



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF TAKVİYELİ MARİNA KOMPOZİTLERİN AŞINMA  
ve YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Salih DOĞANAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF TAKVİYELİ MARİNA KOMPOZİTLERİN AŞINMA  
ve YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Salih DOĞANAY

Prof.Dr. Yusuf ULCAY  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2007

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİF TAKVİYELİ MARİNA KOMPOZİTLERİN AŞINMA  
ve YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Salih DOĞANAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez ..../...../200... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy  
çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Yusuf ULCAY Prof.Dr.Recep EREN Prof.Dr.Osman KOPMAZ

Danışman

Doç.Dr.Mehmet KANIK

Doç.Dr.Reşat ÖZCAN

**ÖZET**

Denizcilik sektöründe kullanımı gittikçe yaygınlaşan cam lifi takviyeli kompozit malzemelerin bir takım özelliklere sahip olmaları gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan malzemeler için ömür en önemli faktörlerden birisidir. Bu çalışmada cam lifi takviyeli poliester kompozitlerde farklı lif oranlarının ve deniz suyunun yorulma davranışı üzerinde etkisi incelenmiştir. Çalışmada, takviyesiz, %1, %3 ve %6 olmak üzere dört farklı oranlarda takviyelendirilmiş poliester reçine numuneleri deniz suyunda farklı periyotlarda tutulduktan sonra 30 dakika süresince yorulma testine tabi tutulmuş ve maksimum uzama ile uzama değişimi ölçülmüştür. Takviye oranına bağlı olarak uzamada anlamlı bir değişim meydana gelmemişken; deniz suyunda bekletme süresi arttıkça uzama değeri düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cam lifi, Poliester Reçine, Yorulma Davranışı, Deniz Suyu

**ABSTRACT**

Glass fiber reinforced composites that has an increasing using in marine industry must have some properties. For the materials used for this aim, life time is one of the most important properties. In this study, the effect of immersing time in sea water and different volume ratios of glass fiber reinforced polyester resin on fatigue behaviour are investigated. With four different volume ratio glass fiber, non-reinforced, %1, %3, % 6, respectively, reinforced polyester resin samples are immersed in sea water for different periods and fatigued in 30 minutes and maximum extension and variation of extension are obtained. Although, there is no effect of reinforcement ratio on extension, extension value decreases by increasing of immersion time in sea water.

Key Words: Glass fiber, Polyester Resin, Fatigue Behaviour, Sea Water

**İÇİNDEKİLER**

	Sayfa
TEZ ONAY	
SAYFASI.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
GİRİŞ.....	1
1. KAYNAK ARAŞTIRMASI	
1.1. Kompozit Malzemeler.....	2
1.1.1. Matris (Takviye edilen) elemanı.....	2
1.1.2. Takviye elemanı.....	3
1.1.3. Katkı maddeleri.....	3
1.2. Parçacık Kompozitleri.....	4
1.3. Polimer Matrisli Kompozitler.....	8
1.4. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	9
1.4.1. Denizcilik sanayi.....	9
1.4.2. Korozyon dayanıklı ürünler.....	9
1.4.3. Sağlık.....	9
1.4.4. Ulaşım.....	10
1.4.5. Spor araçları.....	10
1.4.6. Otomotiv.....	11
1.4.7. Müzik aletleri.....	11
1.4.8. İnşaat.....	11
1.4.9. Havacılık sanayi.....	12
1.5. Matris Malzemeleri.....	12
1.5.1. Polimer esaslı matrisler.....	13
1.5.1.1. Termoset matrisler.....	13
1.5.1.2. Termoplastik matrisler.....	16
1.6. Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Amaçlı Elyaf lar.....	17
1.6.1 Cam elyaf ı.....	19
1.6.2. Karbon elyaf ı.....	20
1.6.3. Aramid elyaf ı.....	21
1.7. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri.....	22
1.7.1. Elle yatırma (hand lay-up).....	23
1.7.2. Püskürtme (spray-up).....	23
1.7.3. Elyaf sarma ( filament winding).....	24
1.7.4. Reçine transfer kalıplama RTM/ reçine enjeksiyonu.....	24
1.7.5. Profil çekme/pultruzyon (pultrusion).....	25
1.7.6. Hazır kalıplama/ compression moulding (smc,bmc).....	25
1.7.6.1. Tabaka kalıplama kompozitleri	
(SMC: sheet moulding composites).....	25
1.7.6.2. Hacimli kalıplama kompozitleri	
(BMC: bulk moulding composites).....	26
1.7.7. Vakum bonding / vakum bagging.....	26

1.7.8. Otoklav / autoclave bonding.....	27
1.7.9. Preslenebilir takviyeli termoplastik/ glass mat reinforced thermoplastics (gmt).....	28
1.8.Gemi İnşaatında Kullanılan Malzemeler.....	29
1.8.1.Gemi inşasında kullanılan çelik malzemeler.....	29
1.8.2. Alüminyum alaşımları.....	30
1.8.3. Ahşap.....	31
1.8.4. Kontrplaklar.....	32
1.8.5.Elyaf takviyeli plastik.....	33
1.9.Cam takviyeli plastiklerin (CTP) Kullanım Alanları.....	33
1.10.Yorulma.....	37
1.10.1.Yorulma hasarı ve kompozitin özelliklerine etkisi.....	49
1.10.2.Kompozitin yorulma davranışını etkileyen parametreler.....	42
1.10.3.Yorulma hasarı ve yorulma ömrü için ampiriksel eşitlikler.....	46
1.11.Deniz Suyunun Yapısı.....	47
2.MATERYAL VE METOT.....	50
2.1.Materyal.....	50
2.1.1.Poliester reçine.....	50
2.1.2.Kobalt katalizörü (Co).....	55
2.1.3.Sertleştirici.....	56
2.1.4.Cam Lifi.....	56
2.1.5. Deney Düzenegi.....	60
2.2.Metot.....	61
3.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
3.1.Bulgular.....	64
3.1.1.Anova test analizi sonuçları.....	63
3.1.2.Yorulma test sonuçları.....	65
3.2.Tartışma.....	75
SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	78
ÖZ GEÇMİŞ.....	80
TEŞEKKÜR.....	81

**ÇİZELGELER**

Sayfa

Çizelge 1.4.1.	ABD'nin 1991-1994 yılları arasında "milyon kg" cinsinden kompozit malzeme ithalatı.....	9
Çizelge 1.4.9.1.	Denizel Kompozitlerde Kullanılan Malzemelere Ait Bazı Özellikler.....	12
Çizelge 1.4.9.2.	Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler.....	13
Çizelge 1.6.3.1.	Takviye Elemanı olarak kullanılan malzemelere ait bazı özellikler.....	22
Çizelge 1.11.1.	Sıcaklık ve Tuz Konsantrasyonuna Bağlı Çözünen Oksijen Miktarı (mg/l).....	49
Çizelge 2.1.1.1.	Aktivatör oranına bağlı olarak dinamik ve izotermal reaksiyon ısıların değişimi .....	53
Çizelge 2.1.4.1.	Farklı Cam Liflerine Ait Bazı Özellikler .....	59
Çizelge 3.1.1.1	ANOVA TESTİ ile elde edilen istatistiksel veriler.....	63
Çizelge 3.1.1.2	ANOVA TESTİ ile elde edilen %95 Güven Aralığı için Student-Newman-Kleuks Testi.....	63
Çizelge 3.1.1.3	ANOVA TESTİ ile elde edilen %95 Güven Aralığı için Student-Newman-Kleuks Testi .....	64
Çizelge 3.1.2.1	Yorulma Testi Sonuçları .....	65



**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	Sayfa
Şekil 1.1	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....4
Şekil 1.6.1	Çeşitli takviye elemanı için doku yapıları.....18
Şekil 1.7.2.1	Püskürtme Yöntemi.....23
Şekil 1.7.3.1	Elyaf Sarma Makinesi.....24
Şekil 1.7.4.1	RTM Yöntemi.....24
Şekil 1.7.7.1	Vakum bagging.....27
Şekil 1.9.1	CTP Kullanım Alanları.....35
Şekil 2.1.1.1	Poliesterin monomer yapısı.....51
Şekil 2.1.1.2	Bekletme süresine bağlı olarak farklı oranlarda vizkozite değişimi.....52
Şekil 2.1.1.3	Kondens Poliester Reçinenin Şematik Görünümü.....54
Şekil 2.1.1.4	Kondens olmuş poliester reçinenin şematik görünümü.....54
Şekil 2.1.4.1	Cam lifinin düzeden çekilmesi.....56
Şekil 2.1.4.2	Cam lifinin düzeden çekilmesinin şematik görünüşü.....56
Şekil 2.1.4.3	Cam lifinin üretimi.....57
Şekil 2.1.4.4	Cam lifinin keçe formu.....58
Şekil 2.1.5.1	Deney Düzeneği.....68
Şekil 3.1.2.1	Takviye Oranına Bağlı Olarak Farklı Sürelerde Uzama Değişimi.....65
Şekil 3.1.2.2	Tuzlu Suda Bekletme Süresine Bağlı Olarak Farklı Takviye Oranlarında Uzama Değişimi .....66
Şekil 3.1.2.3	Takviye Oranına Bağlı Olarak Farklı Sürelerde Uzama Değişimi Regrasyon Eğrileri.....67
Şekil 3.1.2.4	Tuzlu Suda Bekletme Süresine Bağlı Olarak Farklı Takviye Oranlarında Uzama Değişimi Regrasyon Eğrileri.....68
Şekil 3.1.2.5	Takviyesiz Numunenin Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim.....69
Şekil 3.1.2.6	%1 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim.....69
Şekil 3.1.2.7	%3 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim.....70
Şekil 3.1.2.8	%6 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişimi.....70
Şekil 3.1.2.9	Deniz Suyunda Bekletmeden Önce Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....71
Şekil 3.1.2.10	Deniz Suyunda 3 Gün Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....71
Şekil 3.1.2.11	Deniz Suyunda 1 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....72
Şekil 3.1.2.12	Deniz Suyunda 2 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....72
Şekil 3.1.2.13	Deniz Suyunda 3 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....73
Şekil 3.1.2.14	Deniz Suyunda 4 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....73
Şekil 3.1.2.15	Deniz Suyunda 5 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....74
Şekil 3.1.2.16	Deniz Suyunda 6 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince Uzama Değerlerindeki Değişimi.....74

## GİRİŞ

Son yıllarda doğal kaynakların azalmasından dolayı bu kaynakların optimum şekilde kullanılması için araştırmacılar çalışmalarını sıkılaştırmışlardır. Özellikle petrol, doğal gaz, elektrik gibi enerji tüketen cihazlarda bu tüketiminin azaltılması yönünde çalışmalar sürmektedir. Bununla paralel olarak zaman kazanmak için daha hızlı çalışan cihazların üretilmesi ve daha uzun süre kullanılması ve bunların yanında daha ucuz üretim gibi etkenlerde bu çalışmalara ivme kazandırmıştır. Bu doğrultuda ön plana kompozit malzemeler çıkmaktadır. Kompozit yapı sayesinde daha hafif, daha az enerji tüketen, daha ekonomik ve daha performanslı yapılar oluşturulmaktadır. Bugün için inşaat sektöründen uzay sanayinde, spor gereçlerinden müzik aletlerine, denicilikte kullanılan malzemelerden otomotiv sektörüne, çeşitli üretim makinelerin yapılarına kadar kompozit malzeme yerini almakta ve almaya devam etmektedir.

Özellikle dünya piyasasında pazar payı olarak da katma değeri ile geniş bir pay sunmaktadır. Tüm bu verilere bağlı olarak ise çalışmalar ve yatırımlar kompozit malzemelerin önemini biraz daha gerçekçi bir şekilde ortaya koyuyor.

Denizcilik sanayinde cam takviyeli plastiklerin kullanımı gittikçe artmaktadır. Bu alanda kullanılan malzemeler sürekli yükleme boşaltma ve çetin çevre ve kimyasal gibi koşullara maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu alanda kullanılacak olan malzemelerin tasarımında yorulma davranışının iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada dört farklı cam lifi takviye edilmiş poliester reçinenin sekiz farklı periyotta deniz suyu ortamında bekletildikten sonra yük kontrollü uzama değişimi incelenmiştir. Sonuçlar ANOVA Test İstatistiği ile analiz edilmiş ve grafiklerle desteklenmiştir.

## 1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı malzemenin en iyi özelliklerini bir araya getirmek ve ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro veya mikro yapıdaki bileşimlerdir ([http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit\\_malzemeler.htm](http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm), 2007).

Tanımından da anlaşılacağı gibi en az iki bileşen ve bu bileşenlerden birinin özelliğinin iyileştirilmesi için diğer malzemenin eklenmesiyle oluşturulan yeni yapıdır. Burada takviyelendirilen malzemeye matris takviye edene ise takviye malzemesi denir.

Kompozitler matris malzemesine ve yapılarına göre sınıflandırılır.

A. Matris Malzemesi (takviye edilen malzeme) 'ne göre sınıflandırma:

1. Polimerik Kompozitler
2. Metal Kompozitler
3. Seramik Kompozitler

B. Yapılarına Göre Kompozit Malzemeler:

1. Elyaf Kompozitler
2. Parçacıklı Kompozitler
3. Tabakalı Kompozitler
4. Karma Kompozitler

Kompozit malzeme üç ana elemandan oluşur. Bunlar aşağıda açıklandığı gibidir.

### **1.1.1. Matris (takviye edilen) elemanı**

Matris elemanı üç temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Bunlardan ilki takviye malzemesini bir arada tutmak, diğeri yükü takviye malzemesine dağıtmak ve sonuncusu ise takviye malzemesini çevresel etkilere karşı korumaktır. Uygun matris malzeme önce düşük vizkoziteli iken dökümden sonra katılarak takviye elemanını en iyi şekilde tutmalıdır. Matris malzeme termoset veya termoplastik yapıda olabilir. Termoset grubunda poliester, vinil ester bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerden meydana gelmektedir. Termoplastik grupta ise poliamid, polipropilen kullanılmaktadır. Bunların yanında hibrit formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polieterketon ve polietersülfon kullanımı da vardır.

### **1.1.2. Takviye elemanı**

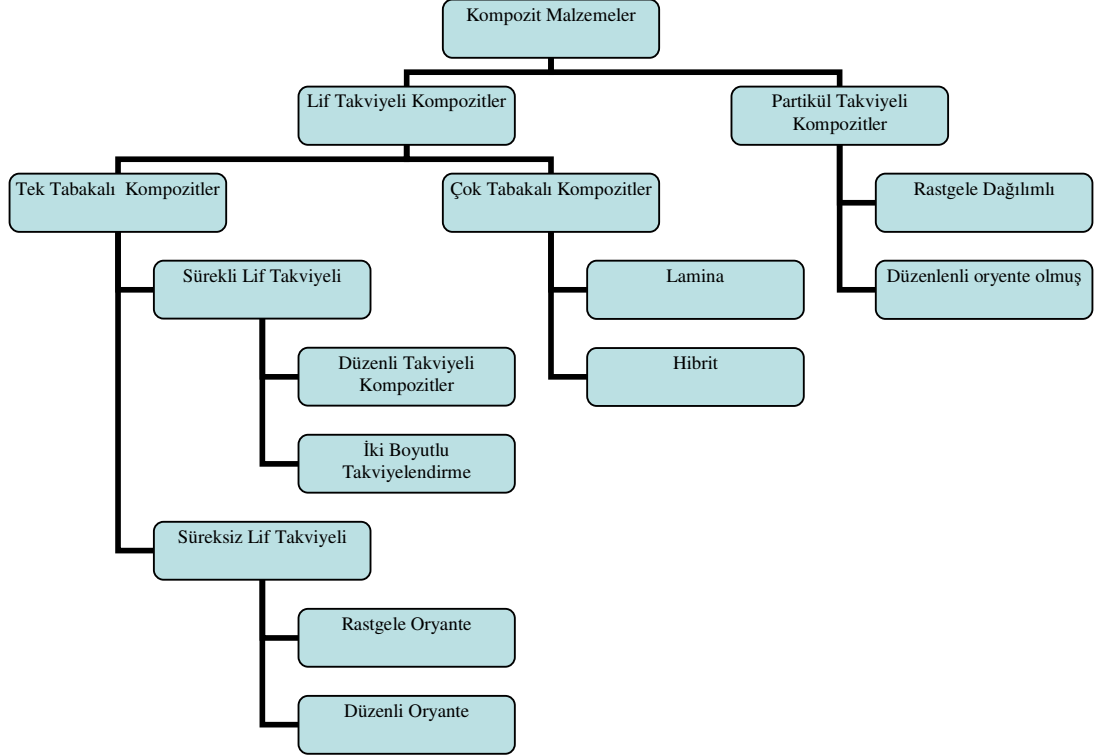
Matris malzeme içindeki takviye elemanı malzemenin temel mukavemetini veren yapıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülü ve sertliğe sahiptir. Bazı durumlara göre sahip olduğu ısıl, elektriksel dayanım gibi parametreler üretilecek olan malzeme için bileşen seçimini etkiler. Günümüzde en çok kullanılan takviye elemanları sürekli elyaftır. Aramid, karbon, grafit, boron, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen gibi elyafların kullanıldığı sürekli ya da kesikli formdaki yapılarıdır.

### **1.1.3. Katkı maddeleri**

Dolgular, kimyasallar, sertleştirici, aktivatör gibi ek yardımcı maddelerdir ([http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit\\_malzemeler.htm](http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm), 2007).

Takviye eden malzemenin boyutuna, şekline ve kompozit yapının bileşkesine bakılarak da kompozit malzemeyi sınıflandırabiliriz (Bhangwan D. A., Lawrence J. B.,1980).

Buna göre kompozit malzemeleri şöyle sınıflandırabiliriz;



Şekil.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kaynak: Agarwal D. B. ve Broutman L. J. 1980. Analysis and Performance of Fiber Composites. A Wiley-Interscience Publication, New York, USA

## 1.2.Parçacık Kompozitleri

Takviye elemanı parçacıklı halde olan kompozitlerdir. Boyutları kısa olduğu için çatlama engelleyemezler ancak plastik benzeri parçacıklar kırılabilir polimerik malzeme içinde geçici bir geçiş ve ilerleme sağlayarak çatlama direncini arttırmaya yardımcı olur. Seramik, metal veya inorganik gibi diğer parçacıklar metalik matrislerde farklı mekanizmalarla farklı oranlarda mukavemeti arttırırlar. Bunun yanında parçacıklar elektriksel ve termal iletkenliği, abrazyon dayanımını, geliştirir ve sürtünmeyi azaltır,

işlenebilirliği artırır, yüzey sertliğini artırır ve büzülmeyi de azaltır. Tabii bunların yanında maliyeti de azaltır.

Parçacık ve matris kombinasyonu istenen özelliğe bağlı olarak seçilir. Örneğin kurşun parçacıklarının kombinasyonunda bakır ve çelik alaşımların kullanılması işlenebilirliği artırır. Pek çok tungsten krom ve molibden gibi kırılğan parçacık, sünek malzeme içerisine eklendiğinde oda sıcaklığında sünek özellikler aynı kalırken ısı performansını arttırmaktadır.

Buna benzer pek çok örnek çimentoda ve diğer kullanım alanlarında da yer bulmaktadır.

İlk modern sentetik plastik malzeme 1900'lerin başında geliştirilmiştir. 1930'larda plastik malzeme diğer malzemelerle boy ölçüşür düzeye gelmiştir. Kolay şekil verilebilir olması, metallere oranla düşük yoğunluklu olması, yüksek yüzey kalitesi, iyi korozyon dayanımının olması plastik malzemenin metallere olan rekabetini göstermektedir. Fakat sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması yeni tip malzemelerin gelişmesini tetiklemiştir. Bu amaçla 1950'lerin başında polimer esaslı kompozit malzeme geliştirilmiştir. Polimer malzemeler yüksek mukavemet, boyut ve termal kararlılık, sertlik, aşınmaya karşı direnç gibi olumlu özellikleri mevcuttur (Anonim 2006a).

Özetle kompozit yapı oluşumuyla geliştirilmesi istenen özelliklerin birkaçı şöyle sıralanabilir (Ulcay 2002) :

- yorulma dayanımı,
- aşınma dayanımı,
- korozyon dayanımı,
- kırılma tokluğu,
- yüksek sıcaklık özellikleri,
- elektrik iletkenliği,
- ısı iletkenlik,
- akustik iletkenlik,

- ağırlık,
- rijitlik,
- fiyat ve estetik görünümüdür (Ulcay 2002).

Diğer yandan kompozit malzemelerin tercih edilmesinde ön planda olan özellikler şunlardır:

**Yüksek Mukavemet:** Kompozitler yüksek mukavemet değerini veren malzemeler arasında biridir.

**Hafiflik:** Özgül özellik ile kıyaslandığında verdiği düşük yoğunluk değerinde yüksek özellik sunması diğer malzemelere olan üstünlüğünü göstermektedir.

**Tasarım Esnekliği:** Tasarımcı açısından her türlü boyut ve karmaşıklık için ideal bir yapı oluşturur.

**Boyutsal Kararlılık:** Çeşitli mekanik ve çevresel koşullara karşı termoset kompozitler şekillerini koruyabilmektedir.

**Yüksek Dielektrik Direnci:** Kompozit malzeme için kullanılan matris malzemesi ya da takviye elemanının sahip olduğu dielektrik özelliğinden dolayı yalıtım gerektiren yerlerde kullanım olanağı sunmaktadır.

**Korozyon Dayanımı:** Diğer malzemelere kıyasla anti korozif özelliği üstünlük göstermektedir.

**Kalıplama Kolaylığı:** Çelik gibi malzemelerde ürün üretilirken öncelikle parçaların üretilmesi ve daha sonra birleştirilmesi dezavantajına karşı kolay bir şekilde kalıplanabilmekte ve bir seferde istenen kalıbı verebilmektedir.

**Yüzey Uygulamaları:** Kompozit ürünlerde kullanılan poliester reçine özel pigment katkıları ile renklendirilmek suretiyle renkli olarak üretilebilmektedir.

**Şeffaflık Özelliği:** Cam kadar ışık geçirgen üretilmektedir. Tam şeffaf olması nedeniyle ışığı yayması sayesinde difüze ışığın önemli olduğu seralarda ve güneş kolektörü yapımında önem arz etmektedir.

**Beton Yüzeyle Uygulama İmkani:** Beton yüzeyle mükemmel bir şekilde yapışır. Betonun gözenekli olması ile de kompoziti oluşturan ana malzemenin bu boşlukları dolduracak şekilde aralara sızması ve içerde sertleşmesi ile mükemmel bir yapışma sağlar.

**Ahşap Yüzeyle Uygulama İmanı:** Ahşabın kuru olması ve sitiren içeren poliester reçine ile emdirilmesi durumunda ahşap yüzeyle çok iyi bir şekilde yapışır.

**Demir Yüzeyle Uygulama İmkani:** Demir yüzeyde pas ve yağlar temizlendikten sonra çok iyi bir şekilde kalıplanabilir. Bu şekilde demir ve çelikler kompozitlerin kaplanması ile korozyona karşı dayanımı arttırılabilir.

