kirişlerle takviye edilen, tek deriden (single skin) oluşan sistemlerdir. Dışı kalıba ihtiyaç gösteren bu sistem çok iyi bir mukavemet/ağırlık oranı sağlayabilmektedir. Tez çalışmasına konu olan Sahil Güvenlik Botlarının gövde imalatı tek cidarlı konstrüksiyon ile yapılmaktadır.

Teknenin mukavemetinin en fazla olması gereken yerleri karinası ve bordasıdır. Bu bölgelerin imalatında mukavemet/ağırlık oranı çok daha iyi olan bu sistemin kullanılması uygundur. Bu kısımların maruz kalabilecekleri gerilmeler ve beklenen dayanım değerleri çok iyi hesaplanarak, uygun liflerin reçineyle tatbiki sonucunda yapı meydana getirilir. Su jetlerinin tekneye monte edildiği kısımlar ve spray raillerin bulunduğu kısımlara fazladan kat atılır[22].

Tek cidarlı konstrüksiyon uygulamalarında takviyelerin en az %40'ı sürekli liflerden oluşmalıdır. Bu panellerin minimum kalınlıkları aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanır:

$$t = \frac{t_0 + k_0 L}{\sqrt{f}} \quad (4.1)$$

Bu formülde t panel kalınlığını, t_0 ve k_0 panel kalınlık katsayılarını, L tekne uzunluğunu, f ise gerilme faktörünü göstermektedir. Gerilme faktörü değeri, f, malzemenin maksimum çekme dayanımının yüz altmışta birine eşittir ($f = \sigma_u/160$).

Takviyelerin iki temel yöndeki elastisite modülleri arasındaki fark %20'den fazla olmamalı ve temel yönlenimleri en büyük kenara paralel olmalıdır. Bunlara ek olarak kompozit panellerin üzerindeki gerilme, kabul edilebilir gerilmeden daima düşük olmalıdır.

Panellerin eğilme oranı şu şekilde hesaplanır:

$$\delta = w / t \quad (4.2)$$

Formül 3.2'de δ panel eğilme faktörü, w panelin eğilmesi (mm), t ise panelin kalınlığıdır. Belirli bir basınç altında, belirli panel eğilme faktörlerini karşılamak için gerekli kalınlık :

$$t = 178 b \left(\frac{P}{\delta E(C_1 + \delta^2 C_2)} \right)^{0.25} \quad (4.3)$$

formülü ile hesaplanır. b panelin en kısa kenarı, P basınç, C₁ ve C₂ ise panel katsayılarıdır. C₁ ve C₂ panelin geometrisine ve kenar durumlarına göre değişen sabit değerlerdir[1,23].

İmalat için farklı lif/reçine oranlarından en iyi olanının tespiti için araştırmalar yapılmalı ve bu oranlar test edilerek en uygun dayanımı veren oran bulunmalıdır[24]. Kompozit katmanların tutarlı olması ve reçine ile takviye arasında hava kalmasına müsaade edilmemesi yapısal bütünlük için çok önemlidir. Gövdenin imalatı tamamlandığında, omurga, enine ve boyuna postalar yapıya eklenir[22].

4.4.3. Güverte ve Üst Binanın İmalatında Kullanılan Yapı: Sandviç Yapı (Sandwich Structure)

Sandviç yapı, iki ince, yüksek mukavemetli ve yüksek yoğunluktaki tabakanın arasına kalın, düşük mukavemetli ve düşük yoğunluktaki çekirdek (core) malzemesinin yerleştirilmesi ile oluşturulan yapıdır. Bu yapı bir ölçüde sembolik bir I kirişe benzetilebilir ve basit bir kalıpla imal edilebilir. Ağırlıktaki küçük bir artış ile teknenin gerekli yerlerinin rijitliği artırılır. KAAAN Sınıfı Botlarda bu yapının kullanılması ile daha az dayanım gerektiren yerlerin, tek cidarlı konstrüksiyona gerek duyulmadan ve daha basit bir şekilde imal edilerek, hem zamandan hem maliyetten hem de ağırlıktan tasarruf edilmiş olur.

Bu tür yapılarda takviyeler tüm yükleri karşılar, çekirdek malzeme ise takviyeleri belli bir uzaklıkta ve formda tutar[6]. Tek cidarlı konstrüksiyona benzer bir şekilde burada da kullanılması gereken liflerin en az %40'ı sürekli liflerden meydana gelmektedir. Ayrıca yine benzer şekilde kullanılacak takviyelerin kalınlığı denklem 4.1'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır[1,23].

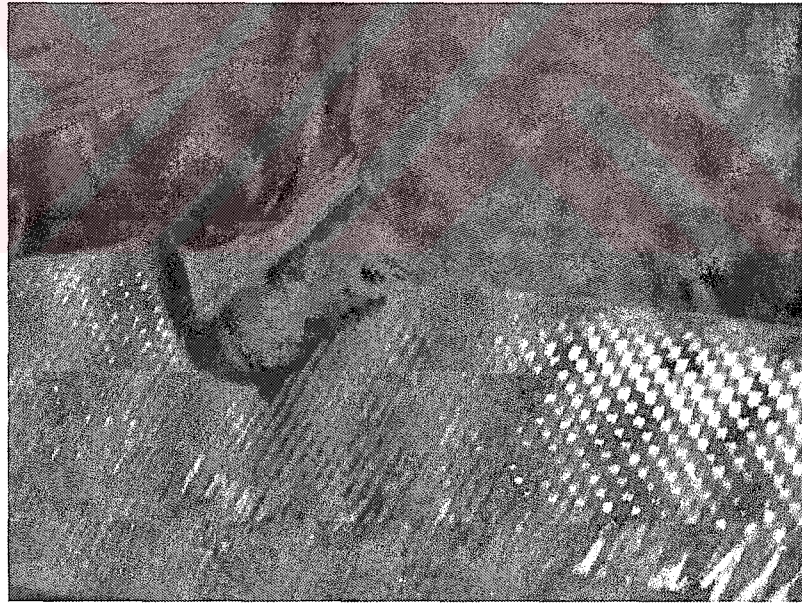
4.4.4. Sandviç Yapıda Kullanılan Çekirdek Malzemeleri

Kullanılabilecek çekirdek malzemelerinin her birinin değişik özellikleri olmasından dolayı farklı yerlerde, farklı malzemeler kullanılabilir. Sahil Güvenlik Botlarının perdelerinde (bulkhead) kullanılan poliüretan köpükler[25], diğer çekirdek malzemeleri ile karşılaştırıldığında, gövde yapısında ve enine ve boyuna postalarda, çok zayıf olmaları nedeni ile fazla kullanılmazlar. Çok gevrek bir malzeme olan

poliüretan köpüklerin yoğunlukları $0.03-0.045 \text{ gr/cm}^3$ arasında olup, çekme, basma ve çarpma dayanımları iyi değildir[8].

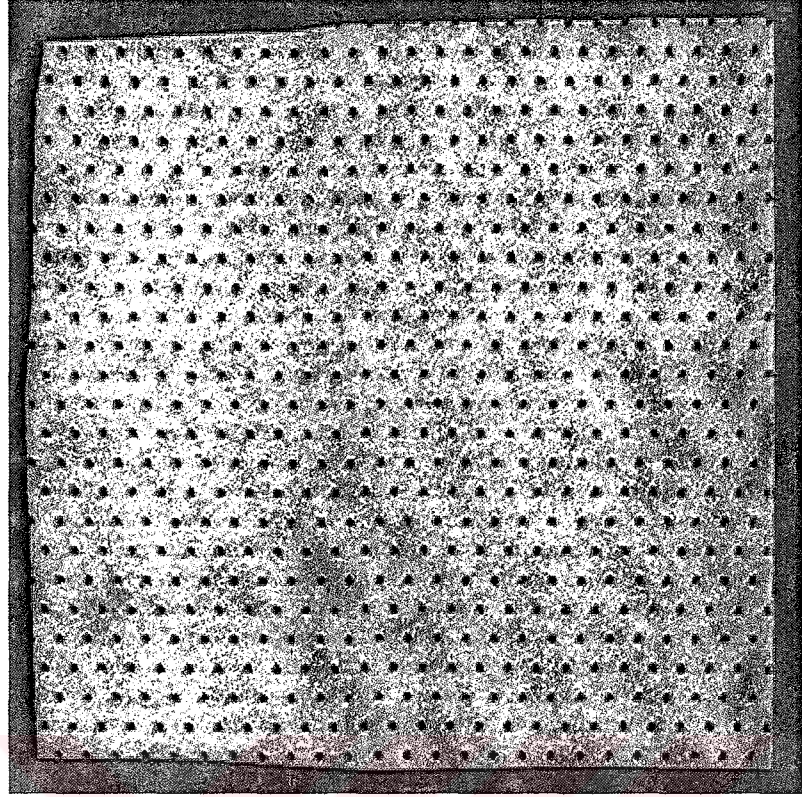
KAAN Sınıfı Botların enine ve boyuna postalarının ve dirseklerin imalatında çekirdek malzemesi olarak PVC köpükler kullanılır. PVC köpükler sandviç yapılarda en fazla kullanılan çekirdek malzemesidir. Suya karşı dirençleri gayet iyidir. Yoğunlukları $0.04-0.3 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen bu malzemenin dayanım özellikleri, aynı yoğunluğa sahip tüm çekirdek malzemelerinkinden daha fazladır. Çekme ve çarpma dayanımları gayet iyi olup basma dayanımları ise daha zayıftır[8]. Motor yatakları gibi esnemenin fazla olmaması istenen yerlerde, yoğunluğu daha yüksek olan PVC köpükler kullanılarak bu ihtiyaç karşılanmıştır.

Sandviç yapıların imalatında vakum altında elle yatırma yöntemi kullanılmaktadır. Tüm çekirdek malzemeleri üzerine, reçine emmelerini önlemek için önceden astar çekilir. Elyaf reçinelendikten sonra köpüğe daha iyi yapışması için üzeri naylon kaplanarak sandviç yapıya vakum uygulanır. Bu sistemle, imal edilen yapının satımının düzgün olması sağlanır[22]. Sandviç yapıda kullanılan E-Camı elyafına elle reçine yatırma yönteminin uygulanması Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 E-Camı elyafına elle yatırma yönteminin uygulanması.