**Yanmazlık Özelliği:** Kullanılan poliesterin alev dayanımı özelliğine bağlıdır.

**Sıcaklık Dayanımı:** Termoset grubundan poliester reçine ile yapılan kompozitle ısı karşısında yumuşamaz ve şekil değiştirmez. Isıl dayanıklılığın derecesi kullanılan poliester reçinenin cinsine bağlıdır.

**Farklı Malzemeler İçine Eklenebilme:** Demir, çelik, ahşap, halat, tel, mukavva, poliüretan sert köpük gibi malzemeler içine gömülerek mekanik özellikler değiştirilebilir.

**Tamir Edilebilirlik:** Kolayca tamir edilebilir özelliğine sahiptirler.

**İşlenebilirlik:** Kolayca kesilip delinebildiği için işlenmesi kolaydır ([http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit\\_malzemeler.htm](http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm) 2007).



### **1.3. Polimer Matrisli Kompozitler**

Polimer matrisli malzemeler diğer elik ve geleneksel malzemelere alternatif olarak geliştirilmiş malzemelerdir. Bu malzemelerden beklenen özellikler en az elik kadar sağlam, olabildiğince hafif, yüksek kullanım sıcaklığı dayanımına sahip ve ekonomik olmalarıdır. İleri mühendislik malzemesi olarak otomotiv sektöründe %10 gibi bir değerle yerini almaktadır (Anonim 2006a).

Mühendislik malzemesi olarak polimer matrislerin kullanım alanında tercih edilmelerinin sebepleri arasında bazı polimerlerin bakır kadar iletken yapıda olması, insan dokusuyla uyumlu, sertlik derecesi ayarlanabilen çeşitli implantların yapımında veya destek malzemesi olarak kullanılması için fırsat vermesidir (Anonim 2006a).

Polimer matrisli kompozitler parçacık dolgulu ve sürekli lif takviyeli kompozit olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Sürekli elyaf içeren kompozitler yüksek performans istenen yerlerde tercih edilmektedir (Anonim 2006a).

Polimerik kompozit malzeme tasarlanırken kullanım koşullarının iyi tespit edilmesi gerekir. Bu zellikler; sağamlık, esneklik, hafiflik, evre şartlarına karşı uyumu (nem, güneş ışıları), darbe dayanımı, sertlik gibi özellikler olabilir (Anonim 2006a).

### **1.4. Polimer Matrisli Kompozitlerin Kullanım Alanları**

Kompozit malzemelerde gerçekleşen gelişmelerle kullanım alanı hızla artmış ve artmaya devam etmektedir. Potansiyel kullanım alanları içerisinde de deniz sektöründe kullanılan hızlı feribotlar, petrol botları, avcı gemileri gibi daha zor koşullara dayanıklı olacak yapılar bulunmaktadır (Mouritz A.P. ve ark. 2001).

Çizelge 1.3.1. ABD'nin 1991-1994 yılları arasında "milyon kg" cinsinden kompozit malzeme ithalatı

Pazar \ Yıl	1991	1992	1993	1994
Uçak ve Uzay Sanayi	17,6	14,7	11,5	<b>11,0</b>
Ticaret Gereçleri	61,3	65,0	66,9	<b>72,9</b>
İnşaat	190,5	219,1	240,4	<b>270,7</b>
Tüketici Ürünleri	67,4	73,6	75,2	<b>79,3</b>
Korozyon Dayanıklı Ürünler	161,0	150,7	159,7	<b>170,7</b>
Elektrik	104,8	117,9	124,7	<b>135,8</b>
Deniz	124,7	138,1	144,8	<b>164,9</b>
Ulaşım	309,4	340,2	372,9	<b>428,9</b>
Diğer	33,5	37,8	40,4	<b>46,2</b>
<b>Toplam</b>	<b>1070,2</b>	<b>1157,1</b>	<b>1236,6</b>	<b>1380,4</b>

Kaynak: Anonim 2007a

#### 1.4.1. Denizcilik sanayi

Denizcilik sanayinde yelken gövdesi olarak cam takviyeli plastik (CTP), polimer köpük üstüne cam, aramid karbon dokumaları ile kaplama türü kompozitler kullanılırken, yat, tekne arka kısmın basamaklarında CTP, yelken direğinde kevlar+epoksi kullanılmaktadır.

#### 1.4.2. Korozyon dayanıklı ürünler

Korozyon dayanıklı ürünler olarak su tankı, mazgal olukları, yer altı boruları, marketlerde dondurulmuş gıda reyonlarının kaplaması, rasathane kubbesi, açık saha depoları, çitler, ilan panoları cam takviyeli plastiklerden yapılmaktadır.

#### 1.4.3. Sağlık

Sağlık sektöründe de uygulama alanı bulan kompozit malzemelere örnek olarak tekerlekli sandalyeler için cam veya karbon elyaf takviyeli poliester, tıbbi tetik cihazları için cam takviyeli poliester kullanılmaktadır.

<sup>1</sup> CTP: Cam Lifi Takviyeli Plastik

#### 1.4.4. Ulaşım

Ulaşım alanına bakıldığında traktör kaportası, kabin, taşıtlarda oturma birimleri, otobüs havalandırma kanallarında pot bagaj parçaları, gösterge panelleri, teleferikte, trenlerde cam takviyeli plastikler kullanılmaktadır.

#### 1.4.5. Spor araçları

Ağırlığın azalması dolayısıyla hareket kabiliyetini artmasına ve dayanıklılığın artmasına elverişli olmasından dolayı spor malzemeleri sahasında da yer bulmaktadır. Bu özellik için cam ve karbon elyaf takviyeli kompozitler kullanılmaktadır.

Kano, sörf ve yat gibi yorulma ve malzeme dayanımını istendiği özellikleri karşılayabilmektedir. Dağ bisikletlerine en iyi dayanım/ağırlık özelliklerini kazandırmak için karbon elyafıyla üretilmektedir. Bu malzemeye korozyon dayanımı, şok emme ve sağlamlık gibi özellikler kazandırmaktadır.

Golf sopası, tenis raketi de ağırlığı düşürmek için karbon elyaf takviyeli kompozitlerden üretilmektedir.

Su kayağı; Termoplastik Prepreg

Kar Kayağı; Ahşap üzerine sarılmış karbon, aramid, cam elyaf karışımı+epoksi

Kano Küreği; (%33 Cam+Poliftalamid)

Su Kaydırağı; cam takviyeli plastik (CTP)

Sörf Tahtaları; cam takviyeli plastik (CTP)

Bisiklet; (Karbon, Poliamid 6) (Bu şekilde 1 kg'a kadar ağırlıkta bisiklet üretilebilmektedir).

Spor Ayakkabı; Termoplastik Poliüretan, petek (honeycomb)

Golf Sopası; Karbon Lifi+Epoksi

Tenis Raketi; Aramid (Kevlar) +Epoksi

Zıpkın Gövdesi; Karbon Lifi+Epoksi

#### 1.4.6. Otomotiv

Otomobillerde atalet kuvvetinin az olması için düşük ağırlıklı olması istenir. Bu şekilde daha çabuk hızlanma ve yavaşlama yanında daha az tork ihtiyacından ötürü daha az yakıt harcaması olacaktır. Bu amaçla otomotiv sektöründe de kullanımı bulunmaktadır. Bunlar;

Cam Sileceği; %30 Cam+PBT

Filtre Kutusu; %35 Cam+ PA66

Pedallar; %40 Cam+ PA6

Dikiz Aynası; %30 Cam+ ABS

Far Gövdesi; %30 Cam + PBT

Hava Giriş Manifoldu; %30 Cam+PA6

Gösterge Paneli; cam takviyeli plastik (CTP)

Yan Gövde İskeleti; cam takviyeli plastik (CTP)

Kaporta; cam takviyeli plastik (CTP)

#### 1.4.7. Müzik aletleri

Müzik aleti yapımında da kullanılmaktadır. Bunlara örnekler;

Keman; Karbon Lifi+Epoksi

Gitar; Karbon tabakalar arası polimer köpük

Akustik gitar; Grafit-Epoksi

Çello; Karbon+Epoksi

#### 1.4.8. İnşaat

Kompozit malzemenin kullanıldığı bir diğer önemli sektörlerden birisi de inşaat sanayidir. Burada;

Köprü Tabanı, trabzani, yürüme yolları, taşıyıcı konstrüksiyon, bina cephesi, balkon korkuluğu, kapı, yüzme havuzu, kapım saçağı, yer karoları, bina kaplama panelleri, küvet, lavabo, sokak lambası cam takviyeli plastiklerden elde edilen kompozitlerde yapılmaktadır.

#### 1.4.9. Havacılık sanayi

İleri kompozit malzemeler havacılık sanayinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Buna hafiflikleri yanında üstün mekanik özelliklerin olması en önemli seçim etkenidir (Anonim,2006a).

Çizelge 1.4.9.1. Denizel Kompozitlerde Kullanılan Malzemelere Ait Bazı Özellikleri

Özellik Malzeme	Malzeme	Yoğunluk Kgm <sup>-3</sup>	Dayanım MNm <sup>-2</sup>	Rijitlik GNm <sup>-2</sup>	Özgül Dayanım (MNm <sup>-2</sup> /Kgm <sup>-3</sup> ) x 10 <sup>3</sup>	Özgül Rijitlik (gnm <sup>-2</sup> /Kgm <sup>-3</sup> ) x 10 <sup>3</sup>
<b>Ahşap</b>	Sitka	420	39	9,4	93	22
<b>Metal</b>	Alüminyum alaşımı	2700	420	73	156	27
	Titanyum alaşımı	4500	380	110	184	24
	Alaşımlı Çelik	7900	1100	215	139	27
<b>Kompozit</b>	Cam li takviyeli plastik	1700	550	30	323	18
	Karbon lif takviyeli plastik	1600	1200	190	750	119

Kaynak:Anonim 2007a

Kompozit malzeme takviye eden ve takviye edilen diye en az iki malzemedен meydana gelmektedir. Takviye edilen malzeme genelde matris malzemesi olarak anılmaktadır (Anonim 2006a).

Çizelge 1.4.9.2.Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler

Matris Malzemesi	Takviye Elemanları	Kompozit yapının şekli
Polimer	Polimer	Lif Takviyeli plastikler
Metal	Metal	Alüminyum Matrisli Kompozitler
Seramik	Seramik	Alaşımli Yapılar

### 1.5. Matris Malzemeleri

Çizelge.1.4.9.2’de de görüldüğü gibi matris malzemesi olarak polimerler, metaller, seramikler kullanılmaktadır. Polimer malzemelerin kullanımı % 90 civarındadır. Metal malzemeler büyük çaplı malzeme üretimi için pahalı ve çalışması zordur. Seramik malzemeler kırılğan olduklarından dolayı kullanım alanında sınırlamaları vardır. Ancak yüksek ısı dayanımı gerektiren yerlerde kullanımının sınırlı olması karbon matrisli kompozitlerin üretiminin zor ve pahalı olması ve dolayısıyla ancak yarış arabalarının ve uçakların fren balatalarında ancak kullanılabilmektedir. Ancak polimer esaslı matrisler güçlü yapıştırma, çevresel şartlara yüksek dayanım ve gösterdikleri yüksek mekanik özelliklerle birlikte maliyetinin düşük olması kullanım oranını genişletmiştir (Anonim 2006a).

#### 1.5.1. Polimer esaslı matrisler

Termoset ve termoplastik diye iki türde karşımıza çıkmaktadırlar.

##### 1.5.1.1. Termoset matrisler

En çok kullanılan matrislerdir. Sıvı halde bulunurlar, ısı veya kimyasal tepkimelerle sertleşirler. Yumuşama göstermezler, depolanması dondurularak yapılır. Oda sıcaklığında bekletilirse sertleşmeye başlar ve bir daha kullanılmaz hal alırlar. Kimyasal etkiler altında çözünmez ve sert hava koşullarında bile dayanıklıdırlar (<http://www.camelyaf.com.tr> 2007).

**Poliester:** Denizcilik ve inşaat alanında yaygın olarak kullanılır. Kompozit yapı olarak iki tür poliestere reçine vardır. Birincisi ortoftalik ki ekonomiktir, diğeri ise isoftalik bu da su dayanımı iyi olduğu için marine kompozitlerinde yaygınca kullanılmaktadır. Polimerizasyon için katalizör veya hızlandırıcıya ihtiyaçları vardır. Avantaj ve dezavantajları ise şunlardır;

- Kolay kullanım
- Düşük maliyet 0,5-1 \$/kg
- Sertleşme esnasında yüksek oranında çekme
- Zehirli sitiren gazı yayma
- Orta mekanik özellikler
- Kısa raf ömrü

**Epoksiler:** Geniş kullanımı vardır. Havacılık, spor, ulaşım, askeri ve deniz araçlarında kullanılmaktadırlar. Bazı avantaj ve dezavantajları ise şöyledir;

- İyi mekanik özellikler
- Suya dayanım
- 220°C'ye kadar ısı dayanımı
- Sertleşme sırasında düşük oranda çekme
- Yüksek maliyet 5- 25 \$/kg
- Cilde aşırı zararlı
- Doğru karışım son derece önemli (hayati)

**Vinil Ester:** Diğere bir matris malzemesi vinil ester olup avantaj ve dezavantajları aşağıda verildiği gibidir;

- Son derece kimyasal ve çevresel dayanım
- Poliesterden daha yüksek mekanik özellikler
- Aşırı sitiren içermesi
- Poliesterden daha pahalı 4- 7 \$/kg
- İyi özellikler için ikincil kür işlemi gerekir
- Sertleşme sırasında yüksek oranda çekme

**Bismaleimid (BMI):** Uçak motorları gibi yüksek ısıya maruz kalan yerlerde kullanılmaktadır.

- Son derece yüksek ısı dayanımı
- Çok yüksek maliyet 80 \$/kg

**Fenolikler:** Alev dayanımı olan yerlerde kullanılırlar. Uçak iç bölümleri, deniz araçlarının motorlarında ve demir yollarında kullanılırlar.

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük maliyet 4- 8 \$/kg
- Son derece zararlı
- Oldukça kırılğan
- Düşük yüzey kalitesi

**Silikon:** Silikon matris malzemesi yaygın olarak kullanılmamasıyla birlikte bazı avantaj ve dezavantajları şöyledir:

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Yüksek ısılarda ürün özelliklerinde değişim yok
- Kür işleminin tamamlanması için yüksek ısıya çıkılmalıdır
- Yüksek maliyet 30\$/kg den az

**Cynate Ester:** Uçak endüstrisinde kullanılır. Mükemmel yalıtkanlık ve 200°C'ye kadar sıcaklık dayanımı vardır.

Bu reçineler dışında kullanımı az olan poliimidler ve poliüretanda bulunmaktadır (Anonim 2006a).



### 1.5.1.2. Termoplastik matrisler

Termoplastik matrisler düşük sıcaklıkta sert halde bulunurlar ve ısıtılınca yumuşarlar. Termosetlere nazaran daha az kullanım alanına sahiptir. Ancak termosetlere nazaran üstün kırılma tokluğu, uzun hammadde raf ömrü, geri dönüşüm kapasitesinin ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç olmaması gibi avantajları vardır. İşlem sonrası tekrar ısıtılarak tekrar şekil verilebilir olması da ayrıca bir avantaj oluşturmaktadır.

Üretim zorlukları ve yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matris elemanı olarak kullanımı sınırlıdır. Yine oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi verirler, bu da üretim kaybına neden olur. Genelde kullanım sıcaklıkları 60°C ile 245°C arasındadır. Önceleri amorf yapılu polietersülfon (PES) ve polieterimid (PEI) kullanılmaktaydı. Havacılık sektörü için çözücülere karşı yüksek dayanım özelliğinin istenmesi polieterketon (PEEK) ve polifenilen sulfid (PPS) gibi yarı kristaller kullanılmıştır. Bunların yanında az miktarda da olsa poliamidimid (PAI) ve Poliimid gibi plastiklerde kullanılmaya başlandı. Bunların farkı, polimerizasyonlarını kür işleminde tamamlamalarıdır. En çok çalışma ise düşük sıcaklıkta çalışılan PA, PBT/PET ve PP gibi polimerler üzerine olmuştur. Bunların yanında da ABS, SAN, SMA (Stiren meleik anhidrit), PSU (polisülfon), PPE (polifenileter) de matris olarak kullanılmaktadır (Anonim,2006a).

Termoplastikler malzemenin çekme ve eğilme mukavemetini arttırmak için kullanılır.

## 1.6. Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Amaçlı Elyaf lar

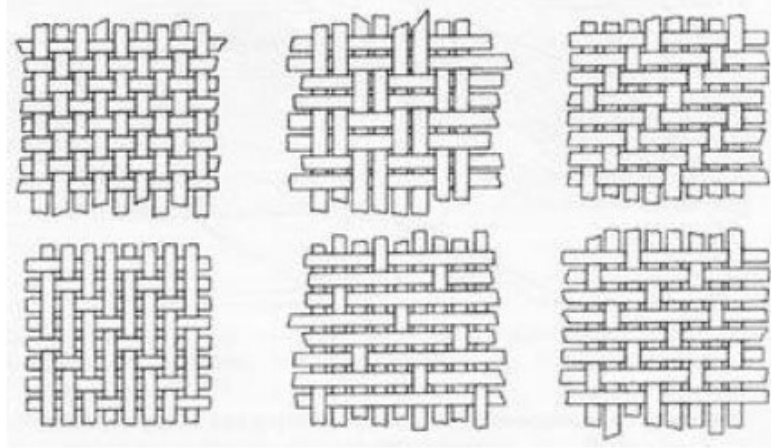
Takviye elemanı olarak elyaf ların kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır ve bu amaçla doğal, sentetik (naylon, aramid, poliest er, polipropilen, vb) ve inorganik (cam, karbon, boron, vb) gibi elyaf lar kullanılmaktadır.

([http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp\\_kaliplama\\_metodlari.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php) 2007)

En çok cam elyafı+poliest er, karbon elyafı+epoksi, aramid elyafı+epoksi bileşenleridir. Kompozit malzeme katlı tabakalar halinde veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. 1940'ların sonlarında geliştirilen cam takviyeli poliest er en yaygın kullanılanıdır. Bugün üretilen kompozit malzemelerin yaklaşık % 85'i cam takviyeli plastikler (CTP)'dir ve çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçları, paneller ve araba gövdelerinde kullanılmaktadır.

Takviye elemanları kompozit malzeme içerisinde parçacık, kesikli veya sürekli şeklinde üç farklı konumda bulunabilmektedir. Parçacıklar küresel biçimde olmamasına rağmen her yönde eşit boyuttadır denebilir. Çakıl, mikro balonlar ve reçine tozu parçacık için örnek olarak verilebilir. Eğer takviye elemanının bir boyutu diğer boyutuna nazaran çok yüksek olduğu durumlarda elyaf lar devreye girer ve bunlar kesikli ya da sürekli şeklinde takviye edilebilir.

Burada sorun elyaf takviyelerde oluşturulan kompozitin elyaf enine nazaran boyuna yönde kazanılan özelliğinin çok fazla olmasıdır. Bu durumda sadece elyaf doğrultusunda uygulanan kompozitler kullanılabilir ya da tabakasal şekilde birkaç katmandan oluşturulan kompozitler elde edilmektedir. Diğer bir alternatif ise elyaf ların tüm dayanımını her yönde eşit dağıtma için kumaş halde takviye ön plana çıkar (Anonim 2006a).



Şekil 1.6.1.Çeşitli takviye elemanı için doku yapıları  
Kaynak: Anonim 2007a

Günümüzde en yaygın olarak cam elyafı kullanılmasına rağmen gelişmiş kompozitlerde takviye elemanı olarak saf karbon elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı daha hafif ve dayanıklı olması yanında cam elyafında üretimi maliyetlidir. Bu yüzden hava araçlarını iskeletlerinde ve spor araçlarının metallerin yerine kullanılmaktadır. Karbon elyafından daha güçlü olan ise bor elyafıdır ancak bu üç elyaf içerisinde en pahalı olanı da bor elyafıdır.

Bu elyaflar yanında yüksek sağlamlık ve sertliğinden dolayı Kevlar da kullanılmaktadır. Ayrıca kevların sahip olduğu düşük yoğunluk yanında karbona nazaran ekonomik bir elyaftır.

Elyaf lar yönlendirme vasıtasıyla malzemeye anisotropik özellik katarken metallerde böyle bir durum olmadığı için isotropik özellikte bulunurlar (Anonim 2006a).

Kompozit malzemelerde kullanılan lifler:

- 1) Cam elyafı
- 2) Karbon (grafit elyafı) (PAN veya zift kökenli)
- 3) Aramid (Kevlar)
- 4) Bor Elyafı
- 5) Oksit Elyafı

- 6) Yüksek Yoğunluklu Polietilen Elyafı (UHDPE)
- 7) Poliamid Elyafı
- 8) Poliester Elyafı
- 9) Doğal Organik Elyaf

### 1.6.1 Cam elyafı

Cam elyafı silika özlü olup (50-60% SiO<sub>2</sub>) kalsiyum, boron, sodyum, alüminyum ve demir oksitlerden oluşmaktadır (Chawla K. K. 1987).

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinde üretilmektedir. Cam elyafı en yaygın olarak kullanılan elyaf türüdür. Cam elyafı bir ocakta eritilerek düzeden basılarak çekim sağlanır. Düzeden çıkan bu lifler soğutularak makaralara sarılmaktadır. Elyaf üretim esnasında dayanıklılığını %50 oranında kaybetmektedir. Ancak aramid ve karbon elyaflarından daha çok dayanıklılık göstermektedir. İşlem sırasında eklenen kimyasallarla farklı özelliklere sahip cam elyaflar elde edilmektedir.

A camı: Pencere ve şişelerde kullanılan camdır. Kompozit alanlarda kullanılmaz.

C camı; Yüksek kimyasal direnç göstermesinden dolayı kimyasal dayanımın istendiği depolarda kullanılan kompozit yapılarda kullanılmaktadır.

E camı: En çok kullanılan takviye elyafı türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım, düşük su emişi önemli özellikleridir.

S+R camı: Yüksek performanslı bir elyaf olması yanında maliyeti de çok fazladır. Bu yüzden yalnız uçak sanayinde kullanılmaktadır. Elyaf camının kullanım alanına bağlı olarak elyaf sarma yöntemleri de farklılık gösterebilir. Elyaf çapı ve demetteki elyaf sayısı farklılık gösterebilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranma dayanımını arttırmak için kimyasallarla bir kaplama işlemi gerçekleştirilir. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyaf kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılır. Elyaf ile reçinenin

birbirine yapışması çok önemlidir. İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden ayrılan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlığını düşürür. Bunu önlemek için bir ön işlem olarak elyaf kimyasallarla kaplanır (Anonim 2006a).

### **1.6.2. Karbon elyafı**

Karbon elyafı  $2,268 \text{ g/cm}^3$  yoğunluğunda saf bir yapıdır. Farklı kristalin formlarında bulunur. Grafit olarak bilinen yapıda karbon atomlarının altıgen formda olduğu, elmas yapısında karbon atomlarının rasgele üç boyutlu halde dağıldığı durumda bulunmaktadır. Grafit formu anisotropiktir ve 1000 GPa gibi yüksek modül verirken diğer yapıda ancak 35 GPa modül vermektedir (Chawla K. K. 1987).

Karbon elyafı, karbonun çok iyi elektrik iletmediği keşfedilince üretilmeye başlandı. Cam elyafının metale oranla sertliğinin az olmasından dolayı sertliği arttırmak için alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Karbon elyafı çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşır ve grafit olarak anılır. Karbon elyafı epoksi ile birleştiğinde olağan üstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Ancak üretimi pahalı olmasından dolayı ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır. Piyasada iki çeşidi vardır;

Sürekli elyaflar; Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve prepreglerde kullanılmaktadır. Bütün reçineler ile beraber kullanılabilir.

Kırılmış elyaf; Genellikle enjeksiyon kalıplamalarda ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılır. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorulma dayanımı, yüksek sağlamlık ve sertlik özellikleri vermektedir (Anonim 2006a).

### 1.6.3. Aramid elyafı

Piyasada Kevlar (Dupont) ve Twaron (Akzo Nobel) olarak bulunmaktadır. Farklı özelliklerin uygulamalarını karşılamak için birçok farklı özellikte aramid elyafı üretilmektedir.

Önemli Özellikleri;

- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktadır.
- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanımı
- Kevlar elyafı kompozitler cam elyafı kompozitlere göre %35 daha hafiftir
- E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı

Aramid elyafının dezavantajları

- Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlar maruz kaldığında bozulma göstermektedir. Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.
- Elyaflar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskobik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır (Anonim 2006a).

Genellikle polimer matrisler için takviye elemanı olarak kullanılabilirler. Bu kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır;

- Balistik koruma uygulamaları; Askeri kasklar, kurşun geçirmez yelekler
- Koruyucu giysiler; Eldiven, motosiklet koruma giysileri, avcılık giysi ve aksesuarları
- Yelkenler ve yatlar için yelken direği
- Hava araçları gövde parçaları
- Tekne gövdesi

- Endüstri ve otomotiv uygulamaları için kemer ve hortum
- Fiber optik ve elektromekanik kablolar
- Debriyajlarda bulunan sürtünme balatalarında ve fren kampanalarında
- Yüksek ısı ve basınçlarda kullanılan conta, salmastra vb.

Çizelge 1.6.3.1. Takviye Elemanı olarak kullanılan malzemelere ait bazı özellikler

Malzeme	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Modül (GPa)
E-Cam	2,55	2000	80
S-Cam	2,49	4750	89
Alüminyum Oksit	3,28	1950	297
Karbon	2,00	2900	525
Kevlar 29	1,44	2860	64
Kevlar 49	1,44	3750	136

Kaynak: Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının İncelenmesi, Y. Ulcay 2002

### 1.7. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Kompozit malzeme üretiminde istenen malzemenin özelliklerine ve bileşenlerine bağlı olarak birçok üretim yöntemi mevcuttur. Bunlar:

1. Elle Yatırma ( Hand lay-up)
2. Püskürtme (Spray-up)
3. Elyaf Sarma ( Filament winding)
4. Reçine Transfer Kalıplama RTM/ Reçine Enjeksiyonu
5. Profil Çekme/pulturuzyon (pultrusion)
6. Hazır Kalıplama/ compression moulding (SMC, BMC)
  - Tabaka Kalıplama (SMC: Sheet Moulding Composites)
  - Hacimli Kalıplama (BMC: Bulk Moulding Composites)
7. Vakum Bağlanma (Vakum bagging)
8. Otoklav Bağlama (Autoclave Bonding)

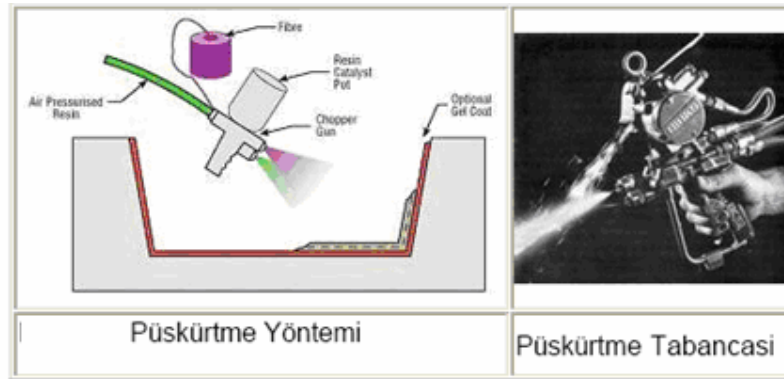
9. Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Glass mat reinforced thermoplastics (GMT)) ([http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp\\_kaliplama\\_metodlari.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php) 2007)

### 1.7.1. Elle yatırma (hand lay-up)

Dokuma veya kırılmış elyaflarla hazırlanmış takviye kumaşları kalıp üzerine elle yatırılarak üzerine sıvı reçine jelkot sürülür. Jelkot sertleştikten sonra elyaf katları yatırılır. Reçine ise kompozit malzemenin hazır olması için en son sürülür. En çok poliester, epoksi, vinil ester ve fenolik reçineler kullanılır. Yoğun işçilik gerektirir ve reçinenin elyafa nüfuzu çok önemlidir (Anonim 2006a).

### 1.7.2.Püskürtme (spray-up)

Kırılmış elyaflar kalıp yüzeyine içine sertleştirici katılmış reçine ile birlikte özel bir tabanca ile püskürtülür. Elyafın kırılma işlemi tabanca üzerinde bulunan ve bağımsız çalışan bir kırıcı ile gerçekleştirilir. Püskürtme işleminden sonra bir rulo ile yüzey düzeltilir (Anonim 2006a) .

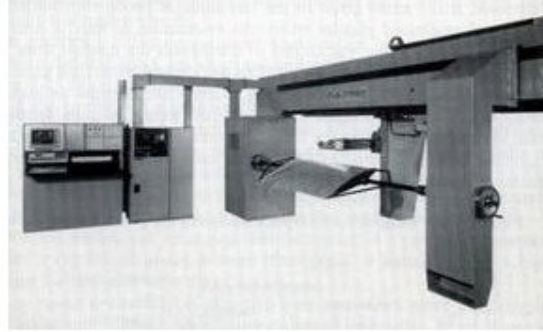


Şekil 1.7.2.1. Püskürtme Yöntemi



### 1.7.3.Elyaf sarma ( filament winding)

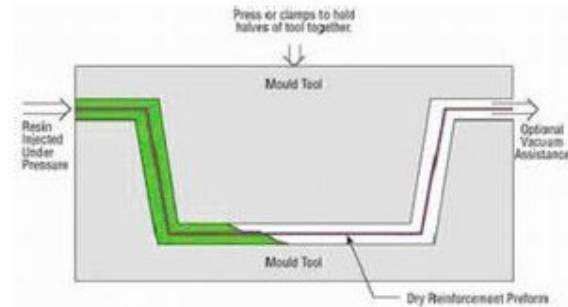
Burada sürekli elyaflar reçine ile ıslatıldıktan sonra bir makaraya çekilerek sarılmasıdır. Sürekli lifler makaraya farklı açılarla yatırılarak farklı mekanik özelliklerde elde edilebilir. Yeterli sayıda elyaf katı sarılarak ürün sertleştirilir. Ardından döner kalıp ayrılır. Bu yöntemle üretilen kompozitler genelde silindirik borular, araba şaftları, uçak su tankları, yat direkleri, dairesel basınç tankları örnek olarak verilebilir (Anonim 2006a) .



Şekil 1.7.3.1.Elyaf Sarma Makinesi

### 1.7.4.Reçine transfer kalıplama RTM/ reçine enjeksiyonu

Elle yatırma yönteminin daha hızlı gerçekleştirilen bir yöntemidir. Ancak burada iki parçalı kalıp gereklidir. Bu yöntem jelkotlu veya jelkotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması gereken durumda kullanılır.



Şekil 1.7.4.1. RTM Yöntemi

Takviye malzemesi keçe veya kumaş kullanılabilir. Kalıp malzemesi önce kalıp boşluğunu dolduracak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyaf lar kalıp içerisinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi engellenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Kalıp içerisinde havanın dışarı çıkması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılır. Kalıp kapalı olduğu için zararlı gazlar azalır ancak düzgünlükte azalır. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir (Anonim 2006a).

### **1.7.5.Profil çekme/pulturuzyon (pultrusion)**

Sürekli sabit kesitli parçaların üretildiği düşük maliyetli seri üretim için kullanılır. Sisteme beslenen sürekli takviye malzemesi reçine banyosundan geçirildikten sonra 120-150°C'ye ısıtılmış şekillendirme kalıbından geçirilerek sertleşme sağlanır. Kalıplar genellikle krom kaplanmış parlak çelikten yapılmaktadır. Sürekli elyaf kullanıldığı için takviye yönünde yüksek mukavemet elde edilir.

([http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp\\_kaliplama\\_metodlari.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php) 2007)

### **1.7.6.Hazır kalıplama/ compression moulding (smc,bmc)**

Hazır kalıplar içerisinde belli bir basınç altında kompozit elde etme yöntemidir.

#### **1.7.6.1. Tabaka kalıplama kompozitleri (SMC: sheet moulding composites)**

Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilmesi, metal parçalarının kalıp içerisine gömülmesi, farklı cidar kalınlıkları elde edilebilmektedir. Diğer kalıplardan elde edilemeyen delik gibi karmaşık yapılar elde edilebilmektedir. İki türü genellikle kullanılmaktadır.

SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25- 50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm kalınlığında üretilir.

([http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp\\_kaliplama\\_metodlari.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php) 2007)

#### **1.7.6.2.Hacimli kalıplama kompozitleri (BMC: bulk moulding composites)**

BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir. Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları şunlardır;

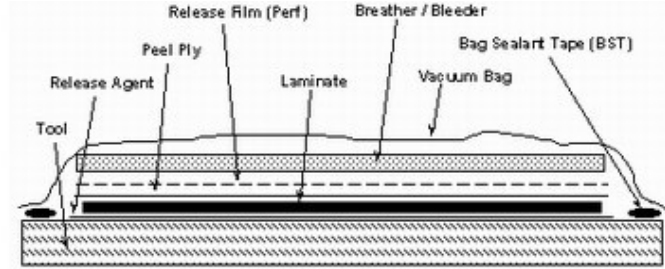
- Çok geniş tasarım esnekliği
- Düzgün yüzey
- Kolayca laklanabilme, boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi
- Geri dönüştürülebilme ve hazırlığında geri dönüşümü malzeme kullanabilme
- Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı
- Yüksek alev dayanımı
- Isı dayanımı
- Soğukta kırılma olmama, enjeksiyon kalıplama (injection moulding)

Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte ediliyor olmasındandır sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilmektedir (Anonim 2006a).

#### **1.7.7.Vakum uygulayarak bağlama (Vakum bonding / vakum bagging)**

Kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası en üst katman olarak yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle vakum torbası, yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonraki aşamada tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek

reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum uygulayarak bağlama yöntemi kullanılmaktadır(Anonim 2006a) .



Şekil 1.6.7.1. Vakum Uygulayarak Bağlama

### 1.7.8. Otoklav bağlama (Autoclave Bonding)

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını arttırmak için elyaf/reçine oranını arttırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek ısı ve basınç uygulayarak sağlanabilir. Vakum uygulayarak bağlama yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat 1 (bir) atmosfer basınçtan daha fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncının uygulanabilmesi için dışsal basınç ihtiyacı duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve karmaşık şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir. Otoklav kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum uygulayarak bağlama yöntemi ile benzerdir. Fırının yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlı üretim olduğunda yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır (Anonim 2006a).

### **1.7.9. Preslenebilir takviyeli termoplastik (glass mat reinforced thermoplastics GMT)**

Keçe türünde elyaf takviyesi içeren termoplastik reçine ile yapılmış plaka şeklinde preslenebilir kalıplamaya hazır özel amaçlı bir takviyeli termoplastik çeşidini tanımlamaktadır. GMT nin hazırlanması SMC ye benzemektedir. Ekstruderden çekilen bir termoplastik levha üzerine yumuşak haldeyken bir elyaf takviyesi yerleştirilir. Bu katmanların üzerine bir diğer termoplastik levhada yumuşakken yerleştirilerek soğuk hadde silindirlerinin arasından geçirilir. Sertleşen plakalar kesilerek preslenmeye hazır duruma getirilir (Anonim 2006a).

### **1.8.Gemi İnşaatında Kullanılan Malzemeler**

Yaygın olarak ticari gemi malzemesi çeliktir. Özgül ağırlığın önemli olduğu gemilerde alüminyum veya cam elyaf takviyeli plastikler kullanılmaktadır. İlk zamanlarda gemiler tahtadan yapılırdı. Bugün için bazı gezinti teknelerinin yapısı tahta olmasıyla birlikte diğer malzemelerle de kombine kullanılabilir. Bununla birlikte bazı yüzen havuz dipleri, dubalar ve dibe oturan açık deniz platformlarında takviyeli beton kullanılmaktadır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007). Günümüzde büyük bir çoğunlukta tekne yapı malzemesi CTP' den yapılmaktadır. Bunun nedeni cam lifinin yaygınlığı, bu malzemenin üstünlüğünden veya en iyi yat yapım malzemesi olmasından ziyade seri imalata imkan tanıyan tek malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Büyük ve orta ölçekli tersanelerin ulaştıkları yıllık üretim ve satış rakamları kalıp teknolojileri ile diğer malzemelere oranla çok kısa sürede tekne imalatına cam lifi kullanımı ile ulaşılmıştır. Bu yüzden ahşap veya metal tekne üretimi ya küçük işletmelerin ya da müşteriye özel üretimler için üretilmektedir. Bunun yanında belli boylardaki teknelerin gövdelerinde mukavemet için metal kullanılmaktadır (Anonim 2007c).

Gemi inşasında kullanılan malzemelerden bahsedildiğinde çekme, basma, kesme gerilimlerini karşılayabilme özelliği yanında sertlik, süneklik, kırılma, yorulma

dayanımı, yorulma ve yanma dayanımı gibi özellikler arzu edilmektedir (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

### **1.8.1.Gemi inşasında kullanılan çelik malzemeler**

Çelik, demir gibi malzemelerden ısı işlemlerle elde edilirler. Çeliğin ana bileşeni demir ve demir içerisinde sertlik miktarına bağlı olarak da karbon bulunmaktadır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Çeliğin teknik özelliği kimyasal yapısında sağlanan değişikliklerle elde edilir. Yapıda karbon miktarının artırılması ile çekme mukavemeti arttırılacağı gibi krom, nikel, manganez gibi atomların eklenmesi ile de arttırılabilir (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Gemi sektöründe fiyat özellik ve bulunabilirlik açısından yumuşak çelik kullanılır. Soğuk sıcak işlemlerde ve kaynağa uygunluk açısından bir problem çıkarmaz. Ancak çok düşük sıcaklıklarda darbe sertliğini kaybeder, kırılabilirlik kazanır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Çelik gemi yapımında 300 yıldır kullanılmaktadır. Çeliğin gelişimi ise II. Dünya savaşı akabinde perçin yerine kaynak teknolojisinin kullanılmaya başlanması, pas oluşumuna karşı tekniklerin gelişmesi ve boyanabilir yapıların ilerlenmesi ile sağlam ve güvenilir tekne yapımı için isteklerin artması ile olmuştur. Özellikle uzun seyahatlerde kullanılacak olan gemilerde seyahatçilerin tercihi olmuştur. Ancak CTP ve ahşap tekneler oranla daha ağırdır. Yapım, bakım ve tamiri kısıtlı imkanlarla mümkündür (Anonim 2007c).

Genelde gerilimin yüksek olduğu büyük tanker, dökme yük gemileri ağırlığın önemli olduğu savaş gemileri, ro-ro ferri ve yolcu gemilerinde yüksek gerilimli çelik kullanılır. Soğutulmuş şekilde sıvılaştırılmış LPG ve LNG taşıyan gemilerin tanklarında soğukta

kırılma eğilimi olmayan ve tanklarda korozif etkiye dayanıklı çelikler kullanılır (http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF 2007).

20. yüzyılın başlarında perçinli metal birleştirmeye başlayan metal tekne yapımı kaynak malzemelerinde gelişmeyle daha çok boy göstermeye başlamıştır. Çelik gövdelerin kumlanması ve etkin boya teknolojilerinden yararlanılarak paslanma sorununun da önüne geçilmiştir. Fakat kaliteli ve paslanmaz çeliklerden yapılan gemilerde korozyon oluşumu daha fazla meydana gelmiştir. Bunun akabinde kolay kaynak yapılabilen, deniz suyuna daha dayanıklı ve hafifliği ile alüminyum alaşım teknelere ortaya çıkmıştır.

Yatlarda kullanılan çelik malzemesi pahalı ve özel bir çelik değildir yalnız işleme ve mekanik özellikleri, farklı iyi kaynak yapılabilir tiptedir. Bu amaçla daha az karbon içermektedir. Akma sınırı  $240 \text{ N/mm}^2$  olan çelik gövde inşası için yeterlidir. Kullanılacak çelik yapı malzemesi için uygun olup olmadığını anlamak için bir mengene ile  $180^\circ$  derece bükülür. Eğer yırtılma yoksa yat malzemesi için uygundur denir.

### **1.8.2. Alüminyum alaşımları**

Gemi inşaatında kullanılan alüminyum alaşımları deniz tipi alüminyum olarak anılır. Alüminyum hemen hemen aynı akma mukavemetine sahip olmasına rağmen yoğunluğu çeliğin üçte biri kadardır. Ancak burkulma mukavemeti düşük olduğu için çeliğin verdiği özelliği ancak iki katı kadarlık bir ağırlıkta ile karşılayabilirler (http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF 2007). Alüminyum tekneler bakım gerektirmemeleri boyaya da ihtiyaç duymamaları, işleme kolaylığı hafiflikleri yanında sağlamlıklarının olması büyük bir avantaj sunmaktadır. Diğer taraftan elektrikli korozyona karşı iyi korunmuş olmaları gerekmektedir (Anonim 2007c).

Alüminyumun en önemli dezavantajı fiyat ve kaynak işleminde malzeme yüzeyindeki oksit tabakasının kaynak dolgusuna karışmaması için özel koruyucu gaz gerektirmesidir. Bu gün için çelik  $2,0 \text{ \$/kg}$  iken alüminyum  $12 \text{ \$/kg}$  değerindedir. Bu

alüminyumun yoğunluğu da göz önüne alınsa bile ancak bir üç oranında bir dezavantaj oluşturmaktadır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Bazen üst kısım alüminyum yapılır ancak bu durumda çeliğin elektro-kimyasal olarak alüminyum yemesine neden olur. Bu yüzden arada temas noktasında elektrolit ortam oluşturmayan ve emiş özelliği olmayan neopren ve benzeri malzemeyle izole edilir. Bindirme noktalarında çeliğin galvanize edilmiş olanı tercih edilir (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Çeşitli karışımlarla kendini deniz suyunun korozyonuna karşı dayanıklı kılan oksit yüzeyi sayesinde dış şartlardan kendini mükemmel korur. Tekne inşasında kullanılan alüminyum malzemeler alüminyum, mangan, silisyum karışımlarından meydana gelir. Alüminyum galvanik korozyona çok yatkın bir malzemedir. Bu nedenle başka bir metal ile karıştırıldığında korozyona uğrayan taraf olacaktır. Bu nedenle alüminyum diğer metallere karşı daima yalıtılmış olmalıdır (Anonim 2007c).

Diğer taraftan alüminyum alaşımlarına bugün için alüminyum matrisli kompozitler de ön plana çıkmaktadır. Sahip oldukları düşük yoğunluk, iyi mekanik özellikler alüminyum alaşımlarına alternatif olarak kendini göstermektedir. Alüminyum alaşımları suda klorid varlığında hızlı bir şekilde korozyona uğrar. Alüminyum matrisli malzemelerde korozyona karşı direnç sağlayacak, Mg gibi, takviye elemanları kullanıldığında korozyona karşı direnç artırılabilir (Traverso P. Ve Beccaria A. M. 1998).

### **1.8.3. Ahşap**

Tekne yapımında en eski malzeme ahşaptır. Modern yapım yöntemleri ile uzun ömürlü, hafiflik gibi avantajlara sahiptirler.

Kullanılan ağaç cinsi ahşabın ömrü, sağlamlığı, ağırlığı, rutubet ile hava sıcaklığına göre uzama katsayısı ve çarpılma eğilimi gibi parametrelere göre seçilir. Tekne malzemesi için ahşap kurutulmuş ve yaklaşık %15 nem barındırılmalıdır. Tekne suya



indiğinde bünyesine su alacak ve uzamaya çalışarak büyük kuvvetlere maruz kalacaktır. Bu nedenle özellikle karina bölgelerinde uzama katsayısı düşük ahşap cinsleri tercih edilir.

Diğer bir nokta ahşabın en güçlü tarafı teknenin en fazla zorlamaya kalacak şekilde kullanılmalıdır. Aynı yönde çekme yüklerinde ahşabın mukavemeti yarı yarıya azalır. Çeki için 1/16 oranında bası için ise 1/5 ile 1/10 değerine düşer.

Ahşap ne kadar dayanıklı ise o derece ağırdır. Bu nedenle tekne yapımında hava ve deniz şartlarına açık veya yüksek mukavemet gerektiren parçalar başka ağaçlardan yapılırken yük ve suya dayanıklılık istenen parçalar daha hafif ağaçlardan yapılmaktadır.

Teak, Iroko, Makore, Afrormosia gibi egzotik ağaçlar en uzun ömürlü olanlarıdır ve birinci sınıf olarak bilinene 25 seneden fazla ömrü olan grubu oluşturur. Meşe, Maun, Sipo gibi en ok kullanılan ağaçlar 15- 25 sene ömürle ikinci sınıfı, Oregon pine gibi ağaçlar üçüncü sınıfı oluşturmaktadır. İğne yapraklı ağaçlar üçüncü ve dördüncü sınıfta yer alır ve yük taşıyan ve su etkilerine açık anlarda kullanılmaktadır. Ancak malzemenin işleme özellikleri, mukavemet değerleri, fiyatları, yapıştırma gibi özellikleri seçimleri ömrünün yanında önemli rol oynamaktadır (Anonim 2007c).

#### **1.8.4. Kontrplaklar**

Masif ağacının aksine kontrplaklar ile çalışmak zordur. Ancak elyaf yönüne dik çekme mukavemetleri masif tahtadan yüksektir. Daima tek sayılı katmanlardan meydana gelir. Bu katmanlar elyaf yönünün birbirine 90 derece kesecek şekilde yerleştirilmesi ve özel yapıştırıcılar ile bağlanmasıyla elde edilir. Bu yüzden tekne inşasında kullanılacak kontrplağın sahip olması gereken özellikler özel olduğu için pahalıdır. İyi kontrplak 2 saat suda bırakılarak anlaşılabilir. İyi olanın iç kısmında dahil olmak üzere hiçbir çatlama veya deformasyon olmamalıdır. Dış katlar sert dayanıklı ağaçtan yapılırken iç kısmı enerjiyi sünmesi için yumuşak olmalıdır (Anonim,2007c).