Kullanılan diğer bir çekirdek malzemesi ise koramatır (coremat). Bu malzeme hem sandviç yapıda hem de tek cidarlı konstrüksiyonda kullanılabilir. Fakat bu malzemenin bir elyaf gibi düşünülmemesi gerekir. Ağırlığının 7-8 katı kadar reçine emen koramatlar fazla kat atılmak istenmeyen yerlerde takviye malzemesi şeklinde iki kat elyaf arasında kullanılabilir. Çok fazla reçine emdiği için, kullanıldığı bölgedeki esnemeyi de önleyen[22] koramat Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Koramat.

4.4.5. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Takviye Malzemeleri

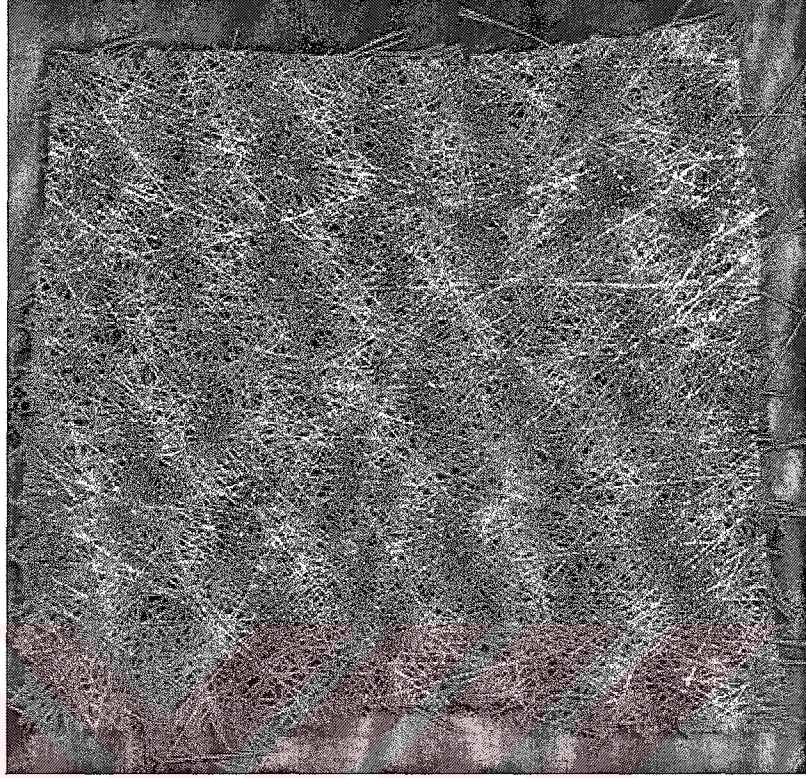
Teknelerin imalatında, tek cidarlı konstrüksiyon veya sandviç yapının gerekli yerlerinde, mukavemet hesapları sonucu gerekli dayanımı sağlayabilecek değişik formlarda keçe, E-Camı, Kevlar49 ve karbon lifleri kullanılmaktadır.

4.4.5.1. Keçe Kullanımı

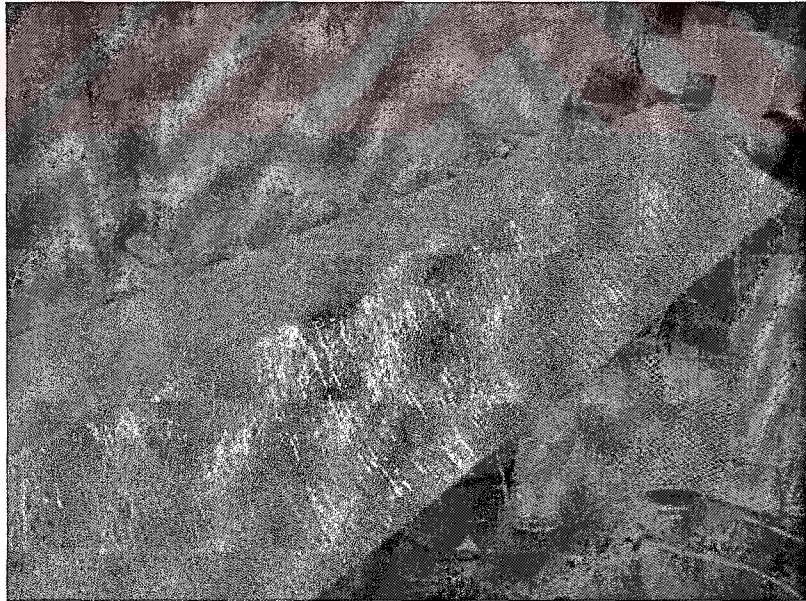
İleride laminasyon uygulamasında da bahsedileceği üzere, Sahil Güvenlik Botlarının imalatında kalıbın üzerine atılan ilk kat jel-kottur (gel-coat). Keçe burada jel-kot uygulamasından hemen sonra uygulanan katı oluşturur. İşlemesi çok kolay olan keçenin burada uygulanması sayesinde hem en dış katman olan jel-kot güçlendirilir hem de bundan sonra uygulanacak katmanlar için zemin teşkil edilmiş olur. Eğer jel-kottan hemen sonra kumaş elyaf kullanılsaydı, keçeden çok daha kuvvetli olan kumaş elyafların büzülmesi ile birlikte en dış katman olan jel-kotun yapısına dolayısıyla malzemenin bütünlüğüne zarar verilebilirdi.

Keçeye tatbik edilen reçine oranı, 1 kg keçeeye 2.5-3 kg vinilester reçinedir[25]. Elle yatırma yönteminin kullanıldığı keçelere bu miktardan daha az verilirse keçe kuru kalabilir. Elde edilen kompozit katmanın yüksek reçine/lif oranı sayesinde, en dış katmanlara uygulandığı zaman, keçeler aynı zamanda hava ve çevre şartlarına karşı dayanımı sağlayacak yapıyı da oluştururlar. Sahil Güvenlik Botlarının

retiminde kullanılan keçe Şekil 4.7’de ve keeye uygulanan elle yatırma yöntemi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Keçe (CSM).



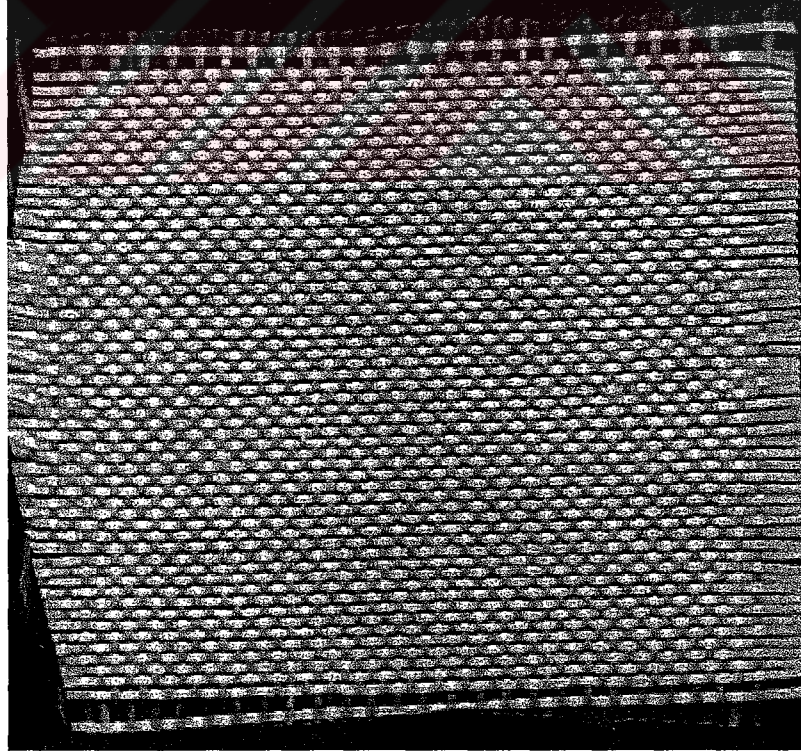
Şekil 4.8 Keçeye elle yatırma yönteminin uygulanması.

4.4.5.2. E-Camı Liflerinin Kullanımı

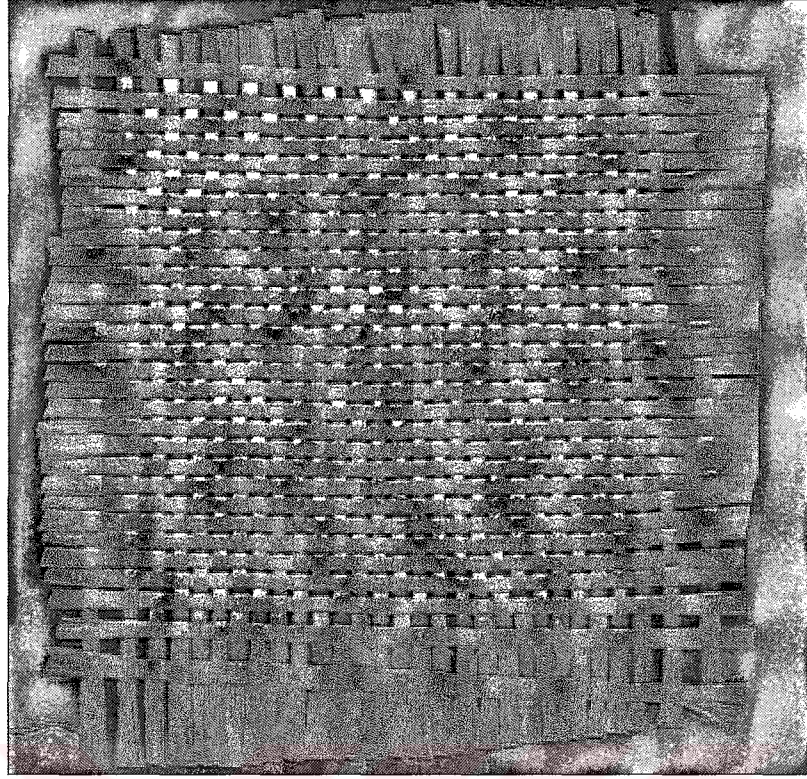
E-Camı lifleri uygulamada en yaygın kullanılan lifler olup, tekne imalatında kullanılan toplam elyafların yaklaşık olarak %95'i bu liflerden üretilir[8]. Maliyet kısıtının olduğu her proje gibi, MRTP konseptinin uygulamasında da E-Camı liflerinin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri, çok fazla miktarda üretildiği için fiyatının düşük olmasıdır. Ayrıca E-Camı liflerinin bu konseptte uygulanmasının çok önemli diğer bir nedeni de, yapısal bütünlük açısından Kevlar49'un düşük olan basma dayanımını tamamlayarak, teknenin dayanımını arttırmasıdır[26].