### **1.8.5.Elyaf takviyeli plastik**

Elyaf takviyeli plastiklerde elyaf ya doku halinde ya da elyaf halinde matris malzemeye takviye edilerek elde edilir. En fazla poliester, vinil ester, epoksi, fenolik reçineler tercih edilir. Elyaf olarak ise cam elyafı (E glass veya daha mukavemetli S glass), karbon ya da aramid kullanılmaktadır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Hafifliği yanında yeterli mukavemete sahip olması, elastikiyeti ve yapım kolaylığı bu malzemenin aranan bir malzeme olmasını sağlamıştır. Bakımının hemen hemen hiç olmaması, üretiminin çok kolay olması en önemli avantajları arasındadır. Teknenin dış yüzeyinde bordasına renk veren jel katmanı (gel-coat) zamanla çatlayabilir ve renk özelliklerini kaybedebilir. Bir süre sonra teknenin tekrar boyanması ve bakımı gerekebilir. Zamanla delaminasyon ve osmoz gibi problemler oluşabilir. Şu an için dünyada ilk yapılmış cam lifi tekneler 50 yaş civarında olup hala sağlam ve güvenilir durumdadır (Anonim 2007c). Bu malzemelerin ise sahip olduğu özgül ağırlık, mekanik özellikler korozyon dayanımı, işlenebilirlik ve fiyat gibi avantajları kullanımlarını arttırmıştır (<http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF> 2007).

Elyaf takviyeli plastiklerde matris malzemeyi oluşturan reçine ağırlıklı olarak poliester reçine ve özel durumlarda epoksi kullanılmaktadır. Reçinelerin katılması için MEKP denilen organik peroksit katalizörleri kullanılır. Diğer bileşen olan takviye elemanı ağırlıklı olarak cam lifi özel durumlarda kevlar, bor, karbon gibi elyaflarda kullanılmaktadır. Takviye elemanı yapı olarak çeşitli formlarda olabilir. Bu formlar dokuma, örme, elyaf halde gibi değişik formlarda kullanılabilir (Anonim,2007c).

### **1.9.Cam Takviyeli Plastiklerin (CTP) Kullanım Alanları**

Cam takviyeli plastik (CTP) cam elyafı ile taşıyıcı bir reçinenin birleştirilmesi ile elde edilen kompozit bir malzemedir (Anonim 2005b).

CTP ortam koşullarına dayanıklı esnek, yeterli mekanik dayanıma sahip olmayan reçine ile yüksek mekanik dayanıma sahip cam elyafı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen makro ve mikro yapıdaki bileşendir.

Ağırlıklı olarak CTP için takviye elemanı olarak cam elyafı ve matris malzemesi olarak da poliestere reçine kullanılmaktadır. Reçine olarak genellikle termoset grupta yer alan doymamış poliestere reçine kullanılmaktadır. Bu reçine her türlü kalıplama tekniğine uygundur. Poliestere reçine genel olarak bir dibazik asit ile polihidrik alkollerin kondenzasyonu ile elde edilirler;



Dibazik türüne bağlı olarak farklı doymamış reçine elde edilir. Örneğin ortoftalik, izoftalik veya bisfenolik olabilir (Anonim 2005b).

Elyaf olarak kullanılan cam ise kum, alümina, kireç taşı, kolemanit, kaolin gibi malzemelerin 1600°C de eritilmesi ve sıvı halde platin/rodyum alaşımlı kovanlardan yüksek hızlarda çekilerek 10-25 mikron çapında üretilmektedir (Anonim 2005b).

Poliester reçine uygun kimyasallar kullanılarak cam elyafını da içinde barındırarak polimerize edilerek sert çözünmeyen, ergimeyen bir malzeme haline dönüştürülmektedir (Anonim 2005b).

Fiziksel performans takviye malzemesinin;

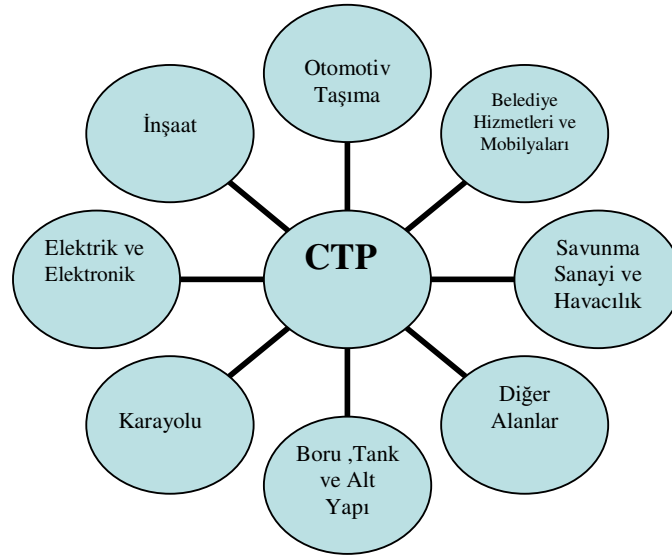
- CTP içindeki oranına
- CTP içindeki dağılımına
- CTP içindeki yönüne bağlıdır

CTP'nin en önemli avantajları ise şöyledir;

- Yüksek özgül mukavemet ve ısı özellikleri
- Mükemmel elastikiyet
- Hafiflik
- Yüksek korozyon dayanımı
- Mükemmel dielektrik nitelikleri

- Üstün boyutsal stabilite
- Tasarım esnekliği
- Kalıplama esnekliği
- Bakım gerektirmeme
- Çalınmazlık (hurda değeri yoktur)
- Kolay tamir edilebilirlik
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kendinden renklendirebilme olanağı
- Alev geciktirici katkıları ile alev direnci niteliği
- İstenildiğinde ışık geçirgenlik özelliği sağlanması
- Düşük araç-gereç maliyeti
- Yüksek amortisman süreleri (sonsuz ömür)

CTP'nin Kullanım Alanları :



Şekil 1.9.1.CTP Kullanım Alanları

Hafiflik ve kolayca monte edilebilirliği CTP'nin boru kullanımında adından söz ettirmektedir. Beton kalıplar, bina alınları ve köprüler bulunmaktadır. Fabrika içindeki yürüme platformları hem mukavemetli, hem kolay monte edilebilir hem de işletmesinde kullanılan kimyasallara karşı dirençli olmasından dolayı kullanım alanı bulmaktadır.

Su, kimyasal depolama gibi alanlarda konteynır olarak kullanılmaktadır. Açık alanlarda 100000 m<sup>3</sup>'e kadar depolama sunabilmektedir (Anonim 2005b).

Su arıtma ve dağıtma oluklarında da kullanılmaktadır.

Yine inşaat alanında evlerin cephe kaplamalarında tek yada çift cidarlı yapılabilmekte araya izolasyon malzemesi ile de iyi bir yalıtım sağlanabilmektedir. Betonun korumak içinde kaplama yapılabilmekte. Metro istasyonlarının iç yapısı, kapalı mekanların kaplanması eski binaların restorasyonu için de kullanılmaktadır (Anonim 2005b).

Hazır modüler banyo olarak kısa bir sürede kurulabilmekte ve istenildiğinde başka bir yere taşınabilmektedir. Çocuk parkları ve eğlence yerlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Deniz korozyonuna açık iskelelerde, yatlar, gemi güverte ve direkleri, çarpma kuvvetine karşı ve hafifliğinden dolayı yatların gövdeleri CTP uygulama alanına girmektedir (Anonim 2005b).

Taşıyıcı profiller içerisinde yüksek gerilim taşıyan elektrik direkleri hem ömür hem de elektrik yalıtımı özelliğinden dolayı kullanım alanı bulmaktadır (Anonim 2005b).

Otobüs durakları, dekorasyon ve ucuz olmasından dolayı CTP'den yapılmaktadır. Su dolapları, ilan panoları, büfeler, parmaklık ayıraçları, süsleme birimleri, çöp kutuları şehircilik için kullanılan birkaç örnektir (Anonim 2005b).

Rüzgar jeneratörleri için de büyük bir potansiyel göstermektedir.

Otomobil sektöründe komple veya kısmi olarak arabaların gövde parçalarında kullanılmaktadır. Özellikle cam ve karbon elyafı takviyeli makas ve amortisör yayları

CTP'den üretilmektedir. Vagon sanayinde vagonların gövdesinin tamamı, dekorasyonu, toplu taşıma araçlarının ve statlarda oturma grupları da diğer bir kullanım alanıdır.

Karayollarında tabelalar, ışıklar da CTP'nin bir diğer uygulama alanıdır (Anonim 2005b).

Görüldüğü gibi CTP uygulamaları geniş bir alan ve pazar kapsamakta ve giderek de artış göstermektedir.

### **1.10.Yorulma**

Malzemeler tekrarlı yükler karşısında uygulanan yük kopma yükünün altında olsa bile kopma davranışı gösterir. Pratikte ise malzeme tekrarlı yüklere maruz kalırlar. Dolayısıyla malzeme tasarlama esnasında kullanım yerine göre bu yorulma davranışı göz önünde bulundurulmalıdır.

Yorulma davranışı ya belli yükler altında malzemenin mukavemet değerindeki değişim olarak ya da belli yüklemeler altında şekil değişimine karşı gösterdiği direnç deki değişim olarak ifade edilir (Altunsaray 2005).

Yorulma tespiti için yükleme tipi önemli bir kriterdir. Yükleme tipi malzemenin kullanım yeri göz önünde bulundurularak seçilir. Bu amaçla şu yorulma testleri yapılabilir:

- Çekme Yorulma Testi
- Bası Yorulma Testi
- Eğilme Yorulma Testi
- Kayma Yorulma Testi
- Biaksiyal Yorulma Testi
- Burkma Yorulma Testi

Bu yorma tiplerinden herhangi biri veya bir kaç birliktte uygulanabilir. Sonuçta seçilecek yükleme tipi malzemenin gerçekte nasıl bir yüklemeye maruz kalacağı düşünülerek uygulanır (Hodgkinson J.M. 2000).

Metallerde yorulma çatlak oluşumu, büyümesi ve ardından kopması şeklinde kendini gösterirken lif takviyeli plastik kompozit malzemelerde durum biraz daha karışıktır. Lif takviyeli plastik kompozit malzemelerde başarısızlık lif kırılması, matris çatlama, delaminasyon ve katman ayrılması şeklinde dört farklı tipte olabilir (Hahn 1981).

Malzemenin yorulma şeklide diğer önemli bir parametredir. Çekmeye maruz bırakılan bir malzemede yapı içerisinde bulunan bileşenler ve bu bileşenlerin kurmuş olduğu ara bağ önemli iken basıya maruz bırakılan bir yapıda ara bağ en önemli unsur teşkil etmektedir (Reis P.N.B. ve ark. 2007).

Tek yönlü sürekli lif takviyeli kompozitlerde lif yönlerine doğru mükemmel bir yorulma direnci gösterir. Bunun nedeni tek yönlü malzemeye gelen yüke karşı genelde yük dayanımı çok iyi olan lifler tarafından karşılanmasıdır. Gerçekte ise kompozitler lamine formunda kullanılmaktadır. Her bir katmandaki yönlenme farklı olduğu için bazı katmanlar yükleme boyunca diğerlerinden daha zayıf kalmakta ve son çatlak oluşmadan önce fiziksel bir hasar kanıtı göstermektedirler. Fiziksel hasar genelde lif matris ara-bağın kopması, matris çatlama, lif kopması veya boşluk büyümesi gibi bir veya birkaç formda oluşabilir. Metallerde hasarın başlangıcı ile çatlak hızlı bir şekilde büyür ve kendini kopma ile gösterir. Kompozit malzemelerde ise hasar yorulma ömrünün başlangıcında oluşmasına rağmen büyüme kompozitin iç yapısı tarafından bloke edilebilir. Kritik uygulamalarda kompozite gelen yükler hasar oluşturacak yüklerden daha az olmalıdır. Tek bir katmandaki hasar genellikle laminelerin elastik özelliklerinin zayıflamasına yol açar ve sonunda yapısal hasar meydana getirir. Ancak yine de tek katmanda meydana gelen hasar kompozitin hasarının tespitinden çok uzun zaman önce meydana gelir. Bu nedenle kompozit malzemelerde hasarın tespiti değişiklik gösterir. Deformasyonun veya rijitlikteki değişimin sınırlandırıldığı uygulamalarda tamamıyla bir kopmanın yerine rijitlikteki düşüş çatlak kriteri olarak ele alınabilir. Metallerde ise iki kriter göz önüne alınır. Eğer çatlak çok büyük değil ise metallerde rijitlik çok az etkilenir. Bu önemli sebepler nedeniyle kompozitlerde dizayn prosedürü metallerdeki gibi basit bir ekstrapolasyon değildir (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

Diğer taraftan kompozitlerde yorulmanın dışında darbe dayanımında önemli ve etkili bir parametredir. Darbe olayında yapı içerisinde farklı ve karmaşık olaylar meydana geldiği için tespiti ve analizi de zordur. Bu etkenleri şöyle sıralayabiliriz:

- Geniş çatlamlar ve kayma çatlakları membran etkisi daima etkilidir.
- Bölgesel kuvvetler gayri-lineer bir davranış verir.
- Darbenin dinamik bir olay olması
- Darbe, iç çatlamlar, mikro yüzey çatlama, lif çatlama ve matris bozunmasını da içeren farklı sayıdaki etkileşimin bir fonksiyonudur.
- Çatlama olayı sadece bileşenlerden değil aynı zamanda diğer test parametrelerinde de etkilenmektedir.

Yorulma davranışını ise küçük darbelere diğer çevresel etkenlerin eklenmesiyle oluşan hasar olarak düşünülebilir ( Sutherland L.S. ve Soares C.G. 2006).

#### **1.10.1.Yorulma hasarı ve kompozitin özelliklerine etkisi**

Kompozitlerin yorulmasında hasar başlangıcı ve büyümesi birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. İlk hasar oluşumu liflerin matristen ayrıldığı yükleme yönüne dik veya geniş açı yapacak şekilde lifçe zengin olan katmanlarda olduğu kabul görmüştür. Lif-matris arabirimdeki yüksek gerilim veya gerinim bu ilk çatlak oluşumundan sorumludur. Çatlak oluşuktan sonra lif-matris arabirimdeki lifler arasında yayılmaya başlar. Çatlak genellikle yük eksenine diktir ve tüm katman boyunca yayılır. Kesit katman çatlak oluşumu, uygulanan gerinimin katmanın mukavemetinden daha büyük olabilmesi sebebiyle yüklemenin ilk devrinde oluşabilir. Kesit katman çatlak sayısı gerinimin artışıyla veya devir sayısındaki artışla birlikte artmaktadır. Rastgele yönlendirilmiş lifli kompozit malzemelerde ilk hasar aynı şekilde gerçekleşmektedir. İnce bir lamine üzerine yapılan çekme testinde, ilk hasar izi çekme mukavemetinin %30'u civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda da ilk hasar uygulanan yük doğrultusundadır. Genellikle ilk hasar bağlanmanın ortadan kalkması şeklindedir. Dolayısıyla kompozit malzemede uygulanan yük doğrultusuna geniş açı yapan liflerde meydana gelir.



Kesit katman çatlakları katman genişliği boyunca büyüme gösterir fakat yükleme yönünde yönlenmiş komşu bir katmanın içine doğru bir büyüme göstermezler. Bu nedenle kesit katman çatlakları iki katman arasındaki arabirim tarafından sonlandırılır.

Bununla birlikte çatlak tipi kendi üzerinde bir gerilim oluşturur. Tabakalar arası yüksek gerilim katman arabiriminde tabakalar halinde dizilim gösteren çatlakların oluşmasına neden olur. Devir sayısı arttıkça oluşan tabakalar arası çatlak sayısı da artış gösterir. Tabakalar arası çatlak görününce bir başka hasar tipi ortaya çıkacaktır. Katman boyunca yerleşmiş olan lifler kırılabilir ve bağ kopabilir. Böylece boyuna çatlaklar gözükmeye başlayabilir. Boyuna katman çatlağı kesit katman çatlağında olduğu gibi herhangi bir yol izlemez.

Kompozit malzeme, kopma noktasına boyuna katman çatlağı ve tabakalar halinde çatlakların etkisi ile ulaşmaktadır. Boyuna katman çatlağı gelen yükü karşılayan boyuna katmanlara göre daha zayıftır. Tabakalar halinde çatlakların oluşumu katmanlar arası yük dağılımını engeller. Boyuna katmanların en zayıfı kopma gösterir ve kalan diğer katmanların kopuşunu tetikler. Bununla birlikte malzemenin son çatlağından sorumlu olan tabakalar halindeki çatlak, yorulma ömrünün %90'ını gibi yorulma testlerinin sonlarına doğru tespit edilebilmektedir. Bu kabul ilk Broutman ve Sahu tarafından yapılmış ve Dally ve Agarwal tarafından doğrulanmıştır.

Lif kırılımı sonucu oluşan süreksizlik lif-matris arabiriminde yüksek kesme gerinimleri meydana getirmektedir. Kompozit içindeki zayıf arabirim, matris içinde yorulma çatlakları oluşmadan önce arabirimde kesme kırıkları oluşturacaktır. Çatlak dallanması ve çekme kırıkları çatlak etrafındaki yükleri bir miktar hafifletecektir ve dolayısıyla zayıf lif-matris arabirim kuvveti sebebiyle malzemenin yorulma ömrünü arttıracaktır. Düşük gerinimlerdeki plastikleşmede çatlak tipini kesmekte ve böylece çatlak büyümesini engellemektedir.

Yorulma çatlağı life ulaştığı zaman 3 yoldan büyüme yapar. Zayıf arabirimli güçlü liflerle çatlak büyümenin düzlemsel olmayan modu ile çatlak lifle by-pas yapabilir. Arabirim çok kuvvetli olduğunda ise çatlak üzerindeki yüksek gerilim lifi

etkilemektedir. Sünek lifler yüksek çatlak gerilmesine duyarlıdır dolayısıyla çatlak büyümesi çok hızlı gerçekleşir. Kırılgan liflerde ise durum tam tersidir.

Uzama ve çatlağın ilerlemesi farklı araştırmacılar tarafından farklı metodlar kullanılarak araştırılmıştır. Metalografik teknik tarafından geliştirilen iç kısımlardaki optik mikroskopisi direkt bir yöntem olup en çok kullanılan metottur. Bu metot hasarın karakterini yansıtmada en etkili yoldur. Belirlenen bir alanda oluşan çatlak sayısından yola çıkarak hasarın büyümesi tespit edilebilir. İç hasarı ölçmek için suya daldırıp elde edilen ağırlık kazancı McGarry gibi çok önceki araştırmacılar tarafından kullanılmış ama her zaman mantıklı sonuçlar alınmamıştır. Bozucu olmayan denetleme teknikleri yorulma hasarını belirlemek için yeni yeni geliştirilmektedir. Bu teknikler, ultrasonik, holografik interferometri ve X ışınları radyografisi içermektedir. Statik ve dinamik modül gibi yapısal özelliklerdeki değişim ve yorulma yüklemesi esnasındaki sıcaklık artışı iç hasarın tespitinde gösterge olarak kullanılabilir. Fakat yinede yapısal özellikler ile iç hasar arasında kesin bir korelasyon elde edilememiştir.

Kompozitin rijitliği ve mukavemetindeki düşüşü ile iç çatlak oluşur. Broutman ve Sahu cam epoksiler için kalan mukavemet ve modülü incelemiştir. Kalan mukavemet ve rijitlik çatlak yoğunluğunun artışıyla azalma göstermektedir.

Belli bir gerilim değerinde devir sayısı arttıkça statik mukavemet kademeli bir düşüş gösterir. Bu düşüşün büyük bir kısmı yorulma ömrünün %25'lik kısmında oluşmaktadır. Başlangıçtaki mukavemet kaybının sebebi karşı katmanlardaki çatlaklardan kaynaklanmaktadır. Boyuna çatlakların tabakalar arası çatlakların büyümesi yavaş olduğu için mukavemet kaybında düşüş de yavaş olmaktadır. Güçlü katmanların kırılması ile de mukavemet kaybında ani bir artış olmaktadır. Bu düşüş bireysel katmanlarda etkisi fazladır ancak toplam malzemede etkisi yavaştır. Tanimoto ve Amijima cam kumaş takviyeli poliester reçinenin yorulmasını incelemiştir. Tabakalar arası kalan kesme mukavemeti kalan çekme mukavemeti ile aynı eğilimi gösterdiğini yayımlamışlardır. Hahn ve Kim cam epoksi üzerine yaptıkları çalışmanın sonucunda yorulma yüklemeleri ile birlikte kesme modülünde bir düşüşün olduğunu elde

etmişlerdir ve bu düşüşün sebebinin malzeme içinde meydana gelen iç hasar sebebiyle kaynaklandığını ortaya çıkarmışlardır.

İç çatlaklar yanında malzemenin sıcaklığının yükselmesi de bir çok özelliğin değişmesine sebebiyet vermektedir. Dally ve Broutman karşı katman malzemesinin yorulması esnasında frekans arttığında sıcaklıkta artışın anlamlı bir değişimi olduğunu belirtmişlerdir. Cessa ve arkadaşları cam takviyelendirilmiş polipropilen üzerine eğilme testi uygulamışlar ve devir sayısı ile yükteki kaybı analiz etmişlerdir. Ayrıca polimer matrisli kompozitlerde yaygın olan viskoelastik enerji dağılımı sebebiyle oluşan sıcaklık yükselmesi malzemenin zayıflamasına ve dolayısıyla yorulma ömrünün kısılmasına yol açmaktadır. İzotermal şartları koruyabilmek için numunelerini soğuttuklarında rijitlikteki değişim başına düşen devir sayısında ve malzemenin yorulma ömründe büyük ölçüde bir artışın olduğunu göstermişlerdir (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

### **1.10.2. Kompozit malzemenin yorulma davranışını etkileyen parametreler**

Yorulma deneyleri uygulanan gerilime karşı kopma gerçekleşinceye kadar olan devir sayısına göre çizilmesiyle elde edilen grafiklerdir. Bu grafik genelde S-N grafiği olarak anılır. Ordinat eksenini genellikle gerilim veya gerinim veya bir devirdeki gerilim veya gerinim olmakta ve doğrusal bir skala ile çizilmektedir. Apsis eksenini ise + logaritmik olup kopma gerçekleşinceye kadar olan devir sayısını göstermektedir. Öte yandan devir sayısına karşı rijitlikteki düşüş yorulma davranışını tespitinde de kullanılır. S-N eğrisi metaller, polimerler ve kompozit malzemeler için negatif bir eğime sahiptir. Çünkü devir sayısı arttıkça gerilimde bir düşüş meydana gelmektedir. Kompozitlerde eğrinin şekli birçok parametreden etkilenmektedir;

- Matris malzemenin cinsi
- Katman oryantasyonu
- Takviyelendirme hacimsel oranı
- Arabirim özellikleri
- Yükleme tipi
- Ortalama gerilim

- Ortalama Frekans
- Çevre Şartları

Cam takviyeli poliester kompozitlerde su ve nem varlığında mekanik özelliklerini koruması istenir. Kompozit malzemelerde su molekülü kapilariteden dolayı lif matris arasına girer. Dolayısıyla polimer matris ve lif matris arabirimi doymamış grupların suyla hidroliz reaksiyonu ile zarar görür. Sonuçta kendini bağların kopması şeklinde gösterir (Huang G. ve Sun H. 2007). Diğer taraftan eğer yapı su moleküllerinin girişine izin vermeyecek şekilde ön kondens yapılmışsa böyle bir etkinin olmaması beklenmektedir.

Yorma esnasında farklı frekanslarda yüklemenin yapılması literatürde araştırılmıştır. Genel olarak 10 Hz ve daha aşağıda bir frekans ile yükleme yapmak ısınmadan kaynaklanacak yorulmayı minimize edecektir ( Sakin R. ve ark. 2006).

Yorulma için diğer bir önemli parametre yükleme tipidir. El-Assal A. M. ve Khashaba'nın (2007) eğilme ve burkma yükleri altında yaptıkları çalışmalarda burkulma yorulma mukavemeti eğilme yorulma mukavemetine göre daha azdır.  $10^7$  yükleme altında burkma/eğilme yükünün her ikisinin dayanma limiti yalnız burkmanın 8,5 katına eşit olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan yapının yorulma mukavemetinin yalnız eğilme yorulmasının yarısına eşit olduğunu bildirmektedir (El-Assal A. M. ve Khashaba U. A. 2007) .

Test şartları diğer önemli bir parametredir. Yazıcı ve Ülkü'nün (2003) yaptıkları cam lifi takviyeli poliester matrisli kompozitlerde çekme testinde çekme hızının artmasıyla kompozitin mukavemetinde düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni cam ve poliesterin sert ve kırılğan olması en önemli etken olmasıdır. Diğer bir neden lif-matris arasındaki bağın kuvvetidir. Yükleme hızı arttıkça ısının difüzyonu için yeterli zaman olmadığı için içerde ısınmalara ve dolayısıyla ısıl bir hasara neden olacaktır (Yazıcı M. ve Ülkü S. 2003).

Booler cam takviyeli plastik tabakalar üzerinde matris malzemesinin yorulma mukavemetine olan etkisini arařtırmıřtır. Davis ve arkadařları (1980) cam lifleri farklı rećineler içerisinde kullanmıř ve en iyi sonuçları epoksi rećinelerde almıřlardır. Ayrıca bunların yüksek mukavemet ve düřük büzülme ećilimleri vardır ve cam lifleri mükemmel baćlanma göstermektedirler (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

Lif yöneliminin etkisi oldukça karmaşıktır. Her ne kadar tek yönlü kompozitlerde lif yönündeki mukavemet maksimum olsa da yorulma optimum dećildir.  $0^\circ$  li ve  $90^\circ$  li tabakalar kıyaslandığında  $0^\circ$  olanda lif kırılımlının sonucu kötü mukavemet ve yorulma özellikleri sunarken  $90^\circ$  olanda ise bası katmanlar yorulma davranışını iyileştirmektedir. Dićer taraftan dokusuz yüzeyler dokuma yüzeylere kıyasla daha yüksek mukavemet dećeri sunmaktadırlar. nk dokusuz yüzeylerde dokunmuş yüzeylerde olduću gibi kırılma yoktur paralellik vardır. Bu nedenle dokusuz yüzey optimum statik ve yorulma özellikleri sunmaktadır.

Katmanların yönlenmesi yanında paketlenme de yorulma ömrüne etki etmektedir. Foye ve Baker (2005) bir laminadaki katmanlara ( +15/ +-45) kadar dećiřtirdiklerinde yorulma mukavemetinde 25000 psi'lik bir fark oluřturmaktadır. Bu durum Pagano ve Pipes tarafından laminala arası gerilim incelenerek açıklanmıřtır. Laminalar arası gerilim paketlenme sırası dećiřtirerek bası ve gerginlik dećiřiminden gelen laminalara normal olduklarını göstermiřtir. Bu da yorulma yk kabiliyetinde dećiřikliliće sebep vermektedir. Whitney paketlenme sırasında kompozitin yorulma davranıřı üzerinde etkisi ile ilgili benzer etkilerin oldućunu bulmuřtur (Anonim 2005b).

Amijima ve Tanimato cam lif takviyeli kompozitlerde cam lif ierićinin yorulma davranıřı üzerine etkisini arařtırmıřlardır. Yaptıkları alıřma sonucunda cam ierićinin artıřı ile poliester rećinenin yorulma mukavemeti her iki ekseninde de artmaktadır. Yorulma mukavemetindeki bu artıř lif hacimsel oranıyla doćru orantılı olarak artan statik mukavemetten kaynaklanmaktadır. Booler ve Davis tarafından yapılan arařtırmaya göre cam kumař takviyeli epoksi rećinelerde yorulma mukavemeti lif aćırlıćının %63 ila %80 arasında baćlı olmadıćını ileri sürmüřlerdir. Optimum yorulma mukavemeti kütlece %70 cam lifi oranında meydana gelmektedir (Anonim 2005b).

Hofer ve arkadaşları da arabirim bağı yorulma mukavemeti üzerine etkisini araştırmıştır. Kuru şartlar altında yapı en çok mukavemet değerini verirken nem miktarı arttıkça yorulma mukavemetinde de düşüş görülmektedir (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

Statik mukavemet de olduğu gibi yorulma mukavemetinde de boyuna kesme ve gerilim yorulma mukavemetleri oldukça bağımsızdır. Kesme yorulması birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Pipe'nin yaptığı bir araştırmaya göre cam epoksi kompozitin son statik mukavemete göre tabakalar arası kesmesi boyuna gerilimine göre daha yüksektir. Cam epoksilerdeki bu eğilim yüksek modüllü lif takviyeli kompozitlerde farklılık göstermektedir. Boyuna yorulma mukavemeti kesme yorulmasına göre daha yüksektir. Agarwal ve Joneja'nın tek yönlü cam epoksi üzerinde yaptığı eğilme yorulma çalışmasında kompozite enine yönde yorulma oluşturan periyodik yüklemeler kompozitin rijitliğinin çok ani bir şekilde düşüşe maruz bıraktığını bulmuşlardır. Bu da lif ile matris arasında bağı koptuğundan ileri geldiği ileri sürülmektedir (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

Ortalama gerilim değeri belirli bir ömür içinde artmasıyla daha fazla mukavemet kaybı olacaktır. Negatif ortalama mukavemet için gerilim aralığı sıfır ortalama mukavemet değerine göre daha geniştir. Verilen bir ortalama gerilim için periyodik ömür gerilim aralığı arttıkça azalmaktadır. Kompozit malzemelerde ortalama gerilimin yorulma mukavemeti üzerindeki etkisi metal malzemelere benzemektedir. Metallerde olduğu gibi gerilim aralığı ortalama gerilim ile doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Deneysel çalışmalarca doğrulanan Goodman-Boole eşitliğine göre belirli bir yorulma ömrü için o ortalama gerilimde yorulma mukavemeti tarafından normalleştirilmiş gerilim aralığındaki azalış gerilim-kopma mukavemeti tarafından normalleştirilmiş ortalama gerilime eşittir. Goodman-Boole eşitliği;

$$S_A / S_E = ( 1 - ( S_M / S_C ) ) \dots\dots\dots (1.9.2.1)$$

$S_A$  ve  $S_M$  değerleri sırasıyla gerilim aralığı ve ortalamasını,  $S_E$ , sıfır gerilimdeki yorulma mukavemetini,  $S_C$  ise kopma mukavemet gerilimini ifade etmektedir.

Dally ve Broutman yükleme frekansının numune içindeki sıcaklık yükselmesini etkilediğini bulmuşlardır. Diğer taraftan karşı kesit ve izotropik malzemelerin yorulma ömürleri frekanstan büyük ölçüde etkilenmektedir. Frekans ve sıcaklık yükselmesi arttığında yorulma ömründe bir düşüş gözükmektedir. Yorulma ömrünün frekansa ve bunun sonucunda sıcaklık yükselmesine bağlı olmaması cam liflerinin bu sıcaklık aralığında etkilenmemesinden kaynaklanmaktadır (Bhangwan D. A., Lawrence J. B. 1980).

### **1.10.3.Yorulma hasarı ve yorulma ömrü için tecrubi eşitlikler**

Özel uygulamalar için deneysel yolla malzemenin yorulma davranışı tespit edilebilir. Dizayn problemlerinde bunun tersini kullanmak pratik olarak mümkün değildir. Bu amaçla dizayn için bazı basitleştirilmiş eşitliklerin oluşturulması istenmiştir.

Broutman ve Sahu yorulma için ileri sürdükleri teoride mukavemetteki düşüş statik mukavemet, yorulma mukavemeti ve uygulanan yük periyodu arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Bu teori gerçek yapılarda olduğu gibi yükleme periyodunun zaman içinde değiştiği durumlarda toplam yorulma hasarının için de oldukça elverişlidir. Bununla birlikte bu teori farklı materyaller için ayrılmış S-N eğrisinin belirlenmesi gerektiğinde dizayn analizleri için kullanılmaktadır. Mendel çatlak büyüme oranını maksimum gerilim-yoğunluk faktörüyle ilişkilendirmiştir. Bu durumda bile yorulma mukavemeti dizayn problemleri için yorulma ömrü için ilişkilendirilmiştir.

Hasin ve Rotem kompozitin statik mukavemeti ile yorulma mukavemeti arasında ilişkiyi şöyle açıklamıştır;

$$F = S f(R, N, n, x) \dots \dots \dots (1.9.3.1)$$

F ve S sırasıyla yorulma ve statik mukavemetleri göstermektedir. F fonksiyonu ise yorulma periyodundaki gerilim oranı R, yorulma ömrü N, yükleme periyodunun frekansı n ve tek yönlü kompozitteki lif yönlenmesinin x bir fonksiyonudur. Ancak yinede f fonksiyonu deneysel olarak hesaplanmalıdır. Bu, dizayn analizine uygulanabilmesi açısından yapılmış bir limitasyondur.

Kompozitin S-N eğrisi genellikle şu eşitlik ile verilir;

$$S/u = m \log N + b \dots\dots\dots (1.9.2.2)$$

S : Gerilim aralığı,

u: Son çekme mukavemeti

m ve b malzeme sabitleridir.

Bazı araştırmacılar m ve b değerlerini sırasıyla 0,1 ve 1'e yakın değerler almaktadır.

Fakat yinede bu değerlerin güvenle kullanılabilmesine dair bir garanti yoktur.

Yorulma verilerini belirlemede bir başka eşitlik ise;

$$N^k \sigma = c \dots\dots\dots (1.9.2.3)$$

Bu eşitlikte  $\sigma$  gerilim aralığı olup ve k ve c ise malzeme sabitleridir. Bu eşitlik metallere için oldukça kullanışlıdır. Birçok metalde k değeri 0,5 ila 0,6 arasında değişirken c değeri malzemenin sünekliliğine bağlıdır. Ancak k ve c değerleri kompozitler için evrensel değildir. Bu yüzden kompozitler için bu eşitlik yeterli bilgi vermez (Anonim 2005b).

### 1.11. Deniz Suyunun Yapısı

Deniz suyunun özgül direncinin düşük olması ve yüksek oranda klorür içermesi nedeniyle temas etmiş olduğu çelik yapılar için önemli derecede aşındırıcı bir maddedir. Yüzey bölgelerde doygun halde oksijen bulunur. Deniz suyunun pH'ı 8 civarındadır. Bu pH değerinde katodik reaksiyon oksijen mevcudiyetinde gerçekleşeceği için yüzey



bölgeler korozyon için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle gemiler hareket halinde iken sürekli yüzeye çözülmüş oksijen teması kolaylaşacağından ve sürekli dalgalar etkisiyle ıslanma ve kuruma etkisine maruz kalacağı için korozyon için çok uygun bir ortam oluşmaktadır.

Deniz suyunda bileşenleri şöyledir;

Bileşen	Oran
Klorür	19000 mg/l
Sodyum	10500 mg/l
Magnezyum	1270 mg/l
Kükürt	880 (2640 sülfat) mg/l
Kalsiyum	400 mg/l
Patasyum	380 mg/l
Bromür	65 mg/l
Karbon	28 (140 bikarbonat) mg/l
Stronisyum	13 mg/l
Bor	5 mg/l
<b>TOPLAM</b>	<b>34,4 g/l</b>

Tuz konsantrasyonu coğrafi bölgelere göre farklılık gösterir. Tropikal bölgelerde ve kapalı denizlerde tuz konsantrasyonu daha yüksektir. Açık denizlerde 32-36 g/l arasında değişir.

Bu değerler Akdeniz'de 39 g/l, Karadeniz'de 17-20 g/l arasındadır. Deniz suyunun dörtte üçünü sodyum klorür oluşturmaktadır. Klorür iyonu pasifliği bozucu etkisi nedeniyle korozyon hızını artırıcı yönde rol oynar. Kalsiyum ve magnezyum gibi iki değerlikli iyonlar metal yüzeyinde karbonat, sülfat ve silikat halinde çökerek bir kabuk oluşturur. Bu çökme olayı katod reaksiyonu sonucu oluşan hidroksil iyonlarının etkisiyle hızlanır. Tabiki kabuğun bileşimi çevresel koşullara bağlıdır. Ancak büyük bir çoğunluğu karbonat şeklindedir. Metal yüzeyindeki kabuk, yüzeye oksijen difüzyonunu güçleştirir ve böylece korozyon hızını zamanla azalmasına neden olur.

Deniz suyunun sıcaklığı bölgeler ve mevsimlere göre 5-25°C arasında değişmektedir. Sıcaklık arttıkça deniz suyunun dayanımı azalır. Bu durum sıcak denizlerde korozyon hızının daha yüksek olduğunu gösterir. Diğer taraftan sıcaklığın artması ile de kabuklaşma hızında artış, canlıların büyümesinde artış ile metal yüzeyine korozyonu güçleştirir. Ayrıca sıcaklık ile de su içinde oksijen çözünümü ters orantılıdır. Sıcaklık arttıkça çözünen oksijen miktarında azalış gözükür. Bu iki parametreden hangisinin hakim olduğu malzeme kalitesi ve çevre koşullarına bağlıdır  
(<http://www.korozyon.org/article.php?stroy=20040305200806897> 2005).

Çizelge 1.11.1. Sıcaklık ve Tuz Konsantrasyonuna Bağlı Çözünen Oksijen Miktarı (mg/l)

Sıcaklık (°C)	Çözünmüş Tuz Konsantrasyonu (g/l)				
	0	9	18	27	36
0	14,6	13,7	12,8	11,9	11,0
5	12,8	12,0	11,2	10,5	9,7
10	11,3	11,3	10,0	9,4	8,7
15	10,2	9,7	9,0	8,5	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,8	7,2
25	8,4	7,9	7,5	7,0	6,6

**Kaynak:**<http://www.korozyon.org/article.php?stroy=20040305200806897> 2005

## **2.MATERYAL VE METOT**

### **2.1.Materyal**

Cam takviyeli plastikler (CTP) için matris malzeme olarak poliester veya epoksi kullanılabilir. Poliester reçine iki bileşenden meydana gelmektedir. Bu iki bileşen MEKP denilen organik peroksit ihtiva eden bir katalizör tarafında polikondenzasyon ile birleşmektedir. Sertleşme süresi ortam sıcaklığına bağlı olup, katalizörün kullanım oranına da bağlıdır. Reaksiyonu yavaşlatmak gerektiğinde inhibitör adı verilen katkıları kullanılır. Reçinenin oda sıcaklığında sertleşebilmesi için üçüncü bir malzemeye ihtiyaç vardır. Hızlandırıcı adı verilen bu malzeme çoğunlukla reçine içine karıştırılarak piyasaya sunulmaktadır. Hızlandırıcı ve reçinenin karışım esnasında oluşabilecek dengesizlik patlamaya da neden olabilir. Poliester reçinenin temel malzemesi styroldür ve zahirli bir malzemedir.

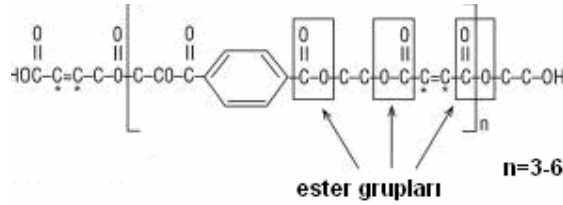
#### **2.1.1.Poliester reçine**

Poliester reçine sistemleri özellikle marine endüstrisinde sıkça kullanılan bir malzemedir. Küçük sandal, yatlar ve feribotların inşasındaki kompozitlerde reçine olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Burada kullanılan poliester reçine doymamıştır. Doymamış poliester reçine termosettir. Oda sıcaklığında sıvı formda bulunurken uygun koşullar altında reaksiyon meydana gelir ve katılaşır. Poliester reçine yapmak için pek çok asit ve glikol bulunmaktadır. Poliester reçineler, içerdiği asit ve glikol cinsine göre farklı özellikler sunarlar.

Genel olarak iki poliester bulunmaktadır. Bunlardan ilki ortoftalik olan ki bu en ucuzudur. Diğeri ise izoftalik olan ki bu da suya karşı dayanımı iyi olduğu için deniz sektöründe tercih edilmektedir.

Aşağıdaki şekil tipik bir poliester reçinenin kimyasal formülünü göstermektedir. Ester grupların durumu (CO-O-C) ve reaktif grupların varlığı (C\*=C\*) önemlidir.



Şekil 2.1.1.1 Poliesterin monomer yapısı

Çoğu poliester reçine vizkoz, mat renkli, genelde sitiren içeren monomerlerden meydana gelen bir solüsyondur. Ağırlıkça %50 sitiren ilave edilmesi vizkoziteyi azalttığı için işlemesi kolaydır. Sitiren aynı zamanda son ürün oluşturmadan sıvı formdaki poliesterin çapraz bağlanma ile katılaşmasını sağlar. Bu tip reçineler basınç gerektirmeden kolayca dökülebilir. Bunlara temaslı ya da düşük basınçlı poliester de denebilir. Sıklıkla jelleşme esnasında düşük miktarlarda inhibitör üretim esnasında eklenebilir.

Dökme reçine elde etmek için genelde;

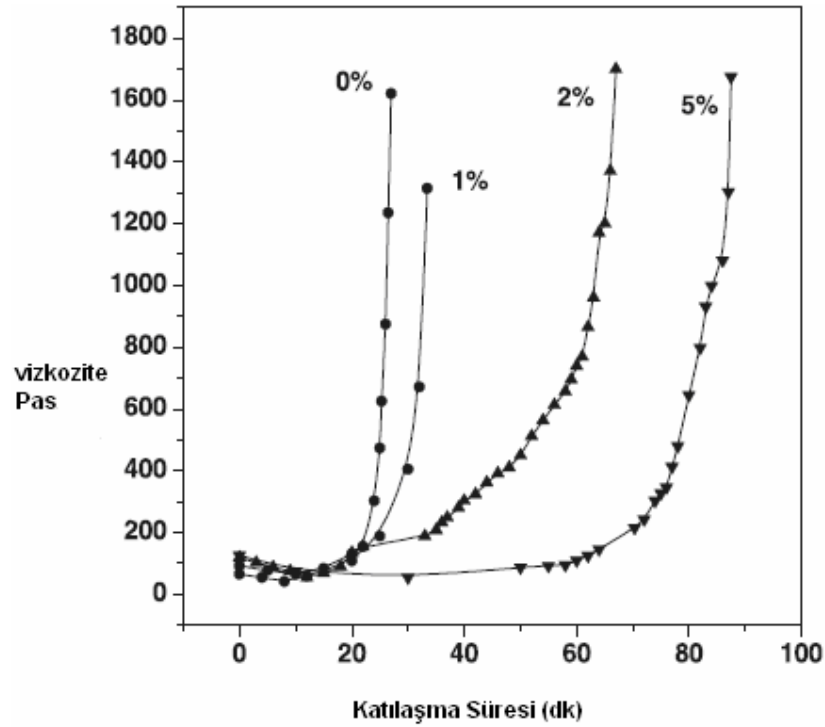
- Katalizör
- Hızlandırıcı
- Katkı Maddeleri ( pigment, dolgu maddesi, kimyasal veya alev dayanıklı maddeler)

kullanılmaktadır (www.netcomposites.com/education 2007).

Doymamış poliester reçine bir zincirde yaklaşık 10 doymamış grup bulundurur ve oda sıcaklığında sıvı formunu genellikle II-A grubu bir metal oksit ve hidroksit ile, özellikle MgO, katı forma dönüştürülür (Zetterlund P.B. ve Johnson A. F. 2002). Reaksiyonda bu metal oksitlerin öncelikle zincir üzerinde karboksilik asitlerle

etkileşime girdiği varsayılır. Daha sonra bir tuz ile oluşan kompleks diğer karboksilik asitleri tetikleyerek yapıyı vizkoz hale dönüştürür ( Lu M. ve ark. 2001).

Poliesterin termosetlenmesi ve kompozitin özellikleri kondens işlemine bağlıdır. Kondens işlemi esnasında reaksiyonun olduğu vizkozite değişimi ile ölçülmektedir. Viskozitenin değişimi metal oksitler ve karboksilik asitlerin etkileşimi ile açıklanabilir. Şekil.2.1.1.2'de kondens zamanına bağlı olarak farklı MgO konsantrasyonlarında vizkozitedeki değişim görülmektedir.



Şekil 2.1.1.2. Bekletme süresine bağlı olarak farklı oranlarda vizkozite değişimi  
Kaynak: Lu M., Shim M., Kim S., 2001. Reaction mechanism of an unsaturated polyester system containing thickeners European Polymer Journal ,37 1075-1078

Poliester reçinenin katılması moleküller arası homojen olmayan mikro jellerin çapraz bağlanmasıyla halkalı (sferultik) yapının oluşması şeklindedir (Zetterlund P.B. ve Johnson A. F. 2002). Şekil.2.1.1.2'de görüldüğü gibi ilk dakikalarda vizkozitede bir azalış meydana gelmektedir. Bu aşamada uzun zincirli poliester moleküller halkalı (sferultik) yapı oluşturmaktadırlar. Bu mikro-jeller bölgesel dağılmakta ve çapraz bağlanma iç mikro jeller arasında ağırlıklı oluşmaktadır. Dolayısıyla bu aşamada

vizkozite değişimi sıcaklık değişiminden kaynaklanır. Bu periyottan sonra kondenzasyon başlar ve vizkozite artar ( Lu M. ve ark. 2001).