Polimer matris malzemeleri konusunda da değinilen yüksek mekanik özelliklere ve çevresel etkenlere karşı yüksek dayanımın aynı anda bir arada bulunmasının zorluğu, yüzeye yakın katmanlarda daha fazla reçine emebilen E-Camı elyaflarının kullanımı ile aşılmıştır. Uygulamada kullanılan 300'lük (300 gr/m^2) E-Camı elyafı Şekil 4.9'da, 600'lük E-Camı elyafı da Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Kullanılan E-Camı elyafına ek olarak, sandviç yapının gerekli yerlerinde "rovimat" adı verilen cam lifleri ile keçenin bir arada bulunduğu elyaflar da kullanılmaktadır[22]. Dayanımı E-Camı elyafından daha az olan 900 gr/m^2 'lik rovimat Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



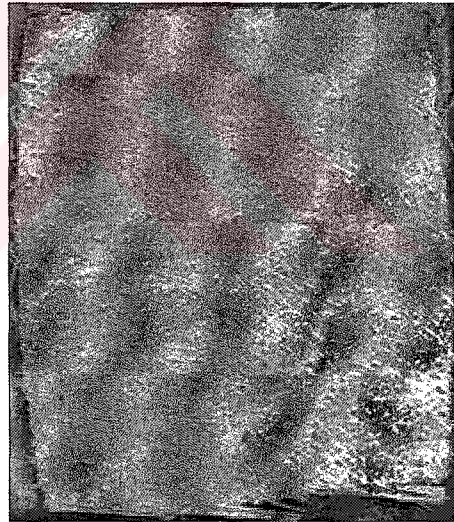
Şekil 4.9 300'lük E-Camı elyafı.



Şekil 4.10 600'lük E-Camir elyafı.



(a)



(b)

Şekil 4.11 Rovimat (a) ön yüzü (b) arka yüzü.

4.4.5.3. Kevlar49 Kullanımı

İleri kompozit malzemelerden üretilen yüksek performanslı tekneler, deniz şartlarında birçok yüklere maruz kalırlar. Teknenin en fazla dayanıma ihtiyaç gösteren bölgesi olan gövdenin tasarımı ve malzemesinin seçimi çok önemlidir. Tamamıyla cam lifleri, Kevlar49 veya karbon lifleri kullanılması mı yoksa bunların, maliyet kriteri göz önünde tutularak melez (hybrid) bir yapıda mı inşa edilmesi tasarımın önemli bir aşamasını teşkil eder.

“Yüksek Performanslı Tekneler İçin Gelişmiş Kompozit Yapılardan Üretilmiş Gövde” projesinde, tek cidarlı konstrüksiyon ile üretilen tekne gövdesinde Kevlar49 ve E-Camı liflerinden oluşan melez yapının kullanılmasının uygunluğu test edilmiştir. Kværner Mandal a.s. (Mandal/Norveç) tersanesi tarafından 12 m boyunda ve çift gövdeli (catamaran) olarak inşa edilen deney teknesinin iskele tarafı cam takviyeli polyesterden, sancak tarafı ise Kevlar49 ve E-Camı liflerinin beraber kullanıldığı melez kompozit yapıdan inşa edilmiştir.

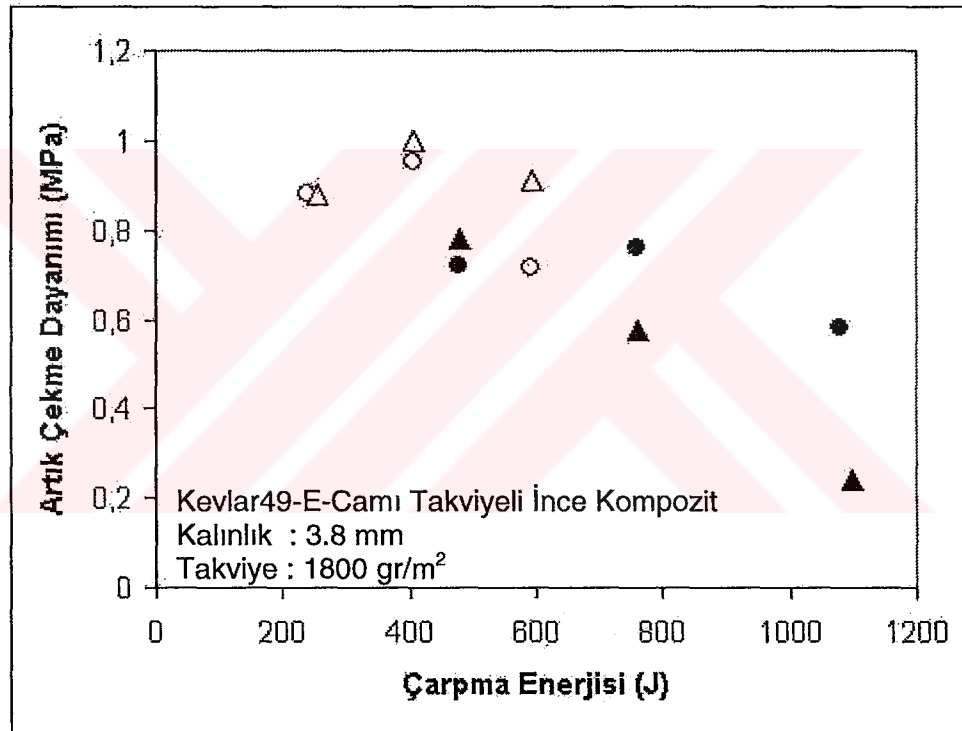
Herhangi bir amaç için kompozit malzemeden üretilen teknenin istenilen performansı sağlayabilmesi, üretiminde kullanılacak en uygun yapının tespiti, malzemenin özelliklerinin ve maruz kalabileceği yüklerin belirlenebilmesi ile mümkün olacaktır. Yüksek performanslı teknelerde kritik zorlanmalar, genelde yüksek hızlarda, yüksek dalgaların gemiye vurması ile açığa çıkar. Bunu modellemek amacıyla imal edilen deney teknesi 10 m yükseklikten çeşitli açılar ile suya bırakılmıştır. Bu deney sonucunda, her iki gövdede de çekme ve basma kuvvetleri sonucu meydana gelen birim uzamaların aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Ayrıca deneyin sonucunda Kevlar49-E-Camı lifleri kullanılarak imal edilen sancak tarafındaki gövdenin, tamamıyla E-Camı lifleriyle imal edilen iskele tarafındaki gövdeye nazaran daha yüksek gerilim/birim uzama oranına sahip olduğu tespit edilmiştir[27].

İkinci bölümde de belirtildiği gibi, tez konusu olarak ele alınan Sahil Güvenlik Botları için ağırlık ve maliyet kısıtlarının çok iyi belirlenmesi ve dengelenmesi gerekir. Kullanılacak malzemelerle elde edilecek tekne gövdesinin kalınlığı da ağırlık kısıtının belirlenmesinde önemli rol oynayacaktır. DNV kurallarına göre, yukarıdaki deney teknesi boyutundaki geleneksel yüksek performanslı deniz taşıtları için gerekli minimum panel kalınlığı 8 mm olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni teknenin denizdeki kütük, balık kasaları v.b. gibi yüzen nesnelere çarpması sonucu doğacak zararları önlemektir. Diğer bir nedeni de dalgalar tarafından teknenin yana doğru sürüklenmesinin engellenmesidir.

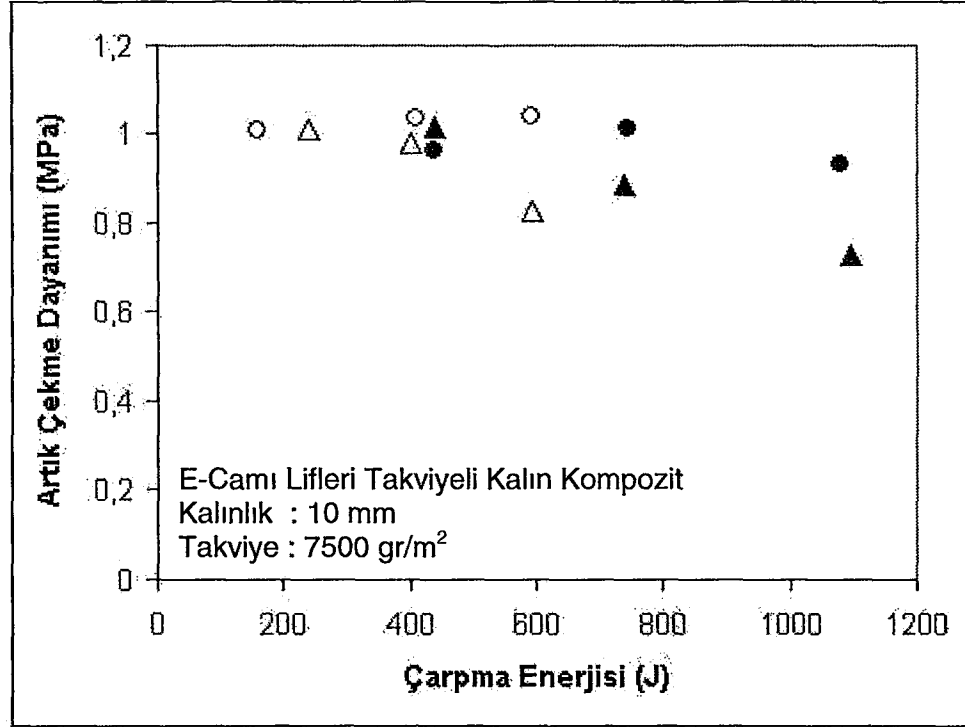
Denizde meydana gelen çarpmaların doğuracağı yüklerin tam olarak belirlenmesi mümkün olmasa da farklı kalınlıklarda, farklı malzemelerden imal edilmiş test numuneleri çarpma testine tabi tutularak, malzemelerin dayanımları hakkında bilgi edinilebilir. Bu amaçla biri 10 mm kalınlığında, 7 kompozit katmandan oluşan (800gr/m^3 kumaş + 100 gr/m^3 keçe) E-Camı liflerinden, diğeri de 3.8 mm kalınlığında Kevlar49-E-Camı liflerinden imal edilmiş iki farklı malzeme çarpma testine tabi tutulmuştur. Test iki numunede de 1100 J'den fazla çarpma enerjisi sağlayacak