Katılaşan sistem daha uzun jelleşme zamanı göstermektedir. Bu ise sitirenin düşük reaktivitesi ve yüksek vizkoziteden dolayıdır. Özellikle poliesterdeki C=C bağları ağırlıktayken -COOC-CH=CH-COO- segmentleri içeren poliester molekülünün agregasyonundan dolayıdır ( Lu M. ve ark. 2001).

Reaksiyonun ısısı eklenen aktivatörden etkilenmektedir. Çizelge.2.1.1.1’de dinamik ve izotermal ısıların MgO konsantrasyonun bağlı nasıl değiştii görülmektedir. İzotermal koşullarda, MgO ‘in karboksilik gruplar ile reaksiyon sonucu ısının oluşturulmasına rağmen aktivatörün artması ile reaksiyon ısısı düşmektedir. Bu muhtemelen çift bağların konsantrasyonunun azalması ve viskozitenin artması ile difüzyonun zorlaşmasından kaynaklanmaktadır ( Lu M. ve ark. 2001).

Çizelge 2.1.1.1. Aktivatör oranına bağlı olarak dinamik ve izotermal reaksiyon ısılarının değiştii

MgO içeriği (%)	Dinamik Veriler	İzotermal Veriler
	Reaksiyon ısısı ( J/g)	100 °C ’de Reaksiyon ısısı ( J/g)
0	385.8	248.6
1	372.4	238.9
2	368.5	241.6
5	394.0	220.7
10	371.6	188.4

Kaynak: Lu M., Shim M., Kim S., 2001. Reaction mechanism of an unsaturated poliester system containing thickeners European Polymer Journal ,37 1075-1078

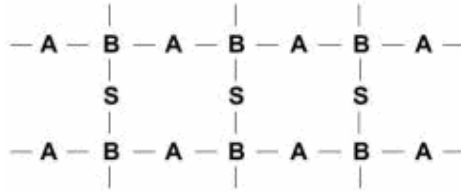
Satıcı firma gerekli maddeleri reçine ile birlikte vermektedir. Uygun miktarların kullanımı ve yeterli süre beklenilmesi ile poliester reçine katı forma dönüşecektir. Katalizör polimerizasyon başlamadan önce hızlı bir şekilde ilave edilmelidir. Katalizlenmiş reçineye hızlandırıcı ilave edilerek polimerizasyonun hızlı bir şekilde tamamlanması sağlanır.

Poliester reçinenin molekül zinciri şöyle gösterilebilir, B reaktif grupları göstermektedir.



Şekil 2.1.1.3. Kondens Olmamış Poliester Reçinenin Şematik Görünümü

Stirenin eklenmesi ile 'S' ve katalizörün varlığı ile stiren her bir polimer zinciri ile bağ yaparak üç boyutlu bir yapı oluşturur.



Şekil 2.1.1.4. Kondens olmuş poliester reçinenin şematik görünümü

Bu şekilde poliester reçine reaksiyonu tamamlamıştır. Şu hali ile kimyasal olarak dirençli ve katı formdadır. Çapraz bağlanma reaksiyonu geri dönüşümü olmayan bir reaksiyondur.

Reçinenin hazırlanmasında, karışımında ve dökümünde çok büyük dikkat gerekir. Katalizör eklenmeden önce yabancı maddelerden arındırılmak için iyice süzülmesi ve iyice yayılması sağlanmalıdır. Döküm aşamasında içerde kalabilecek hava döküm kalitesini etkilemektedir. Bu yüzden dökerken hava kabarcığı kalmamasına dikkat edilmelidir. En iyi sonucu alabilmek için hızlandırıcı ve katalizör miktarı ve ilavesi çok önemlidir. Fazla katalizör ilavesi hızlı polimerizasyon zamanını vermesine dolayısıyla bir çok katalizör kondens olmuş jelin altında kalmasına neden olur. Aynı şekilde uzun zincirlerin oluşmasından ziyade daha kısa zincirlerin oluşmasına neden olur.

Renklendirme pigment ilavesi ile yapılır. Uygun pigment seçimi polimerizasyonu etkilemeyecek şekilde yapılmalı ve ancak reçinenin %3 ağırlığında olmalıdır.

Dolgu maddeleri ise;

- kalıp maliyetini azaltmak için
- kalıplama prosesini kolaylaştırmak
- belli özellikleri kalıba vermek için ilave edilmektedir.

Dolgu maddeleri reçinenin %50 ağırlığına kadar ilave edilebilir. Tabi bu miktarlar reçinenin eğilme ve çekme mukavemetini etkilemektedir (www.netcomposites.com/education 2007).

### **2.1.2.Kobalt katalizörü (Co)**

Demir, nikel ve diğer metallerle birleştirilerek elde edilen ve "**Alnico**" adı ile anılan alışılmışın dışındaki bu manyetikleşme gücüne sahip olan alaşımın eldesinde kullanılır. Manyetik ve paslanmaz çelik eldesinde, jet türbinlerinde ve gaz türbin jeneratörlerinde kullanılan alaşımların üretiminde de yararlanır. Dayanıklı ve oksitlenmeye karşı dirençli bir metal olması nedeniyle, elektrolizle kaplama işleminde de kullanılır. Porselen ve cam sanayilerinde, kalıcı ve parlak mavi rengin üretilmesinde kobalt tuzları kullanılmaktadır. Canlıların beslenmesinde de önem taşımaktadır. Kobalt-60 izotopu, kanser tedavisinde de kullanılır (http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periodydik/kullanim2.html 2006).

Hızlandırıcı olarak Ak-İş Kimya'nın piyasadaki Kobalt Oktoat hızlandırıcısı %5 oranında kullanılmıştır.

Özellikleri: Poliesterde reaksiyonu hızlandırır. Katalizörle birlikte kullanılır. Hava kurumalı sentetik boyalarda kurumayı hızlandırır. Alev alma noktası 21°C'dir. Kullanıldığı Yerler: Poliester ve hava kurumalı sentetik boyalarda kurumayı hızlandırmak için kullanılır. Ayrıca kauçuğu metale yapıştırmak içinde kullanılır.



### 2.1.3.Sertleştirici

Numune hazırlanmasında MEKP ile anılan peroksit ihtiva eden AK-İş Kimya'nın Curing Agent ile piyasaya sunduğu sertleştirici kullanılmıştır. Özelliği: Poliester sertleşmesinde katalizör olarak görev yapar.

Uygulama Şekli: Serleştirici ve hızlandırıcı ayrı ayrı poliester ile karıştırılarak uygulanır. Karıştırma oranı poliester göre % 5 olarak kullanılmıştır.

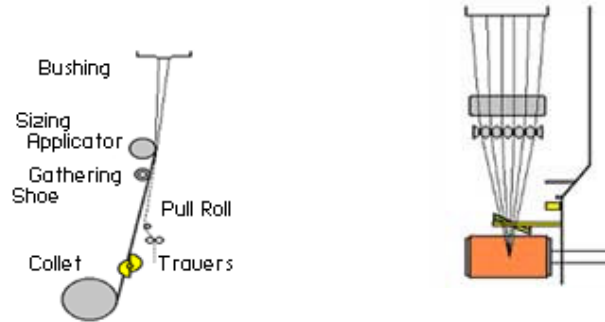
### 2.1.4.Cam lifi

Cam elyafı, silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda, magnezyum oksit gibi geleneksel malzemelerden üretilmektedir. Burada kum ve soda karışımına alüminyum oksit, borik asit ve kalsiyum oksit eklenmesi ile elde edilir. (<http://www.turktextiles.com> 2007). Ham madde üretime başlamadan önce çok ince bir şekilde öğütülmektedir. Öğütülen karışım iyice karıştırılarak yaklaşık 1600 °C sıcaklıktaki ergime fırınına beslenir. Bu sıcaklıkta yapı yavaş yavaş sıvı forma dönüşür ([http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce\\_uretimi.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce_uretimi.php) 2007).



Şekil 2.1.4.1.Cam lifinin düzeden çekilmesi

Proseseye uygun yerleştirilmiş bir sarma sistemi ile 50-70 m/sn hız ile ve istenen kalınlığa bağlı olarak 5-20 mikron inceliğinde çekilir.



Şekil 2.1.4.2.Cam lifinin düzeden çekilmesinin şematik görünüşü





Şekil 2.1.4.4.Cam lifinin keçe formu

Cam elyaf, şişe camından kuartz kristaline kadar pek çok formda üretilmektedir. Amorf bir yapıya sahip olan cam polimerik yapı gösterir. Silisyum atomu 4 oksijen atomu ile çevrilerek üç boyutlu bir yapı göstermektedir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis ( $\text{SiO}_2$ ) şeklinde bulunur.

Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken  $1260\text{ }^\circ\text{C}$  civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir (www.teknolojikarastirmalar.com 2006).

Cam elyafının özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabılır.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda cam elyafı kompozitlerin kullanılmasına imkan tanırırlar.

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

Bunlar:

- 1. A (Alkali) Camı:** A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam tipidir.
- 2. C (Korozyon) Camı:** Kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.
- 2. E (Elektrik) Camı:** Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır .
- 4. S (Mukavemet) Camı:** Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar (www.teknolojikarastirmalar.com 2006).

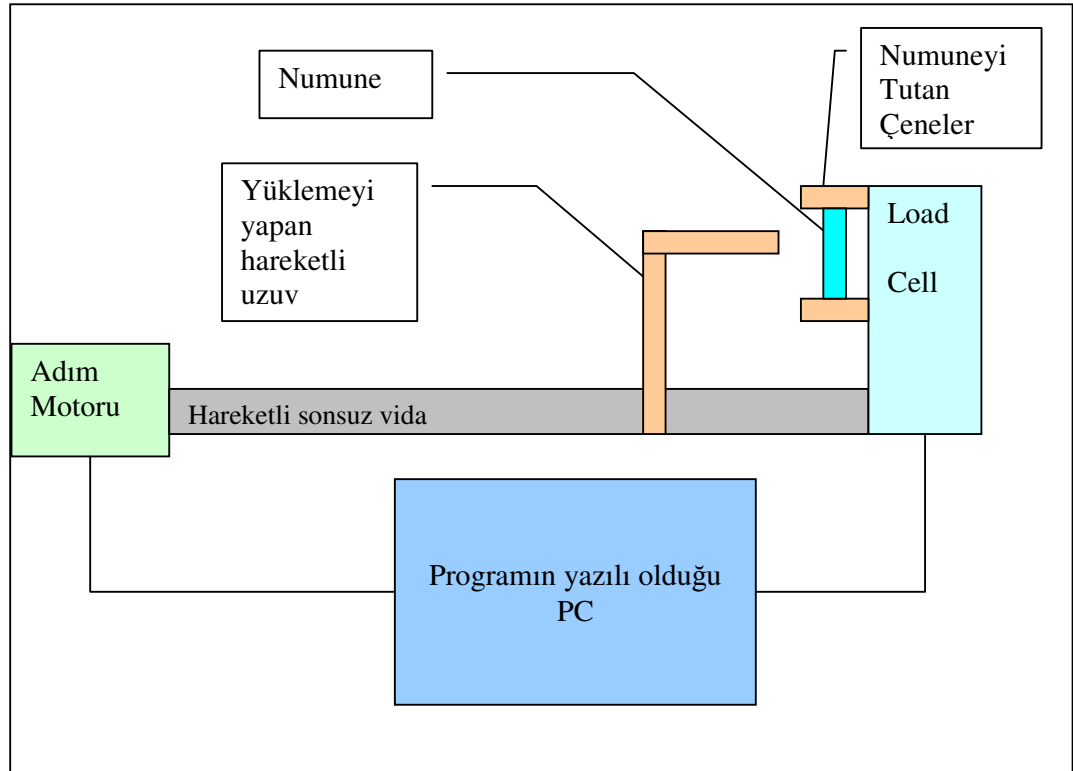
Çizelge 2.1.4.1. Farklı Cam Liflerine Ait Bazı Özellikler

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genişleme katsayısı (m/m/°Cx10 <sup>6</sup> )	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katki Malzemeleri (%)				
SiO <sub>2</sub>	72.0	64.4	52.4	64.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O	14.2	9.6	0.8	0.3
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

Kaynak: www.teknolojikarastirmalar.com 2006

### 2.1.5. Deney düzeneği

Yorulma testi için laboratuarda tasarlanan test cihazı kullanılmıştır. Yorulma test cihazı  $1,8^\circ$  adım uzunluğunda bir adım motorunun hareket ettirdiği bir hareketli kısım ve verilerin alındığı ve numunenin koyulduğu yük hücresinin (load-cell) bağlı bulunduğu sabit kısımlardan oluşmaktadır. Visual Basic de yazılan bir program ile motora seri port ile komut gönderilirken sensörden (load-cell) veri alınmaktadır. Alınan verilere bağlı olarak motorun gidip gelme mesafesi alınmakta ve bu mesafeden numunenin ne kadar sehim yaptığı saniyede 10 veri ile excel sayfasında toplanmaktadır.



Şekil 2.1.5.1. Deney Düzeneği

## 2.2. Metot

Laboratuvar şartlarında yapılan yorulma cihazında kullanılan yük hücresi 3 kg olduğu için test numunesi kalınlığı malzememin akma değerini aşmayacak şekilde bir kalınlığa ayarlamak için Instron test cihazında (Three Point Bending) 3 Noktalı eğilme Testi yapıldı. Bu teste göre 2 mm kalınlıktaki numune, akma değerine yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. Buna göre test numuneleri 12x55x2 mm boyutlarında olacak şekilde hazırlandı.

Kullandığımız cam lifi E-Cam Elyafı olup çekme mukavemet değeri 3448,6 MPa poliestere reçinenin çekme mukavemet değeri 42 MPa'dır. Kullanılan cam lifinin çapı 6 µm olarak ölçülmüştür.

Kritik lif uzunluğu formülü;

$$l_c = \sigma_f \cdot d_f / \tau_m \quad \dots\dots\dots(2.2.1)$$

Bu formülde değerler yerine yazılırsa kritik lif uzunluğu 0,85 mm olarak bulunur. Bu değer üzerinde numune için lif uzunluğu 1 mm olarak alındı.

Test için takviyesiz, %1, %3, %6 olacak şekilde 4 farklı oranda numuneler döküldü ve 24 saat sonra kalıptan çıkarıldı. Deniz ortamını sağlamak için numuneler deniz suyunu temsil eden 35 g/l tuz ve pH 8 olacak şekilde hazırlanan suda bekletmeye bırakıldı. Zamana bağlı olarak numuneler çıkarılarak yük kontrollü teste tabi tutulmuştur.

Test parametreleri;

Numune boyutları	: 12 * 55 *2 mm
Minimum yük miktarı	: 6,8 kPa
Maksimum yük miktarı	: 8,2 kPa
Saniyede alınan veri sayısı	: 10
Motor hızı	: V1 (7,5 d/d)
Deney süresi	: 30 dakika (800 devir)

Yük kontrolüne bağlı olarak elde edilen uzama değerleri ANNOVA İstatistik ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Burada iki veya daha fazla değişkenin incelenmesi esas alınır.

Sonuçlar için oluşturulan matematiksel model:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + S_j + B_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$V_i$ : Karışım oranının etkisi (  $i: 1 \dots 4$ )

$S_j$ : Sürenin etkisi (  $j: 1 \dots 8$ )

$B_{ij}$ : Süre ve Hacimsel oranın birlikte etkisi

$\varepsilon_{ijk}$ : Hata oranı

Hipotezler :

Ho1 :  $V_i = 0$  (Hipotez kabul, Karışım oranının etkisi yoktur)

Ho2 :  $S_j = 0$  (Hipotez kabul, Suda Bekletmenin etkisi yoktur)

Ho3 :  $B_{ij} = 0$  (Hipotez kabul, Karışım Oranı ve Suda bekletmenin birlikte etkisi yoktur)

### 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1.Bulgular

##### 3.1.1.Anova test analizi sonuçları

ANOVA testi ile elde edilen uzama sonuçları aşağıdaki gibidir;

SS : Kareler Toplamı F : İstatistik Değer  
df : Serbestlik Derecesi P : Etki Değeri (\*\*\*) çok etkili)

Çizelge 3.1.1.1. ANOVA TESTİ ile elde edilen istatistiksel veriler

<i>Kaynak</i>	<i>ss</i>	<i>df</i>	<i>ms</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	
<b>Temel Etki</b>						
Süre	110596,36	7	15799,48	11,09	0,000	***
Miktar	1833,01	3	611,01	0,43	0,704	ns
<b>Ara Etki</b>						
Süre ve miktar	517696,42	21	2465,07	1,79	0,079	ns
Hata	45636,41	32	1426,14			
<b>Toplam</b>	209832,21	63				

Çizelge 3.1.1.2. ANOVA TESTİ ile elde edilen %95 Güven Aralığı için Student-Newman-Kleuks Testi

Faktör : Süre  
Ortalama Hatanın Karesi : 1426,13  
Serbestlik Derecesi : 32  
Anlamalılık Seviyesi : 0,05  
LSD.05 : 38,46

Sınıf	Trt#	Ortalama	n	Anlamsızlık Seviyesi
1	2	305,08	8	a
2	1	301,79	8	a
3	3	238,36	8	b
4	7	230,87	8	b
5	4	251,90	8	b
6	8	209,51	8	b
7	6	196,07	8	b
8	5	191,37	8	b



Çizelge 3.1.1.3. ANOVA TESTİ ile elde edilen %95 Güven Aralığı için Student-Newman-Kleuks Testi

Faktör : Miktar  
 Ortalama Hatanın Karesi : 1426,1379  
 Serbestlik Derecesi : 32  
 Anlamalılık Seviyesi : 0,05  
 LSD.05 : 27,1964

Sınıf	Trt#	Ortalama	n	Anlamsızlık Seviyesi
1	1	244,09	16	a
2	4	237,56	16	a
3	2	232,98	16	a
4	3	229,86	16	a

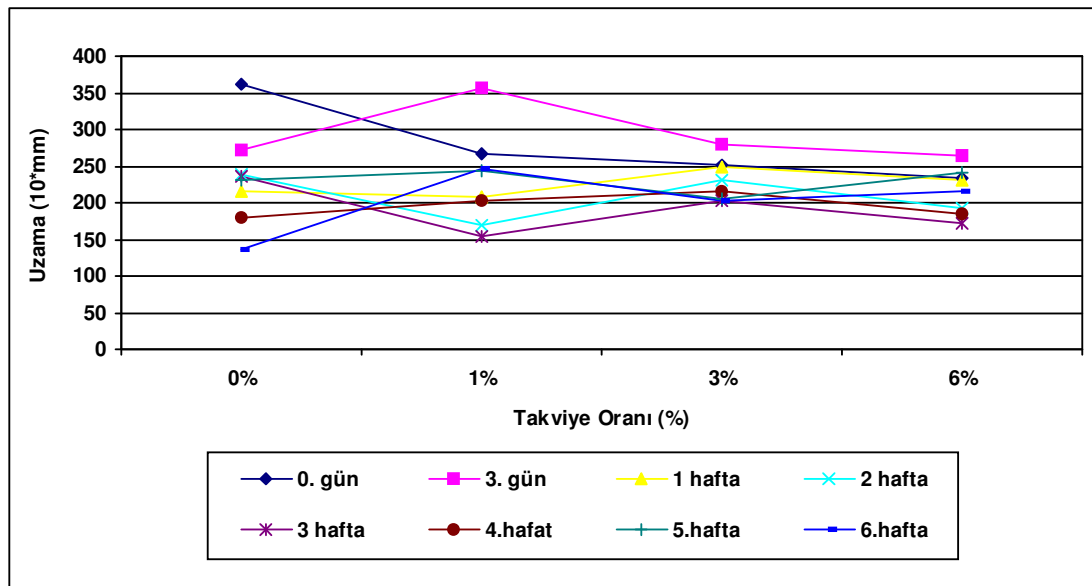
### 3.1.2.Yorulma test sonuçları

Uzama kontrollü yorulma testi ile elde edilen maksimum uzama değerleri Çizelge 3.1.2.1'de gösterilmektedir.

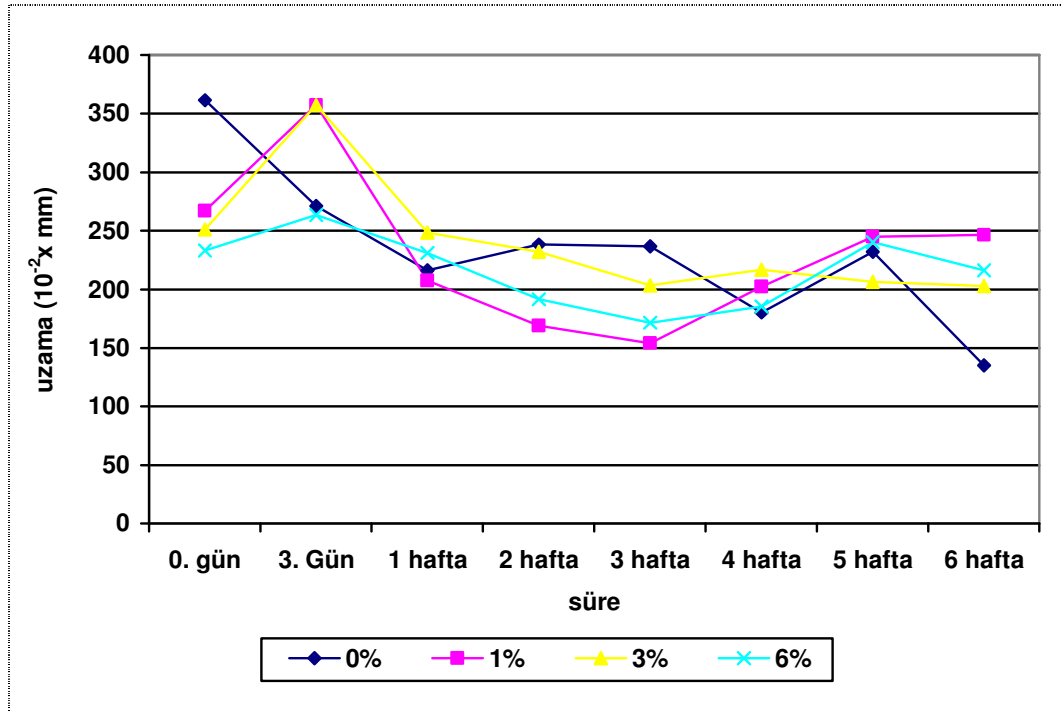
Çizelge 3.1.2.1. Yorulma Testi Sonuçları (Uzama:  $10^{-2}$  x mm)

Takviye Oranı \ Süre	Takviyesiz	% 1	% 3	% 6
0. Gün	361,31	267,1	251,29	233,13
3. Gün	270,9	357,4	278,5	263,7
1 Hafta	216,3	207,5	248,7	230,9
2 Hafta	238,5	168,8	231,9	191,6
3 Hafta	236,6	153,8	203,4	171,7
4 Hafta	180,26	202,3	216,5	185,3
5 Hafta	231,9	244,7	206,8	240,6
6 Hafta	172,8	246,7	202,6	216,3

Şekil 3.1.2.1 takviye oranına bağlı deniz suyu ortamında farklı periyotlarda tutulmuş olan numunelerden elde edilen maksimum uzama grafiğini göstermektedir. Şekil 3.1.2.2'de ise farklı oranlarda takviye edilmiş poliester reçine numunelerinin farklı periyotlarda deniz suyu ortamında bekletmenin maksimum uzama değeri üzerine etkisini gösteren grafiği göstermektedir.