şekilde, 5.27 m'den fazla yüksekliklerden 11.8 ve 23.4 kg'lık iki farklı ağırlığın 24° açı ile plakalar üzerine bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.12 ve 4.13'te görüldüğü gibi, çarpma testinde en yüksek çarpma enerjisi üreten çarpma sonucunda kalın kompozit malzemenin artık dayanımı %20 düşerken, Kevlar49-E-Camı lifleri ile üretilen kompozit malzemenin artık dayanımı %50 oranında azalmaktadır. Görüldüğü gibi Kevlar49-E-Camı lifleri takviyeli melez kompozitin çekme dayanımı, E-Camı lifleriyle takviyeli kompozite nazaran daha düşüktür. Daha ince olan melez kompozit yapının kalınlığı artırılmalı ve belki de elyafların laminasyon sırası çarpma dayanımını arttırmak için değiştirilmelidir[27]. Fakat melez kompozitin kalınlığının diğerinin yaklaşık 1/3'ü olduğu düşünülürse bu konu, üzerinde çalışılmaya değer bir konudur.



Şekil 4.12 Çarpma sonucu Kevlar49-E-Camı takviyeli ince kompozitteki artık çekme dayanımı. Boş semboller 11.8 kg, dolu semboller 23,4 kg'lık yükleri temsil etmektedir. Yuvarlak semboller test plakasının ortasına, üçgen semboller kenarına çarptığı noktaları göstermektedir.



Şekil 4.13. Çarpma sonucu sadece E-Camı takviyeli kalın kompozitteki artık çekme dayanımı. Boş semboller 11.8 kg, dolu semboller 23,4 kg'lık yükleri temsil etmektedir. Yuvarlak semboller test plakasının ortasına, üçgen semboller kenarına çarptığı noktaları göstermektedir.

DNV kurallarına göre yüzey katmanlarında oluşan kritik birim uzamaları şu şekilde belirtilmiştir:

- E-Camı katmanlarının maksimum çekme birim uzaması : %0.13
- Kevlar49 katmanlarının maksimum çekme birim uzaması : %0.13
- E-Camı katmanlarının maksimum basma birim uzaması : %-0.33
- Kevlar49 katmanlarının maksimum basma birim uzaması : %-0.09

Kompozit malzemenin yüzeydeki çekme ve basma birim uzamaları %0.13'ten fazla olmamalıdır. Kevlar49'un basma birim uzaması %-0.09 olduğu için bu malzeme kompozit malzemenin dış yüzeyinde kullanılmamalıdır. Bunun yerine yüzey tabakalarda cam lifleri, orta katmanlarda Kevlar49 kullanıldığı bir yapı daha uygun olacaktır.

Birim uzama merkezden yüzeye doğru artış gösterir ve Kevlar49 katmanlarının kompozit malzeme içindeki kalınlıkları:

$$t_k = t \alpha \quad (4.4)$$

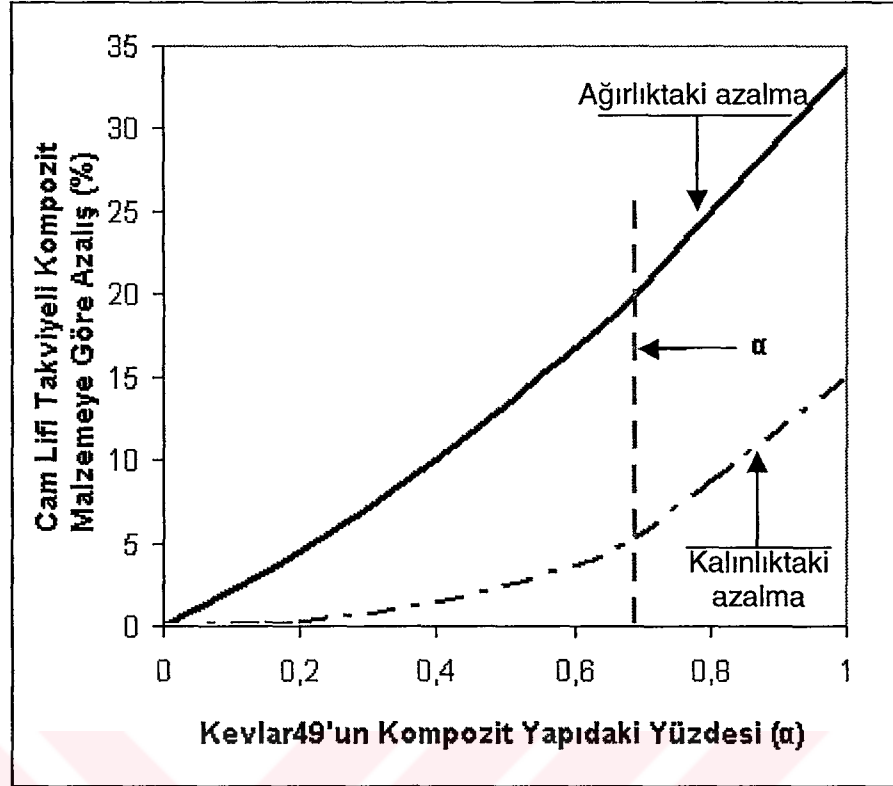
formülü ile hesaplanır. Burada t kompozitin toplam kalınlığını, α ise Kevlar49'un maksimum basma birim uzamasının cam liflerinin maksimum çekme birim uzamasına oranını gösterir:

$$\alpha = \varepsilon_{\max}^{comp} / \varepsilon_{\max}^{ten} \quad (4.5)$$

Denklem 4.4'ü $\alpha = t_k/t$ şeklinde yazarsak bunun aynı zamanda Kevlar49'un kompozit malzemede kullanılan ağırlık lif yüzdesi olduğunu görürüz. Burada $\alpha=0.69$ olarak belirlenmiştir (0.09/0.013). Bu hesaplamalar takviyelerin kompozit malzeme içindeki oranının %30 olduğu durumlar için yapılmıştır.

Melez kompozit malzemelerde Kevlar49 kullanılmasının başlıca nedeni toplam ağırlığın düşürülmesidir. Kevlar49'un yoğunluğu E-Camı liflerinin yoğunluğundan daha düşük olduğu için kompozit malzemenin ağırlığı düşecektir. Buna ek olarak Kevlar49'un elastisite modülü de E-Camından daha yüksektir ve bu sebepten dolayı bu malzemenin kullanıldığı kompozitlerin yüzey birim uzamalarının azalmasına sebep olan sertliği de artacaktır.

Şekil 4.14 melez kompozit malzeme kalınlığının ve ağırlığının kullanılan Kevlar49 oranı (α) ile nasıl değiştiğini göstermektedir. $\alpha=0$ iken malzeme %100 cam lifleri ile takviye edilmiş olup, $\alpha=1$ iken sadece Kevlar49 kullanılmıştır. Burada belirlenen $\alpha=0.69$ oranı için melez kompozit malzemenin sadece cam lifleri kullanılan kompozit malzemeye göre kalınlığında %5.9, ağırlığında ise %19.9 oranında azalma görülmektedir[27].

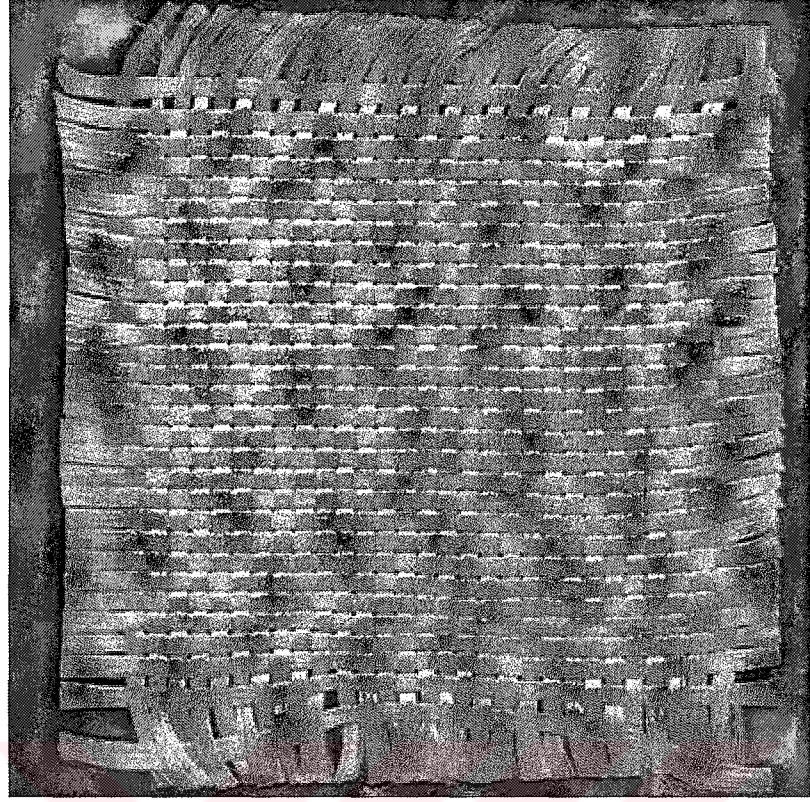


Şekil 4.14 Kevlar49'un yapıda kullanım yüzdesine göre kompozit malzemede meydana gelen ağırlık ve kalınlık azalışı.