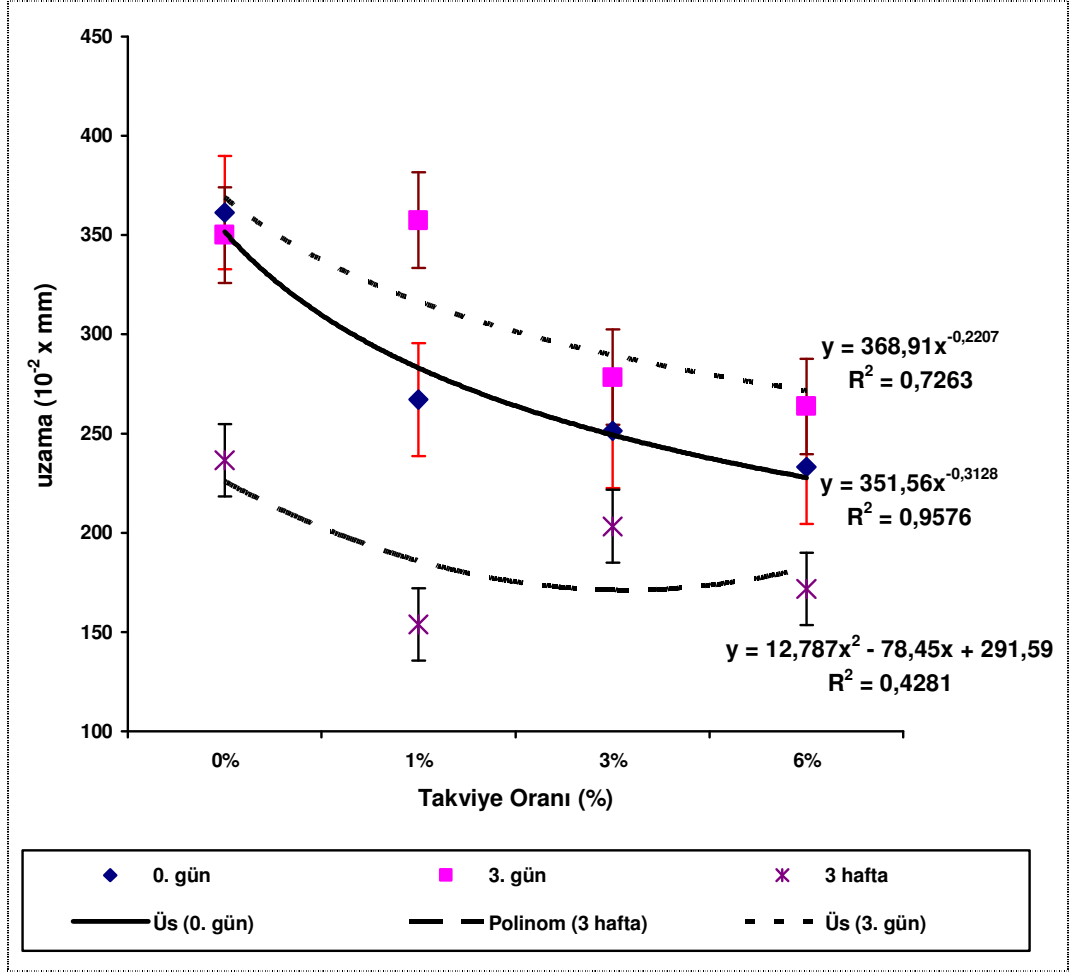


Şekil 3.1.2.1 Takviye Oranına Bağlı Olarak Farklı Sürelerde Uzama Değişimi

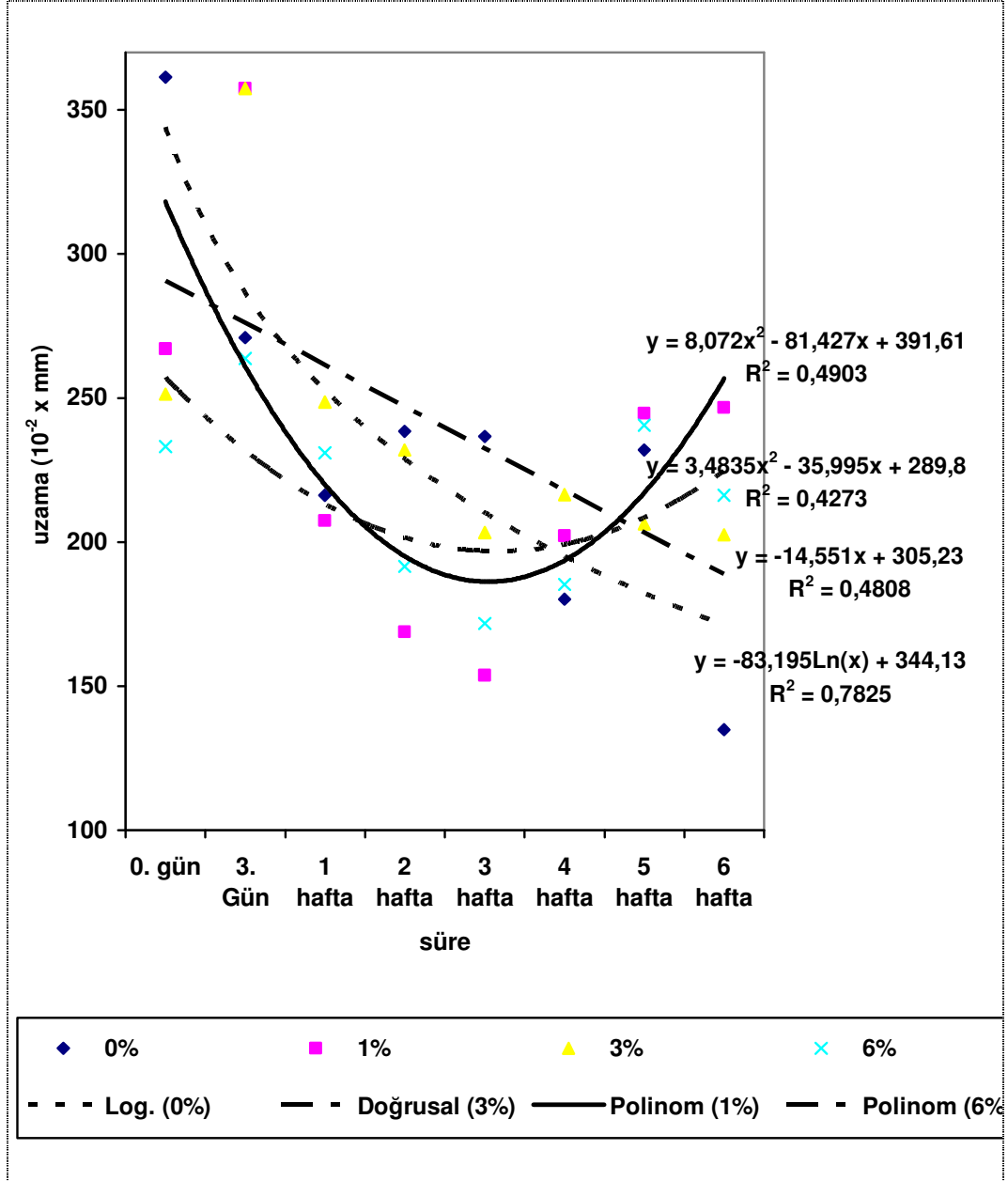


Şekil 3.1.2.2. Tuzlu Suda Bekletme Süresine Bağlı Olarak Farklı Takviye Oranlarında Uzama Değişimi

Şekil 3.1.2.3 ve 4 sırasıyla Şekil 3.1.2.1 ve 2'nin regresyon eğrilerini göstermektedir.

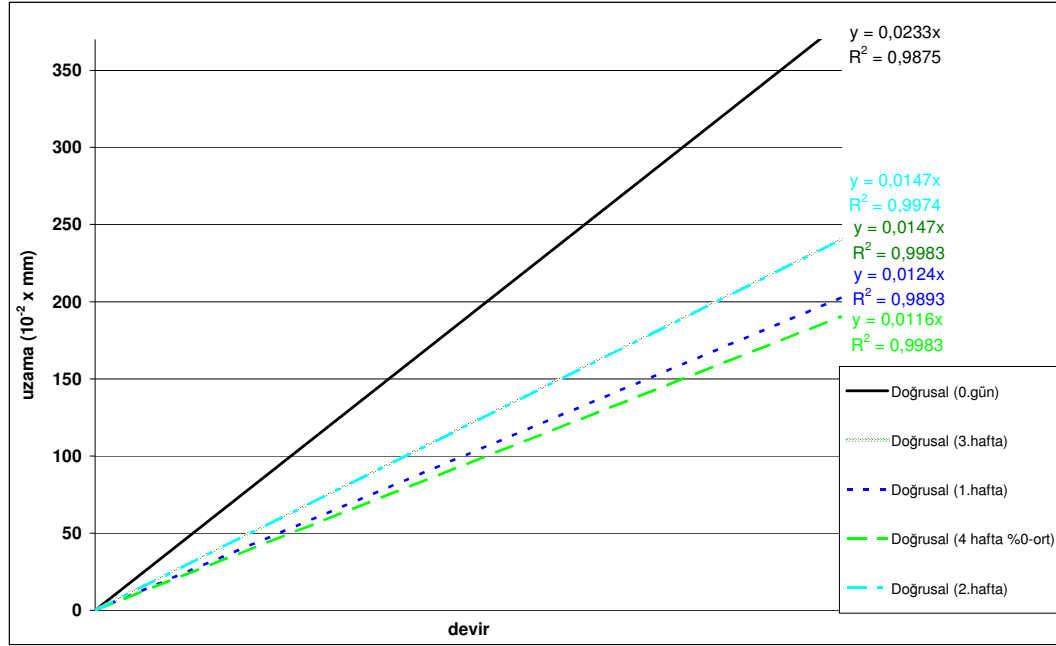


Şekil 3.1.2.3. Takviye Oranına Bağlı Olarak Farklı Sürelerde Uzama Değişimi Regresyon Eğrileri

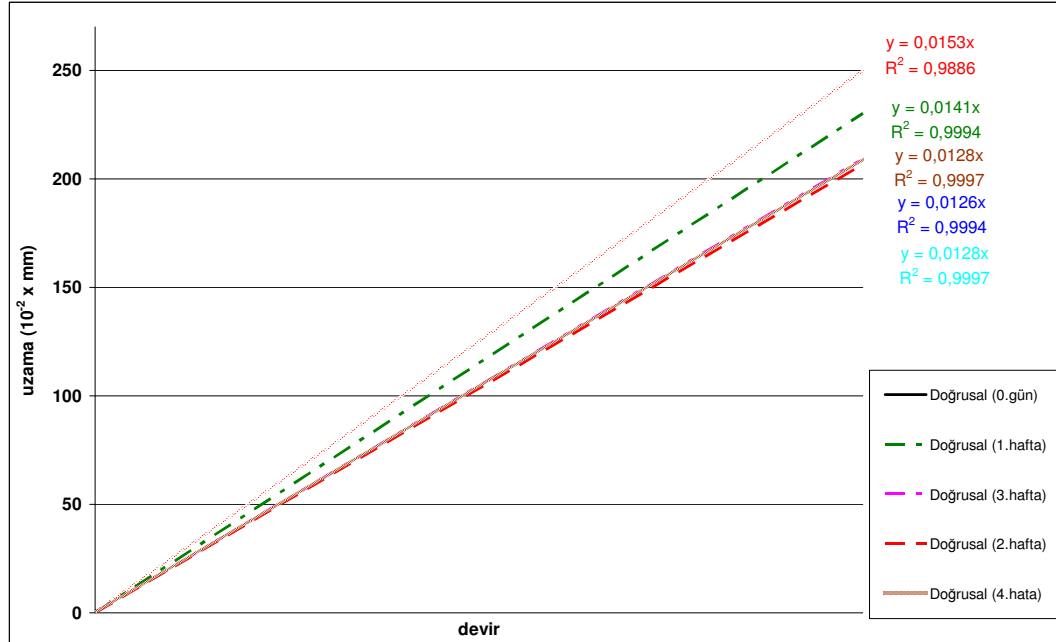


Şekil 3.1.2.4. Tuzlu Suda Bekletme Süresine Bağlı Olarak Farklı Takviye Oranlarında Uzama Değişimi Regresyon Eğrileri

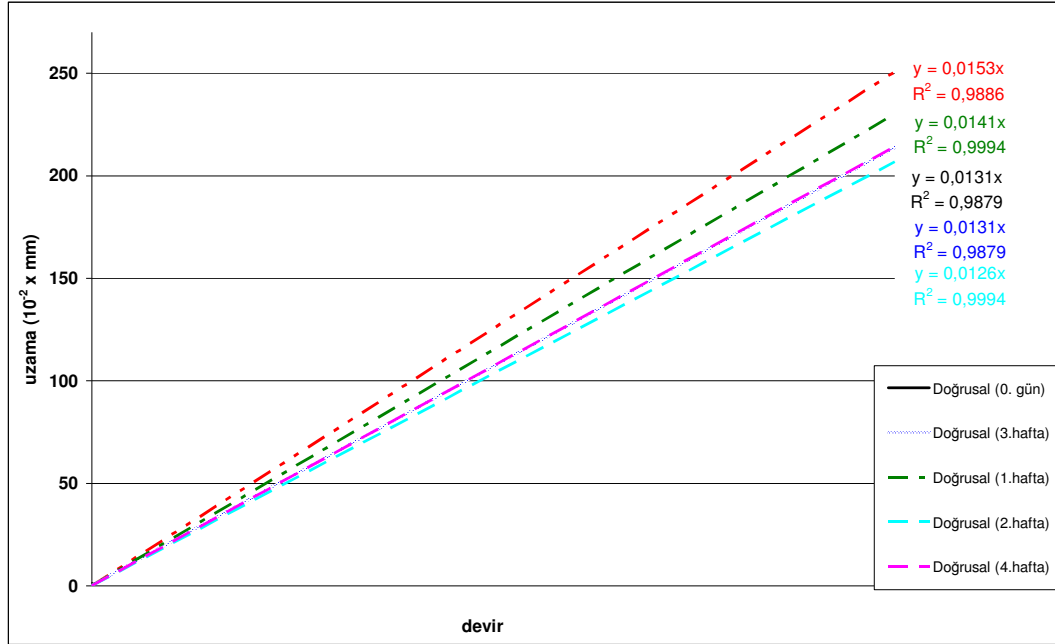
Şekil 3.1.2.5, 6, 7 ve 8 sırasıyla takviyesiz, %1, %3, %6 hacimce takviyelendirilmiş poliester reçinelerin deney süresi boyunca (800 devirde) uzamadaki değişimleri gösterilmektedir.



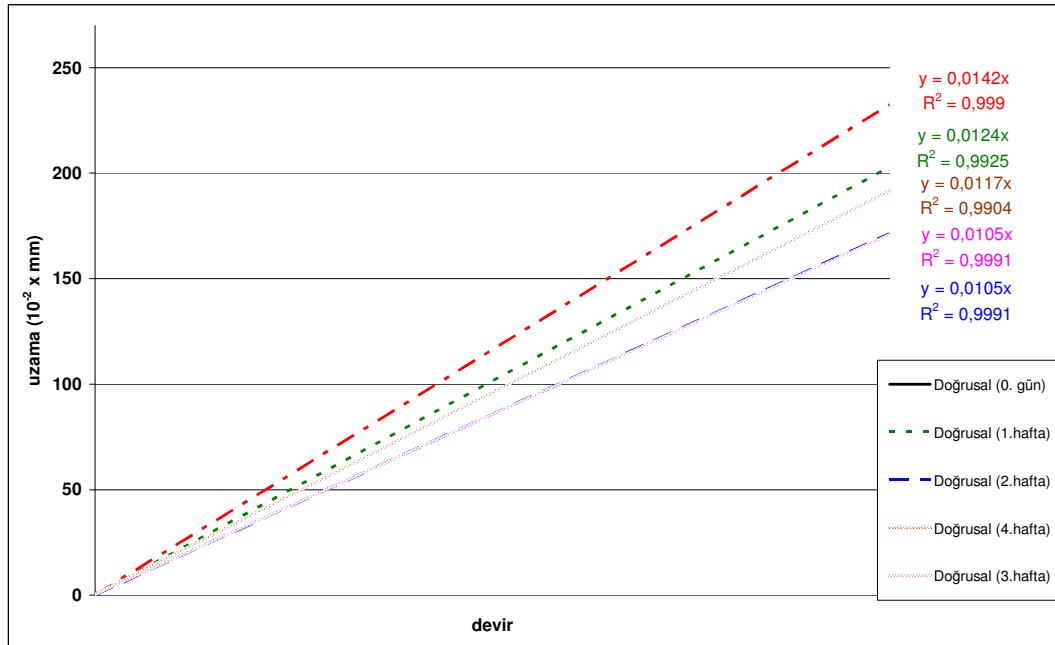
Şekil 3.1.2.5. Takviyesiz Numunenin Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı 800 Devirdeki Uzama Değerlerindeki Değişim



Şekil 3.1.6. %1 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı 800 Devirdeki Uzama Değerlerindeki Değişim

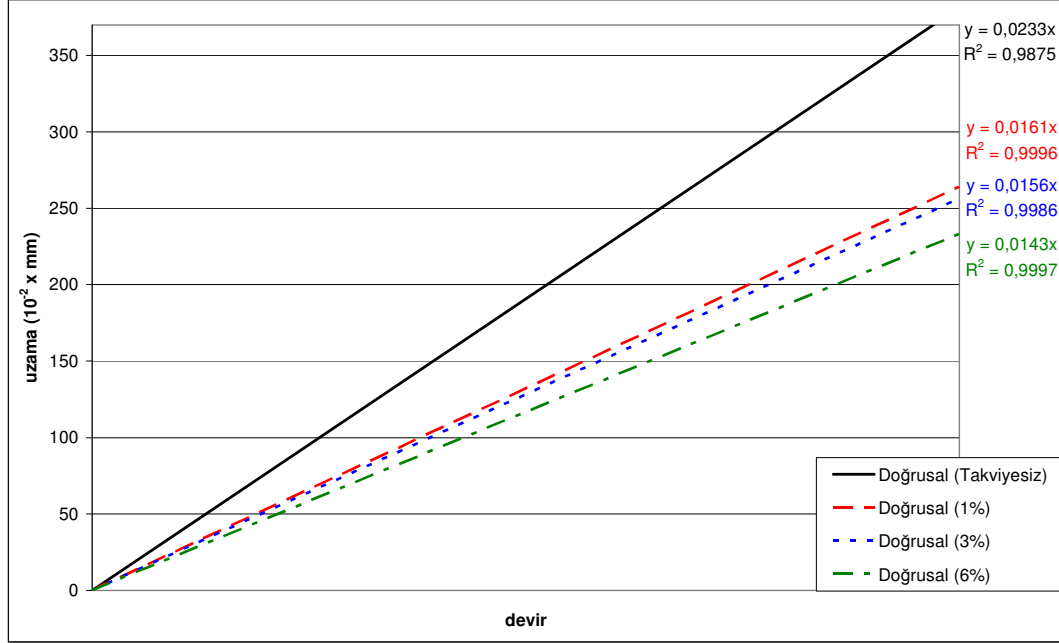


Şekil 3.1.7. %3 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı 800 Devirdeki Uzama Değerlerindeki Değişim

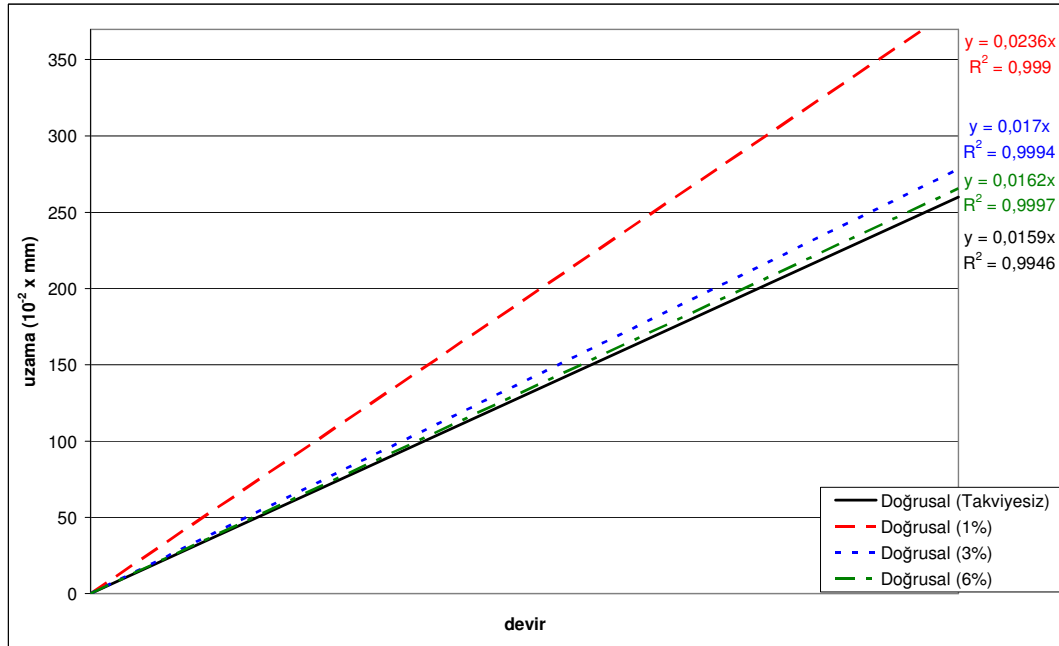


Şekil 3.1.8. %6 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı 800 Devirdeki Uzama Değerlerindeki Değişimi

Şekil 3.1.2.9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 sırasıyla takviyesiz, %1, %3 ve %6 takviye edilmiş poliester reçine numunelerin başlangıç, 3. gün, 1.hafta, 2.hafta, 3.hafta, 4.hafta, 5.hafta ve 6. hafta sonunda yorulma testi esnasında uzamadaki değişimi göstermektedir.