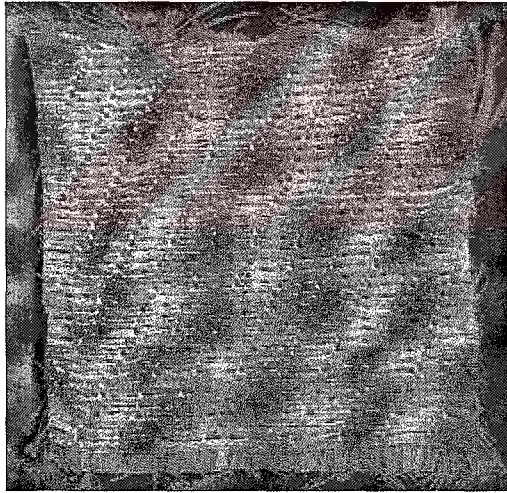
Görüldüğü gibi özel amaçlı olarak dizayn edilen yüksek performanslı kompozit teknelerde, maliyet ve ağırlık kriterlerinin iyi analiz edilmesi sonucunda, sadece E-Camı yada sadece Kevlar49 kullanmak yerine, uygun kombinasyonu sağlayarak amaca ulaşabilmek için bu iki malzemenin de belirli oranlarda kullanıldığı bir yapı tercih edilmelidir.

Yukarıda belirtilenlere ek olarak, KAAN Sınıfı Sahil Güvenlik Botlarının imalatında Kevlar49 kullanılmasının diğer bir nedeni de, bu malzemenin mükemmel ses yutuculuk özelliğidir[26]. Sahil Güvenlik Botlarında takviye malzemesi olarak kullanılan 460 gr/m² Kevlar49 Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

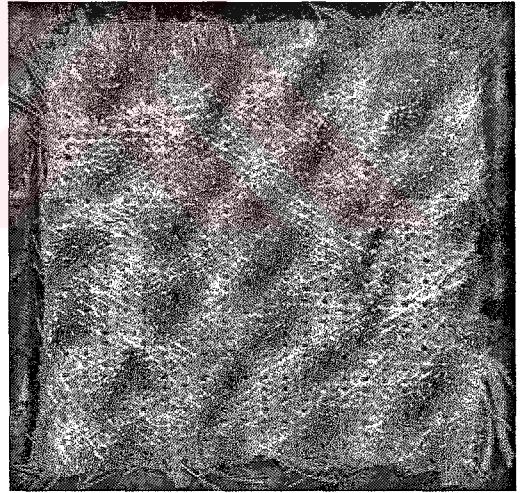
E-Camı liflerinin kullanılması konusunda anlatılan rovimata çok benzer şekilde, yine sandviç yapının gerekli yerlerinde kullanılan ve Kevlar49 ve keçenin beraber kullanıldığı "aramat" adı verilen elyaf Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15 460'lık Kevlar49.



(a)



(b)

Şekil 4.16 Aramat (a) ön yüzü (b) arka yüzü.

4.4.5.4 Karbon Liflerinin Kullanımı

Bir tekne dizayn ederken, bu teknenin farklı bölgelerinin farklı yüklere maruz kalacağı akıldan çıkarılmamalı ve her bölgeden beklenen farklı dayanım değerleri çok iyi hesaplanmalıdır. Bir teknenin omurgasını taşıyan elemanlar boyuna (longitudinal) ve enine(transverse/stringer) postalardır. Her yönden yüklere maruz kalan bu postalar teknenin esas yükünü ve kesitini taşırlar. KAAN Sınıfı botların PVC köpüğü çekirdek malzemesi kullanılan sandviç yapılarında, omurganın, enine

ve boyuna postaların ve aynı zamanda bunların birleştirilmesinde kullanılan desteklerin (bracket) imalatı için karbon lifleri kullanılır.

Yüksek özgül ve elastisite modülüne ve çok yüksek dayanım özelliklerine sahip karbon lifleri işlendiklerinde çok mukavemetli bir hal alırlar. Dinamik zorlanmaların fazla olduğu enine ve boyuna postalar ve destek gibi yerlerde, dayanım özellikleri çok iyi olan PVC köpük ile birlikte karbon elyafının kullanılması çok dayanıklı bir yapının oluşmasını sağlamaktadır[22]. Bu uygulamada kullanılan karbon elyafı Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 Karbon elyafı.

4.4.6. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatında Kullanılan Matris Malzemesi: Vinilester Reçine

Vinilester reçineler polyester reçinelere çok benzer şekilde doymamış karbolik asitlerin sitren ile reaksiyona girmesi ile imal edilirler[15] ve bu işlem sonucu ortaya çıkan mamulün, kimyasal ve dayanım özellikleri polyester reçinelerden daha yüksek olup epoksi reçinelerin özelliklerine yaklaşmaktadır. Kullanımda tercih edilmelerinin en önemli nedenlerinden biri, düşük sıcaklıklarda kürlenmiş olsalar bile yüksek sıcaklıklarda kürlenenden polyester reçinelere nazaran daha iyi özelliklere sahip olmalarıdır[8].

Fiyat bazında karşılaştırıldıklarında, yaklaşık iki kat daha pahalı olan vinilester reçinelerin polyester reçinelere göre suya ve kimyasal ataklara karşı dayanımları daha iyidir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda daha yüksek dayanıma sahip olan vinilester reçineler daha sağlam bir yapının oluşturulmasını sağlar. %6-7 oranına kadar ulaşan kopmada uzama oranları polyester reçinelerin 2-3 katıdır[15].

Kopmada uzama oranı bir kompozit yapının sağlamlığı açısından çok önemlidir. Reçinenin görevlerinden biri de, yapıya uygulanan yükleri asıl yük taşıyıcı eleman olan takviyelere eşit olarak dağıtmaktır. Eğer matris takviyelerden daha önce deforme olursa kompozit yapı işlevini göremez hale gelir. Bu yüzden reçinenin en azından lifler kadar kopmada uzama oranına sahip olması gereklidir.

Polyester kullanılan kompozit malzemelerde, kürlenme işlemi sırasında %7-8 oranında bir büzülme meydana gelir ve yapı vinilester kullanılarak imal edilen yapılara göre daha az esnek bir hal alır.

Suyun kompozit malzemeye nüfuz etme olasılığı da her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Çok iyi kürlenmiş uygun polyester reçineler bu açıdan kabul edilebilir sonuçlar vermesine rağmen, yüksek lif/reçine oranı gerektiren yüksek dayanıma sahip yapılarda kullanımları yeterli olmamakta, bunun yerine vinilester reçine kullanılması daha uygun olmaktadır[8].

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı, özel amaçlı olarak imal edilen Sahil Güvenlik Botlarında vinilester reçine kullanmak gerekmektedir. Bu şekilde kopma ve çekme dayanımları, dış etkenlere dayanım v.b. gibi kriterlerden daha iyi sonuçlar elde edilmesi ve tasarım safhasında amaçlanan hedeflere ulaşılması sağlanmıştır[22].

Vinilester reçine kullanılan bu uygulamada reçinenin jelleşme süresi ile 30 dk'dan 10-15 saate kadar oynama şansı vardır. Polyester kullanılması durumunda ise böyle bir şans elde edilememektedir[25]. Bu uygulamada vinilester reçine genellikle katalizör katılmasından sonra 30 dk içinde kullanılacak şekilde kürlenmektedir ve 1 kg reçineye 16 cc katalizör eklenmektedir[22].

Reçine ile çalışırken, akıcılık, jelleşme süresi ve elyafların ıslatılabilme özelliklerine dikkat etmek gerekir. Kompozitin tam anlamı ile sağlam bir yapı haline gelebilmesi için elyaf kumaşın her tarafının tam şekilde ıslatılması gerekmektedir. Bu yüzden reçine tatbik edilişi sırasında hata yapılmamalıdır. Çünkü, reçinenin termoset özelliklerinden dolayı, eğer ıslanmamış noktalar kalmış ise bunları tekrar düzeltme imkanı yoktur. Elyafalara tatbik edilecek vinilester reçine oranları aşağıda gösterildiği gibidir:

- 1 kg E-Camı elyafı için : 1.1 kg

- 1 kg Kevlar49 için : 1.3 kg

- 1 kg karbon elyafı için : 1.1 kg

Cam elyaf ıslandığında saydam bir hal alır. Eğer beyazlık varsa uygulamada bir hata olduğu yada tatbik edilen reçinenin aktığı anlaşılır.

Kevlar49 ile çalışırken çok dikkatli olunmalıdır. Kevlar49'un yoğunluğu 1.43-1.44 gr/cm³ civarında olup, cam elyafınki 2.7 gr/cm³'ten fazladır. Hafif ve ıslanmayı sevmeyen bir malzeme olmasından dolayı, cam elyaf reçinenin içine girerken, Kevlar49 reçinenin üstünde kalır. Çok dikkatli olarak ıslatılması gereken Kevlar49'un ıslandığının göstergesi renginin koyu sarı olması ve bu rengin her yerde aynı olmasıdır. İyi bir reçine tatbiki yapıldığında, Kevlar49'un üstü ne tam olarak kuru nede pırlı pırlı olmalı, hafif saten görünümlü olmalıdır. Kuru gözüktüğünde yeterince reçine yok demektir, parlak görüldüğünde ise gerekenden fazla reçine var demektir. Bu reçinenin fazla kısmını temizlemek ancak derinlemesine bir zımpara işlemi ile mümkün olmaktadır. Böyle bir işlem hem zaman hem de kalite kaybına neden olacaktır.

Karbon elyafı ile çalışırken, bu malzemenin dokusunun özelliğinden dolayı son derece iyi ıslandığı ve güzel lamine olduğu görülmektedir[25]. KAAN Sınıfı Sahil Güvenlik Botlarının imalatında matris malzemesi olarak kullanılan vinilester reçine Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

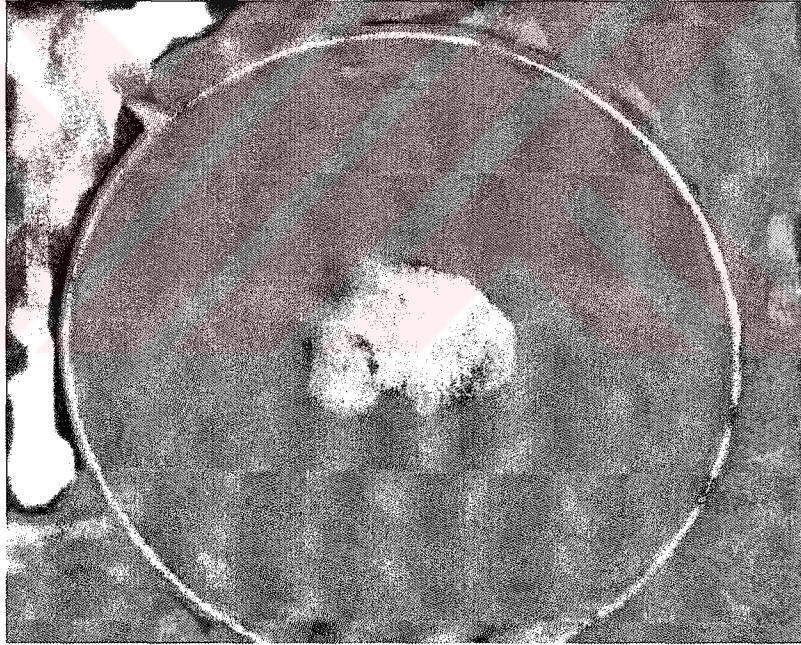


Şekil 4.18 Vinilester reçine.

4.4.7. Sahil Güvenlik Botlarının İmalatı ve Laminasyon

Kaan Sınıfı botların imalatında kullanılan kalıp dışı kalıptır. Bu şekilde gövdenin imalatı sırasında dış yüzeyin düzgün olması sağlanır. 6-7 tonluk kalıp üzerinde imalata başlamadan önce bazı ön uygulamaların yapılması gerekmektedir. Kalıp yüzeyi önce düzgün ve parlak bir hale getirilerek sıcak su ile yıkanmakta ve sabunlu su ile temizlenip iyice kurulanmaktadır.

Üretilcek teknenin kalıba yapışmaması için ilk olarak, kalıp üzerine kalıp ayırıcı malzeme (wax) tatbik edilmektedir. Kalıp ayırıcı madde imal edilecek ilk ürün için 5-6 kat atılmakta, daha sonraki ürünler için bu sayı kalıp yavaş yavaş oturacağı için 3-4 kat olarak tatbik edilmektedir[22]. Kalıp ayırıcı kullanırken dikkat edilecek noktalardan birincisi atılan katlar arasında bir önce atılan katın kendisini çekmesini beklemektir. İkinci önemli nokta ise bir günde en fazla iki kat atılarak bu uygulamanın yapılmasıdır. KAAN Sınıfı Botlarda kalıp ayırıcı olarak kullanılan malzeme Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Kalıp ayırıcı malzeme (wax).

Kalıp ayırıcı uygulanmasından sonraki adım kalıp yüzeyine alkol tatbik edilmesidir. Görevi kalıp üzerinde ince bir film tabakası oluşturmak olan alkol su ile temas ettiği anda hemen çözülen bir malzemedir[25]. Alkol yüzeye sünger ile sürülmekte ve birkaç uygulama sonra kalıp oturduğu için bu malzemenin kullanılmasına gerek kalmamaktadır. 18-20 °C'de 1 saat gibi bir sürede kuruyan alkol kullanımı sırasında, dışı kalıbın eğimli yüzeye sahip olmasından dolayı, kalıbın dibinde biriken alkolün kurumması biraz daha fazla zaman almaktadır. 1,5-2 saat sonra alkolün tamamen

kurumasiyla kaliba hiç el sürülmeden ilk kat olarak jel-kot uygulamasına başlanmaktadır[22].

Üretim için kullanılacak her türlü malzeme, ister kalıp olsun ister reçine yada elyaf, 48 saat önceden üretim yapılacak yerin ortam sıcaklığına getirilmelidir. Elde edilecek ürünün homojenliği ve sağlamlığı açısından bu konuya mutlaka dikkat etmek gerekir[25].

Jel-kot reçineler, dişi kalıp kullanıldığında ilk uygulanan katlardır. Kullanımı daha içerideki katmanları nemden ve çeşitli kimyasallardan korur, mamulün dış yüzeyinin parlak ve düz bir hal almasını sağlar[8]. Suya karşı dayanımı, çizilmeye karşı dayanımı ve çarpma dayanımı gayet iyi olan jel-kotlar, teknenin veya parçanın sahip olması istenilen rengini sağlayabilen, koruyucu ve estetik özelliklere sahip bir malzemedir[8,25].

Denizcilik sektöründe kullanılan jel-kot reçinelerin tamamına yakını polyesterdir. Bu malzemenin tiksotropik formda olması, yerini kaymadan koruyabilmesi için gerekli bir ihtiyaçtır. Yüzeyde kullanılan jel-kotu malzemenin laminasyonunda kullanılan matris malzemeleri ile karıştırmamak gerekir. Jel-kotlar ısıya dayanıklı özel polyesterden sadece gerekli bazı niteliklere sahip olarak, özel uygulamalar için üretilirler ve katmanların laminasyonunda kullanılmazlar.

Kalıplamada vinilester reçine kullanıldığı durumlarda, polyester jel-kot dışında bir malzeme kullanmaya gerek kalmaz çünkü, bu iki sistem birbirleri ile tamamen uyumludur[6]. Denizcilik sektöründe kalıplamada matris malzemesi olarak çoğunlukla polyester reçine kullanılmaktadır ve bunun için genelde, kullanılacak jel-kotun kalıplama reçinesinden daha dayanıklı olması istenir. Fakat Sahil Güvenlik Botlarının imalatında polyesterden daha güçlü bir malzeme olan vinilester reçine kullanıldığı için buna gerek kalmamaktadır.

KAAN Sınıfı Botlar için jel-kot 600 gr/m² civarında 2 kat olarak atılmaktadır. Burada birinci kat ikinci kata nazaran daha kalın atılmaktadır (örneğin 320-300 gibi). Bunun nedeni üstteki malzeme alttakinden daha az olduğu için, daha az katalizör kullanılacak ve dolayısıyla ikinci atılan kattaki katalizör olarak kullanılan malzemenin aşağıya inip ilk katı çözmesini engellenecektir.

Jel-kot takviyesi olmayan kırılgan bir malzeme olduğundan dolayı, kalın olması yapının bütününe kuvvetli olmasından ziyade zayıf olmasını sağlar. Altında çok sağlam bir kısım bulunan yapının kalın ve kırılgan bir kabuk ile kaplanmasının malzemeyi zayıflatacağı unutulmamalıdır. Bir sonraki aşama olan takviyelerin uygulanmasına geçmek için jel-kotun kaygan ve el ile üzerine bastırıldığı zaman

bulaşmayacak bir kıvamda olması gereklidir. Bu seviyenin ötesinde olgunlaşmaya bırakılması yüzeyi sert bir hale getirerek reçinenin üzerine yapışmasında problem yaratabilir[25].

Jel-kot uygulamasının ardından jel-kotun yapısını güçlendiren, daha sonra uygulanacak katmanlara zemin hazırlayan , yüksek reçine/lif oranı sayesinde çevre şartlarına karşı dayanımı arttıran keçe uygulanır.

Bir sonraki aşama E-Camı liflerinin kullanılmasıdır. Burada kullanılan E-Camı elyafı 1,25 m genişliğinde uzun kumaşlar halinde tedarik edilmektedir[22]. 30-40 m uzunluğundaki takviyelere elle reçine tatbiki uygun bir yöntem olmayabilir. Bu yüzden takviyeler reçine havuzuna yatırılarak ıslatılır, daha sonra iki silindir arasından geçirilerek mümkün olduğu kadar üniform reçine tatbiki kontrollü olarak sağlanır. Bu sistemde elyafın kuru kalma ihtimali oldukça azdır. Daha sonra reçineye batırılmış rulolar vasıtasıyla takviyeler yerlerine yapıştırılır. Takviyelerin kullanılmasından önce yapıştırılacakları yerlere bir miktar reçine sürülmesi gereklidir. Aksi taktirde bunların yapışmalarında problem çıkabilir.

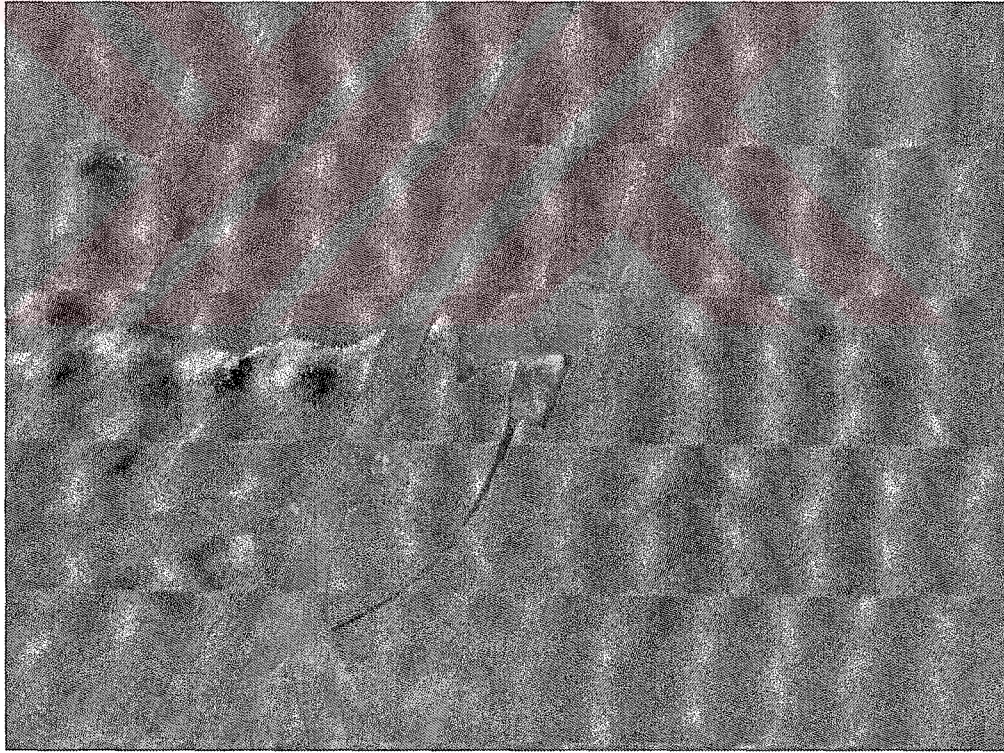
Ruloların kullanılmasıyla yapıştırmada bir önceki kat ile yeni uygulanan kat arasındaki hava kabarcıkları da yok edilmiş olur. Bu kabarcıkların tamamı ile yok edildiği, kullanılan ruloların ileri-geri çekilmesi sırasında çıkan çitirtilerin yok olması ile anlaşılır[25].