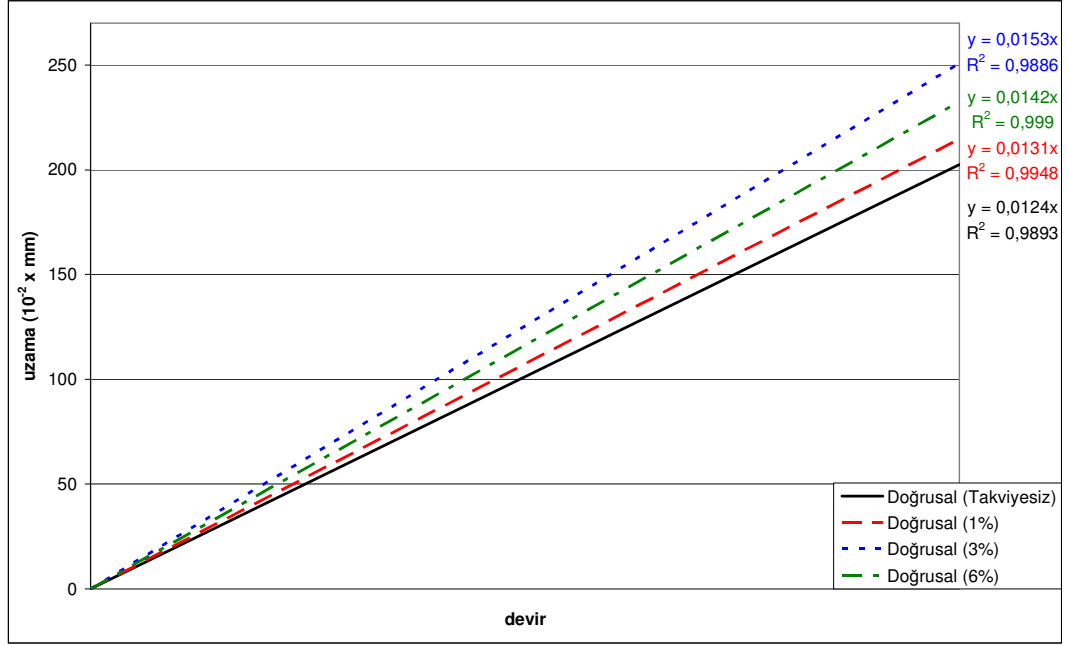


Şekil 3.1.2.9. Deniz Suyunda Bekletmeden Önce Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince ( 800 devirde) Uzama Değerlerindeki Değişimi

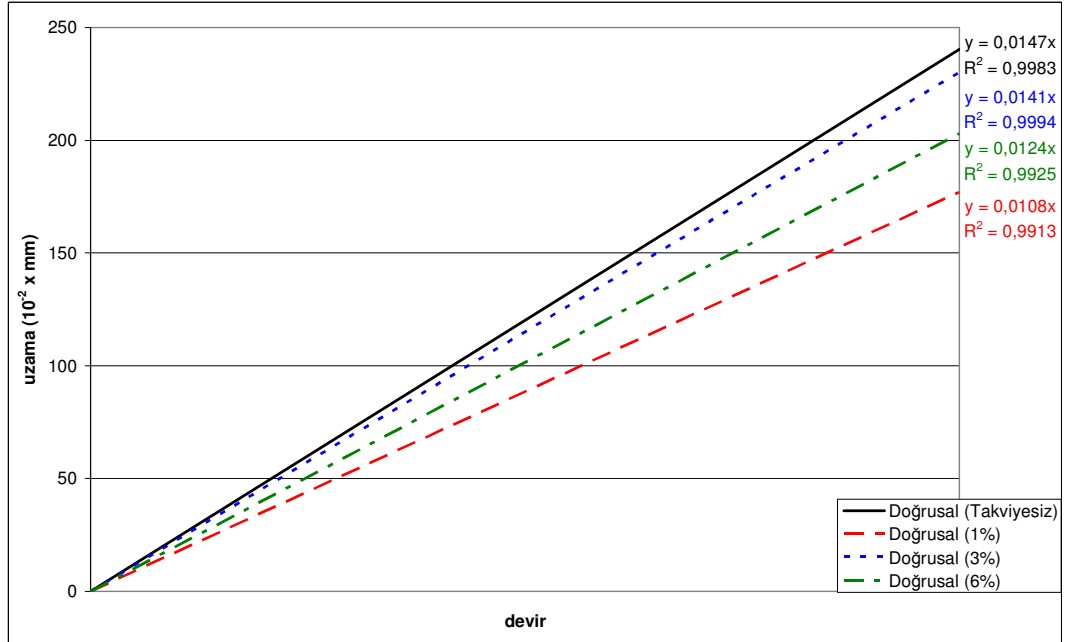


Şekil 3.1.2.10. Deniz Suyunda 3 Gün Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince (800 devirde) Uzama Değerlerindeki Değişimi

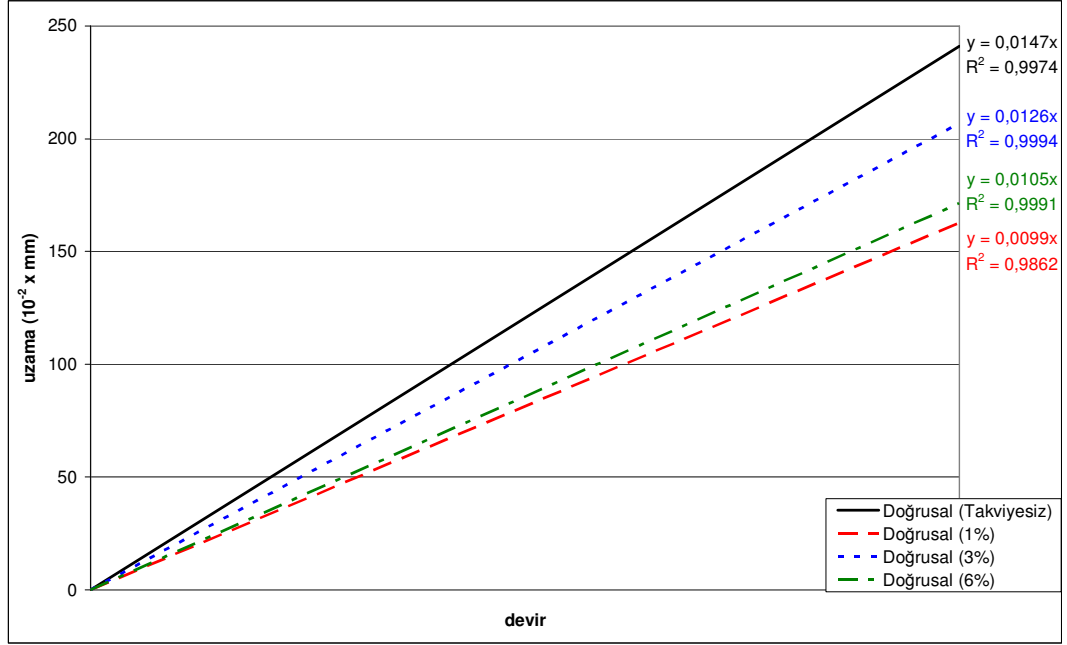




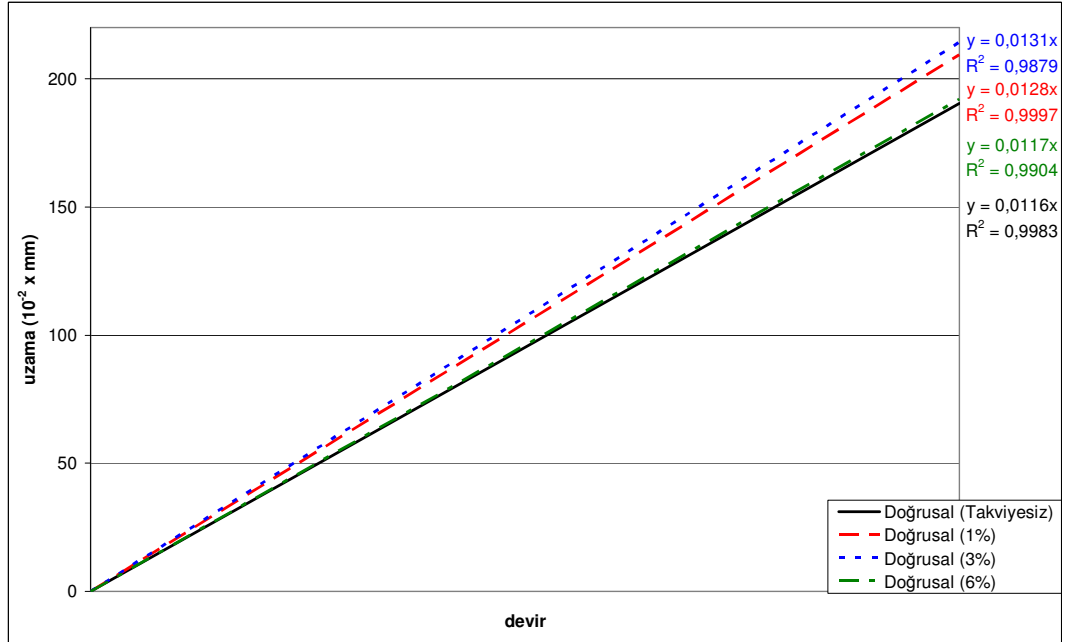
Şekil 3.1.2.11. Deniz Suyunda 1 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi



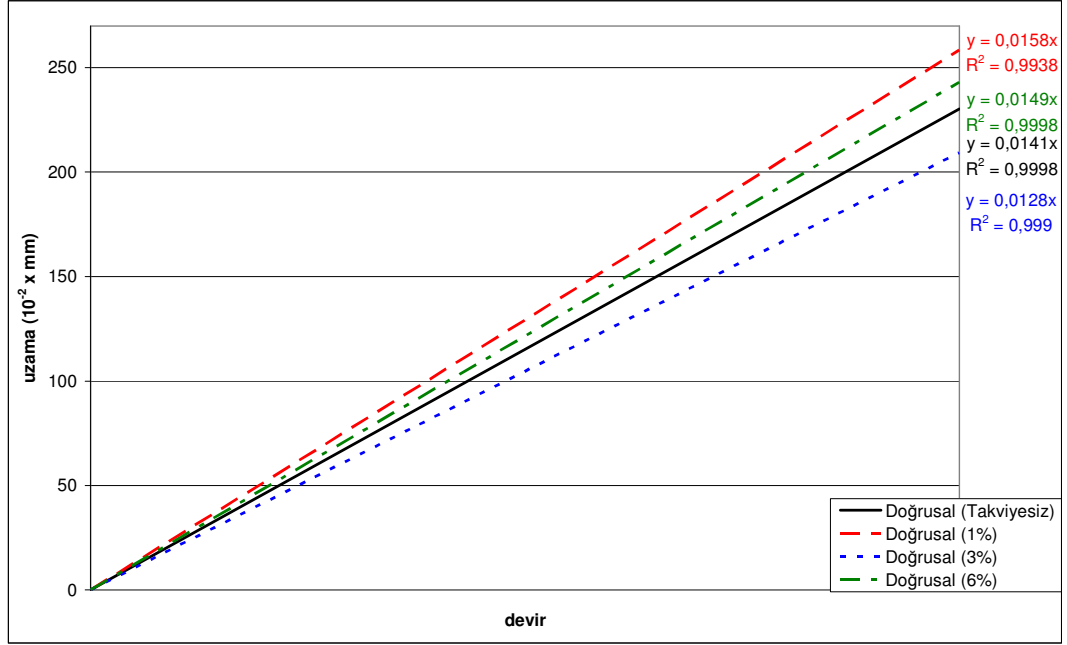
Şekil 3.1.2.12. Deniz Suyunda 2 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi



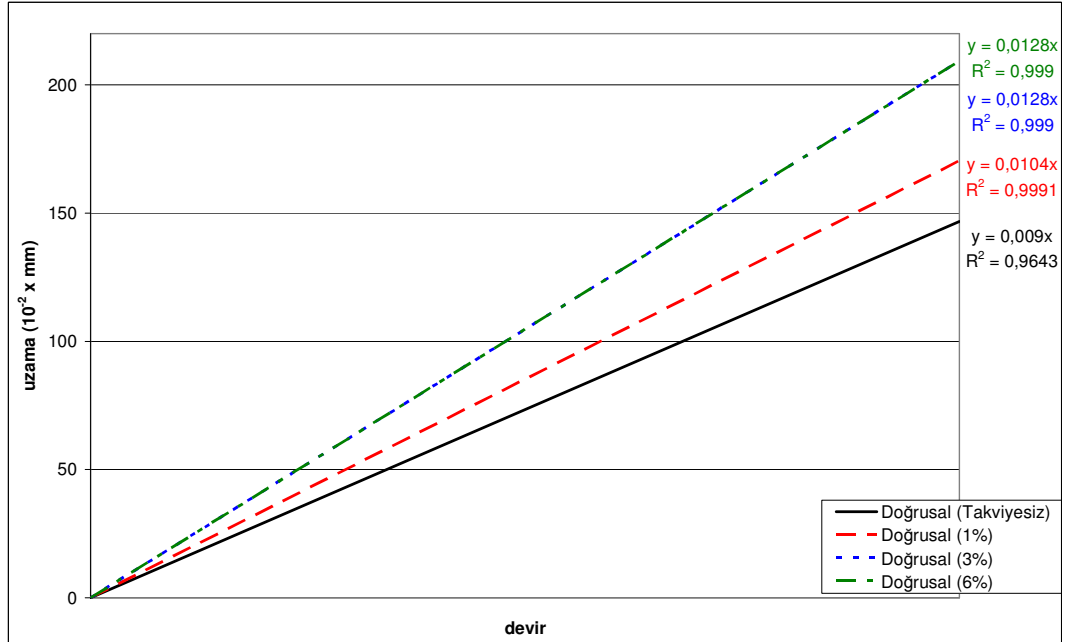
Şekil 3.1.2.13. Deniz Suyunda 3 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deneş Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi



Şekil 3.1.2.14. Deniz Suyunda 4 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deneş Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi



Şekil 3.1.2.15. Deniz Suyunda 5 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi



Şekil 3.1.2.16. Deniz Suyunda 6 Hafta Bekletmenin Farklı Oranlarda Cam Lifi Takviyesinin Deney Süresince (800 devir) Uzama Değerlerindeki Değişimi

### 3.2.Tartışma

Takviye oranı arttıkça uzama değerinde bir düşüş olması ve deniz suyu ortamında bekletilirken bir artışın olması beklenmekteydi. Ancak verilere göre bir takım faktörlerden dolayı bu değişim ters bir şekilde kendini göstermektedir. Kuru hava ortamında bakıldığında uzamada takviye oranına bağlı belirgin bir düşüş olduğu açıkça görülmektedir. Ancak bu uzama değişimi deniz suyu ortamında etkisini ters yönde göstermektedir. Burada numune hazırlanırken lif ve matrisin yeteli karışmamış ve ara birim bağı oluşurken yeterli bağlanmanın olmamasından dolayı yapı içerisinde boşluklar kalmış olabilir. Bu boşluklara giren su molekülleri yapı içerisinde bulunan hidroksil gruplarıyla reaksiyona girerek bu gurupların hidroliz olmasına neden olabilir. Diğer taraftan reçinenin kondensasyonunun hala devam ediyor olması diğer uzamaya etki eden parametredir. Ek olarak reaksiyonda yeterli çapraz bağlanma için su altında izotermik koşullar oluşmaktadır. Bu koşullar altında reaksiyonun kobalt katalizörü ile devam etmektedir. Radikal grupların oluşması sonucu meydana gelen ısı ilk 24 saat içerisinde kullanılmışken su içerisinde reaksiyonun devamı kobalt katalizörü ile devam etmekte ve dolayısıyla bölgesel kristalleşen noktaların reaksiyonun devam etmesini engellemesi söz konusu değildir.

Diğer bir nokta ise numune dinamik eğilme testine tabi tutulmaktadır. Burada yapının eğilmesi bir yük ile sağlanırken geri toparlanamaması yükleme esnasında gerilen iç bağların üzerinden bu gerilimi dışarı vermek istemesiyle gerçekleştirilir. Dolayısıyla her devir sonrasında bir takım bağlar zayıflayacak ve bir kısmı kopacaktır. Kopma ile numune üzerinde kalıcı uzama meydana gelecektir. Gerilen bağlar sonucu oluşan ısı enerjisi de dışarı verilemediğinde yükleme kalktığında numune kendini toparlayamayacak ve kalıcı uzama olarak gösterecektir.

Üçüncü nokta ise; eğilme esnasında malzemenin bir tarafı eğilmeye diğer tarafı basıya maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bası için cam lifi tarafından kuvvet karşılanmazken çeki tarafında cam lifi tarafından yük karşılanır. Toparlanırken ise durum tam tersidir. Cam lifinin sahip olduğu yüksek modül sayesinde çeki altındaki

bölgede uzamaya karşı iyi bir direnç oluşacaktır. Ancak bası bölgelerinde etkili olamayacaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda farklı katalizör oranları kullanılarak yine izotermik koşullar altında eğilme yorulma davranışı nasıl değiştiğine bakılabilir.

## SONUÇ

İstatistiksel olarak verilerin ANOVA testi ile değerlendirildiğinde %95 güven aralığı için kurulmuş olan Ho2 hipotezi red edilirken Ho1 ve Ho3 hipotezleri kabul edilmektedir. Yani uzama üzerinde suda bekletmenin anlamlı bir etkisi varken takviye oranını ve takviye oranı ile suda bekletme etkileşiminin etkisi bulunmamaktadır.

Suda bekletmeksizin takviye oranına bağlı olarak uzama değerlerinde bir azalış olduğu görülmektedir. Yani matris üzerine gelen yükün bir kısmı lif tarafından karşılandığı sonucu çıkarılabilir. Diğer taraftan suda bekletmeye bağlı olarak maksimum uzama değerlerinde bekletme süresi arttıkça bir azalışın olduğu görülmektedir. Poliester reçinenin polimerizasyonu ekzotermik bir reaksiyondur. Sıcaklığa bağlı olarak farklı farklı hızlarda ve farklı oranlarda gerçekleşir. Polimerizasyon sürekli devam etmektedir. Sulu ortamda bekletilirken reaksiyon devam etmekte ve buradaki su bir soğutucu gibi görev yaparak reaksiyon sonucu çıkan ısıyı soğurmaktadır. Dolayısıyla reaksiyon yapı içerisine katılan Co katalizörü ile devam etmektedir. Co katalizörünün karboksilik asitleri tetikleyerek radikal zincirler oluşturması yapıya daha da rijitlik kazandırmaktadır.

Bu sonuçlar 30 dakika (800 devir) deney süresi boyunca elde edilen verilerden uzamanın değişimini de desteklemektedir. 3 günlük bekletme süresinde alınan uzama değişimi dikkate alınmaz (değerler anlamsız olduğu için grafiklerde gösterilmemiştir) ise bekletme süresiyle uzama değerindeki lineer değişimde bir azalış olduğu görülmektedir.

Gelecek çalışmada farklı oranlarda katalizör kullanılması veya farklı kondenzasyon işlemlerinin uygulanması ile cam takviyeli poliester reçinelerde polimerizasyonun ne şekilde değiştiği araştırılabilir.

**KAYNAK**

- Agarwal D. B. ve Broutman L. J. 1980. Analysis and Performance of Fiber Composites. A Wiley-Interscience Publication, New York, USA
- Altunsaray, E. 2005. Küçük Tekne Üretim Malzemesi Olarak Cam Takviyeli Plastiklerin Korozif Yorulması. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Anonim. 2007a. Havacılık Sanayinde Kullanılan Polimer Matrisli Malzemeler.
- Anonim. 2005b. CTP'den Neler Yapılıyor?Uygulama Örnekleri,CTP SANDER.
- Anonim. 2007c. Tekne Yapı Malzemeleri.
- Chawla, K. K. 1987. Composite Materials. Science and Engineering. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg London Paris Tokyo
- El-Assal, A. M. ve Khashaba, U. A. 2007. Fatigue analysis of unidirectional GFRP composites under combined bending and torsional loads. Composite Structures 79 599-605
- Hahn, H.T. 1981. Fatigue of Composites, Composites Guide, University of Delaware. <http://www.korozyon.org/article.php?stroy=20040305200806897>
- Hodgkinson, J.M. 2000. Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites, Woodhead Publishing Limited. Cambridge England
- Huang, G. ve Sun, H. 2007. Effect of water absorption on mechanical properties of glass/poliester composites. Materials and Design 28 1647-1650
- Lu, M., Shim, M., Kim S. 2001. Reaction mechanism of an unsaturated polyester system containing thickeners. European Polymer Journal 37, sayfa 1075-1078
- Mouritz, A.P., Gellert, E., Burchill, P., Challis, K. 2001. Review of advanced composite structures for naval ships and submarines. Composite Structures 53 21-41
- Reis, P.N.B., Ferreira J.A.M., Antunes F.V., Costa J.D.M. 2007. Flexural behaviour of hibrid laminated composites. Composites: Part A 38 1612-1620
- Sakin, R., Ay, İ., Yaman, R. 2006. An investigation of bending fatigue behavior for glass-fiber reinforced polyester composite materials. Materials and Design
- Sutherland, L.S. ve Soares C.G. 2006. Scaling of impact on low fibre-volume glass-polyester laminates. Composites: Part A applied science and manufacturing
- Traverso, P. ve Beccaria, A. M. 1998. Effect of Magnesium Ions on the Protective Power of Corrosion Products Formed on the Surface of Al 6061 T6 Alloy-10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (v/v) Composite in Solutions Containing Chlorides. Surface and Interface Analysis 26, 524-530
- Ulcay Y. 2002. Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının İncelenmesi. Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi
- Yazıcı, M. ve Ülkü, S. 2003. İki Boyutlu Rasgele Dağılımlı E-Cam Poliester Matris Kompozitlerde Yükleme Hızının Mukavemet Üzerine Etkisinin

İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1

- Zetterlun, P. B., Johnson A. F. 2002. Free volume-based modelling of free radical crosslinking polymerisation of unsaturated polyesters. Polymer 43, 2039-2048
  - <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periodik/kullanim2.html>. 2006.
  - [http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp\\_kaliplama\\_metodlari.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ctp_kaliplama_metodlari.php). 2007.
  - [http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce\\_uretimi.php](http://www.camelyaf.com.tr/turkce/ce_uretimi.php). 2007.
- CTP Teknolojisi, Cam Elyafı Takviyeli Reçine Sistemleri, Cam Elyaf Sanayi A.Ş.
- [http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit\\_malzemeler.htm](http://eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm). 2007.
  - <http://www.korozyon.org/article.php?stroy=20040305200806897>. 2005. Gemi Gövdelerinin Katodik Korunması
  - [www.netcomposites.com/education](http://www.netcomposites.com/education) . 2007.
  - <http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/odabasi/gmg/week10.PDF>. 2007. Gemi İnşaatında Kullanılan Malzemeler.
  - [www.teknolojikarastirmalar.com](http://www.teknolojikarastirmalar.com). 2006.
  - <http://www.turktextiles.com>. 2007.



**ÖZ GEÇMİŞ**

1982 Bafra doğumlu olan yazar, ortaokulu Bafra Atatürk İlköğretim’de (1993-1996), liseyi YDA Bafra Lisesi’nde (1996-2000) tamamlayarak, 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği’ne başlamıştır. 2005 yılında lisansını tamamlayan yazar 2006 yılında Yüksek Lisansına yine aynı bölümde başlamıştır.

**TEŐEKKÖR**

Her Őeyden 6nce beni bu gũnlere getiren ve hiĀbir fedakarlıktan kaĀınmayan aileme, maddi manevi olarak danıŐmanlıđımı yapan Sayın Prof.Dr. Yusuf ULCAY'a teŐekkũr ediyorum.