Burada açıklanan yöntem “yarı-prepreg” olarak da adlandırılabilir olan emperye yöntemidir. Eğer hazır kalıplama bileşenleri kullanılsaydı, bunları ambalajlarından çıkarır çıkarmak kullanmak gerekecekti. Reçinelerin üniform dağılımını sağlayan hazır kalıplama bileşenleri daha çok uzay sanayiinde çok hassas malzemeler için kullanılmaktadır[22]. Emperye yöntemi uygulaması sonucunda elyafların reçine emişlerinde homojenlik açısından çok küçük kabul edilebilir farklılıklar bulunabilmektedir.

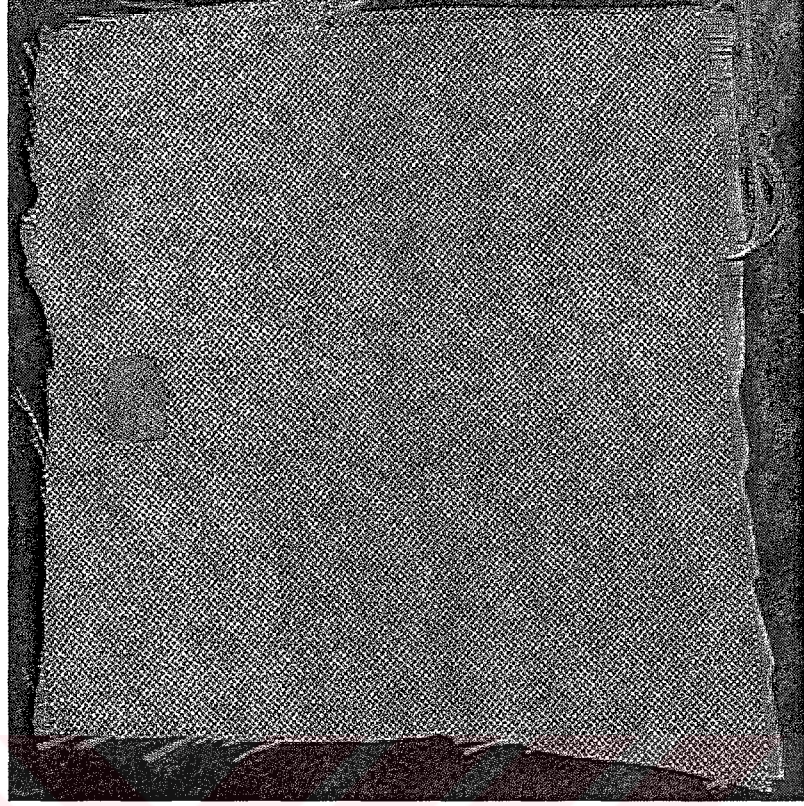
Sahil Güvenlik Botlarının gövdelerinin imalatında cam liflerin ardından daha önce açıklanan sebeplerden dolayı Kevlar49 kullanılmaktadır. Kevlar49 uygulanırken, aynı cam liflerinde uygulandığı gibi tek kat olarak değil grup şeklinde uygulanmaktadır- yani bir kat cam elyaf bir kat Kevlar49 yerine üç kat cam elyafı ve dört kat Kevlar49 uygulamak gibi. Bu şekilde grupların oluşturulması yapıda homojenliği sağlamaktadır. Ayrıca liflerin birbirlerine tam olarak yapışması ve geçişlerin homojen olması için, liflerin uç uca değil, 8-10 cm birbirleri üzerine gelecek şekilde yapıştırılmaları gerekir.

Laminasyon sırasında reçine tatbik edildikten sonra kuruyunca, saydam bir hal almaktadır. Bu şekilde üzerine yeni bir kat tatbik edilemez. Üzeri saydam hale gelen katın zımparalanması ve yeni tatbik edilecek kata hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Fakat bu durum Kevlar49 için geçerli değildir.

Eğer olgunlaşmaya bırakılan son kat uygulaması Kevlar49 ise bu katı zımparalayarak yeni bir kat uygulaması için hazırlanamaz. Kevlar49'un özelliğinden dolayı, zımparalama işlemi yüzeyi tüylendirir ve malzemeye zarar vererek özelliklerinde azalmaya neden olur. Bunun yerine eğer laminasyon devam ederken son kat Kevlar49 atılarak bırakılacak ise, yüzeye reçine ile birlikte "peelply" adı verilen bir malzemenin yapıştırılarak bırakılması gerekir. Kevlar49 üzerine yapışan peelply, yüzeyden kolaylıkla sıyrılabilir ve tatbik edildiği yüzeyi mat bir hale getirerek, hem Kevlar49 üzerine yeni bir kat atılmasına imkan verir hem de Kevlar49'un özelliklerini kaybetmemesini sağlar[22]. Cam elyafın yüzeyinin zımparalama uygulaması Şekil 4.20'de ve Kevlar49'un yüzeyini matlaştırmak için kullanılan peelply Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Cam elyafa uygulanan zımparalama işlemi.

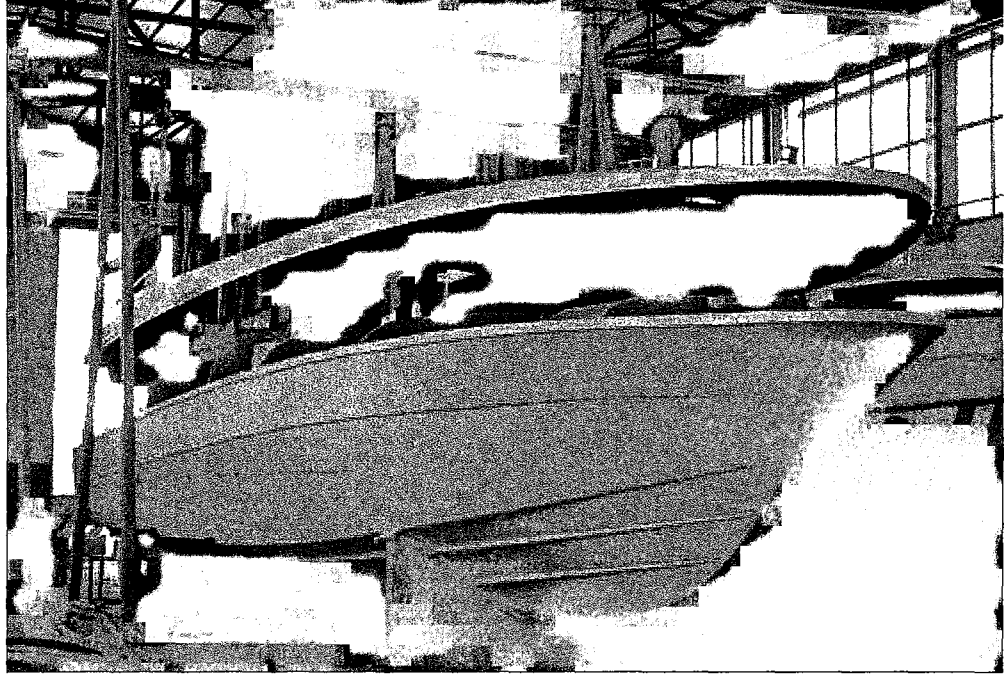


Şekil 4.21 Kevlar49 için kullanılan peelply.

Dişi kalıp içinde teknenin gövdesine ait ana deri imalatının tamamlanmasına müteakip, önce omurga, daha sonra da postalar gövdeye eklenir. Bunlar gövdeye lamine edilerek yapıştırılır.

Bir yandan gövde imalatı devam ederken diğer yandan güverte ve üst binanın inşasına diğer kalıplarda vakum altında elle yatırma yöntemi ile devam edilir. Sandviç yapıda imal edilen güverte ve üst binanın daha sonra gövdeye bağlanmaları gerekmektedir. Teknenin gövdesi tüm mukavemet elemanları gövdeye bağlandıktan sonra kalıptan çıkarılmak üzere kürlenme sürecinin son safhası olan olgunlaştırmaya bırakılır. Kürlenmesi tamamlanan gövde, güverte ve üst bina kalıplarından çıkarılarak, Şekil 4.22’de görüldüğü gibi önce güverte gövdeye ve sonrada üst bina bunlara bağlanarak bir araya getirilir.

Gövde, güverte ve üst binanın bağlantı yerleri üst üste getirilerek bu kısımlarından yapıştırılır. Daha sonra bu noktalar cıvata ile sıkılır ve iç kısımdan lamine edilerek sağlamlaştırılır[22].



Şekil 4.22 Gövde ve güvertenin birleştirilmesi.

Teknenin tam anlamıyla kullanıma hazır hale gelebilmesi için, üzerine gerekli donanımların ve sistemlerin yerleştirilmesi gerekmektedir. Şekil 4.23'te görüldüğü gibi bu yerleştirme işlemi uygun elemanlarla desteklenen teknenin üzerinde yapılır ve platform denize inmeye hazır hale getirilir.



Şekil 4.23 Gerekli donanım ve sistemlerin tekneye eklenmesi.

4.4.8. MRTP Konseptinin Modernizasyon ve ARGE Çalışmaları

Önümüzdeki 5 yıl içerisinde öngörülen ana makine ve sevk sistemlerindeki gelişmeler dikkate alınarak, ONUK MRTP15 ve ONUK MRTP29 botlarının tasarım, üretim ve kullanımında elde edilen bilgiler değerlendirilerek 15-20 m aralığında dünya pazarında lider olabilecek ONUK MRTP18 (Geliştirilmiş Ani Müdahale Botu) platformu geliştirilmiştir. ONUK MRTP18 yüksek denizcilik, performans ve taşıma kabiliyeti ile, Türkiye çevresindeki denizler ve kıyısularda ihtiyaç duyulabilecek çeşitli görev ve hizmetleri yapabilme yeteneklerine sahip olmak üzere dizayn edilmiştir. Ayrıca MRTP konsepti doğrultusunda, ilave görevlerin (SAR, karakol, hücum kabiliyetleri) gerçekleştirilmesi için gerekli ilave teçhizatı taşıma kabiliyetine sahip olması öngörülmüştür.

ONUK MRTP18 dışında ayrıca, ONUK MRTP9, ONUK MRTP13, ONUK MRTP33 ve ONUK MRTP70 projelerinin dizayn çalışmaları da tamamlanmıştır. ONUK MRTP70 ilk ve en büyük hayalet (stealth) gemi olan ve deneme süreci halen devam eden İsveç Donanmasına ait, 30 knot hıza ve 72 m'lik uzunluğa sahip YS 2000'nin (Visby)[28] iki katı hız yapabilecek (60 knot) şekilde hayalet gemi olarak dizayn edilmiştir[26].

5. SONUÇ

Her türlü imalat faaliyetinin temelinde olduğu gibi, yüksek performanslı teknelerin üretim aşamasının başında da öncelik hedeflerin çok iyi belirlenmesidir. Tekneden beklenenler açık ve net bir şekilde ortaya konulmalı, tasarım ve üretim aşamaları belirlenen hedefler doğrultusunda yapılmalıdır. Hedefe yönelik olarak minimum maliyetle maksimum performansı sağlayabilecek yapıya ve bu yapının imalatında kullanılacak malzemelere karar verilmelidir.

Rekabet ortamında, gelişen teknolojiler ile birlikte pazarda rakiplerin üretebileceği mamulleri geriden takip etmek yerine, değişen dünya düzeni içerisinde ortaya çıkabilecek ihtiyaçları çok iyi etüt ederek üretilecek mamulün, yeni teknolojilerin ve sistemlerin entegrasyonuna açık olması sağlanmalıdır. MRTTP konsepti ile üretilen KAAN Sınıfı Botlar, modernize edilmeye ve yeni sistem ve donanımların eklenebilmesine imkan verecek şekilde tasarlanarak imal edilmişlerdir.

KAAN Sınıfı Botlar için, teknenin farklı bölgelerini maruz kalabileceği yükler ve tekneden beklenen dayanım ve performans değerleri hesaplanarak, imalatında kompozit malzeme kullanılmasına karar verilmiştir.

Kompozit malzemeyi belirli kalıplara sokmak yanlış olur. Yapıdan beklenen dayanım değerlerini sağlamak için, belirlenen maliyet sınırları içinde kalmak koşulu ile, gerekli yerlerde, gerekli lifler ve yapılar gerektiği kadar kullanılmalıdır.

Tek cidarlı konstrüksiyon ile imal edilen Sahil Güvenlik Botlarının gövdelerinde, Kevlar49, E-Camı ve karbon lifleri yeterli miktarda ve gereken düzende kullanılarak istenen performans değerlerine ulaşılmıştır.

Tez çalışmasına konu olan bu botlarda, denizcilik sektöründeki geleneksel deniz taşıtlarında yaklaşık %95'lere varan oranda kullanılan cam liflerinin yerine, gerekli yerlerde Kevlar 49 ve karbon lifleri, yine en sık kullanılan polyester reçine yerine vinilester reçine kullanılarak teknenin özel amaçlarına yönelik olan beklentiler karşılanmıştır.

Kevlar49 kullanımı ile hem daha dayanıklı bir yapı elde edilmiş, hem de bu yapının imalatında performansını etkileyen ağırlık azaltılmıştır. En fazla zorlanmaların

karşılaşılaçağı kısımların dayanımı çok yüksek dayanım karbon lifleri ile takviyesi, yapıyı sağlamlaştıran bir diğler faktördür.

Hafif ağırlığına rağmen süratli teknenin imalatında vinilester reçine kullanılması, dayanım değlerlerine en iyi şekilde ulaşılmasını sağlamış ve bu reçine ileri lifler ile çok iyi uyum göstererek mükemmel bir yapının ortaya çıkmasına yardımcı olmuştur. Bu yapının üretiminde, gereksiz hiçbir malzeme, gereksiz hiçbir yerde, gereksiz hiçbir şekilde kullanılmamıştır.



KAYNAKLAR

- [1] **HIGH PERFORMANCE MARINE CRAFT DESIGN MANUAL**, 1998, *Naval Sea Combat Systems Engineering Station Combatant Craft Engineering Department Report*, NAVSEACOMBATSYSSENGSTA 60-204, Norfolk, Virginia.
- [2] **ER, İ.Melih**, 2002, YONCA-ONUK A.O. Yönetim Kurulu Asistanı (Projeler), Kişisel görüşme.
- [3] **ERSOY, Halit Yaşa**, 2001, Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık Dağıtım İstanbul.
- [4] **TÜRKER, Mehmet**, 1997, Kompozit Malzemeler ve Sivil/Askeri Bahriyede Kullanım Alanları, *Bitirme Ödevi*, Deniz Harp Okulu Komutanlığı, İstanbul.
- [5] **SCHWARTZ, Mel M.**, 1997, Composite Materials Vol. 1, Properties, Nondestructive Testing and Repair, Prentice-Hall PTR, New Jersey.
- [6] **SU, Ender**, 1999, Gemi İnşaatında Kompozit Malzemeler, *Bitirme Ödevi*, İstanbul Teknik Üniversitesi.İstanbul.
- [7] **ERDOĞAN, Mehmet**, 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [8] **SLEIGHT, Steve**, 1985, Modern Boat Building Materials and Methods, International Marine Publishing Company, Great Britain.
- [9] **SCHWARTZ, Mel M.**, 1992, Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, New York.
- [10] **KINIKOĞLU, Nihat G.**, 2001, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık Dağıtım, İstanbul.
- [11] **HULL, D. and CLYNE, T.W.**, 1996, An Introduction To Composite Materials, Cambridge University Press, Cambridge.
- [12] **CARBON AND HIGH FIBRES DIRECTORY AND DATABOOK EDITION 6**, 1995, Chapman & Hall, London.
- [13] <http://www.dupont.com/kevlar/whatiskevlar.html>, 5-10 Mart 2002.
- [14] **BUNSELL, A.R.**, Fibre Reinforcements For Composite Materials Vol. 2, 1988, *Composite Material Series*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- [15] **SMITH, C.S.**, 1990, Design Of Marine Structures In Composite Materials, Elsevier Applied Science, London.

- [16] **SCHWARTZ, Mel M.**, 1997, Composite Materials Vol. 2, Processing, Fabrication and Applications, Prentice-Hall PTR, New Jersey.
- [17] **GEIER, M.H.**, 1994, Quality Handbook For Composite Materials, Chapman & Hall, London, UK.
- [18] <http://www.sqk.tsk.mil.tr/>, 1-15 Nisan 2002.
- [19] <http://www.yonca-onuk.com/company.htm>, 15-30 Mart 2002.
- [20] **ONUK, Dr. Ekber İ.N. ve ONUK, Kaan N.Z.**, 2000, T.C. M.S.B. Savunma Sanayii Müsteşarlığı Savunma Sanayii Sempozyumu-2000, Ankara, 7-8 Kasım.
- [21] **ONUK, Kaan N.Z.**, 2002, <http://www.yonca-onuk.com/company.htm>, 15-30 Mart 2002.
- [22] **TEPEBAŞ, Mehmet Ali**, 2002, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Mühendisi, YONCA-ONUK A.O. Laminasyon Grup Şefi, Kişisel görüşme.
- [23] **HULL STRUCTURAL DESIGN, FIBRE COMPOSITE AND SANDWICH CONSTRUCTION**, 1991, *Tentative Rules For High Speed And Light Craft*, Det Norske Veritas, Høvik, Norway.
- [24] **SHENOI, R.A. and WELLICOME, J.F.**, 1993, Composite Materials In Maritime Structure Vol. 2, Practical Considerations, Cambridge University Press, Cambridge.
- [25] **LAMİNASYON EĞİTİM DERS NOTU**, 2000, YONCA-ONUK A. O., İstanbul.
- [26] **ONUK, Dr. Ekber İ.N.**, 2001-2002, Kişisel görüşme.
- [27] **ECHTERMEYER, A.T., PINZELLI, R.F., RAYBOULD, K.B. and SKOMEDAL, N.**, 1994, Advanced Composite Hull Structures For High Speed Craft, *Det Norske Veritas Research AS Paper Series, DNVR-94-P024*, Høvik, Norway.
- [28] **YS 2000, NAMING CEREMONY, SIGNING OF CONTRACT, START OF PRODUCTION, SEMINARS**, 1996, Karlskronavarnet Celsius Group Press Release, Sweden.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Leman ve Hasan GÜNEŞ çiftinin ilk çocukları olarak Erdek'te dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Erdek'te tamamladı. 1986 yılında Maltepe Askeri Lisesi'ne girdi. 1990 yılında Kara Harp Okulu'na başladı ve 1994 yılında Levazım Teğmen rütbesi ile mezun olarak Türk Silahlı Kuvvetler saflarına katıldı. Levazım-Maliye Sınıf Okulu'ndaki Subay Temel kursunu müteakip Kıbrıs, Van ve Sivas'ta değişik kademelerdeki görevlerde bulundu. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Malzeme, Tasarım ve İmalat Teknolojileri bölümünde yüksek lisans eğitimine başlayan İlter GÜNEŞ halen Sivas'ta görev yapmaktadır.



**T.C. YÜKSEK
DOKÜMAN İŞLERİ
M. KUTUL
M. MERKEZİ**