

FARKLI ORANLARDA TAKVİYE EDİLMİŞ CAM LİFİ POLYESTER KOMPOZİTLERİN DENİZ SUYU ETKİSİ ALTINDA YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

*Salih DOĞANAY**

*Yusuf ULÇAY**

Özet: Deniz 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 polyester kompozitlerde farklı lif oranlarının ve deniz suyunun yorulma davranışı üzerinde etkisi incelenmiştir. Çalışmada, takviyesiz, %1 %3 ve %6 olmak üzere dört farklı oranlarda takviyelendirilmiş polyester reçine numuneleri deniz suyunda bekletilerek 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, Polyester Reçine, Yorulma Davranışı, Deniz Suyu.

Effect of Different Ratio of Glass Fiber Reinforcement and Immersing Time in Sea Water on Fatigue Behavior of Polyester Resin Composite

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 immersed time in sea water and different volume ratio of glass fiber reinforced polyester resin on fatigue behavior are investigated. Four different volume ratio glass fiber, non-reinforced, %1, %3, % 6, respectively, reinforced polyester resin are immersed in sea water 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 Behavior, Sea Water.

1. GİRİŞ

Son yıllarda doğal kaynakların azalması, bu kaynakların uygun şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. 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 sanayine, spor gereçlerinden müzik aletlerine, denizcilikte 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 da çalışmalar ve yatırımlar kompozit malzemelerin önemini biraz daha gerçekçi bir şekilde ortaya koyuyor.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı malzemenin en iyi özelliklerini bir araya toplamak ve ortaya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro veya mikro yapıdaki bileşimlerdir. En az iki bileşen ve bu bileşenlerden birinin özelliğinin artırılmasıyla diğer malzemenin eklenmesiyle

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa.

oluşturulan yeni yapıdır. Burada takviyelendirilen malzemeye matris takviye edene ise takviye malzemesi denir.

Takviye edilen açısından kompozitler aşağıdaki gibi u grupta yer almaktadır.

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

Yapılarına göre ise aşağıdaki gibi dört grupta sınıflandırılabilirler.

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

2.1. MATRİS ELEMANI

Matris malzeme u temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Bunlardan ilki takviye malzemesini bir arada tutmak, diğeri yükü takviye malzemesine dağıtmak ve sonucusu ise takviye malzemesini çevresel etkilere karşı korumaktır. Uygun matris malzeme önce düşük vizkoziteli iken dökümden sonra katılaşarak takviye elemanını en iyi şekilde tutmalıdır. Matris malzeme termoset veya termoplastik yapıda olabilir. Termoset grubunda polyester, vinil ester bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçinelerden meydana gelmektedir. Termoplastik grupta ise poliamid, polipropilen kullanılanların arasındadır. Bunların yanında hibrit formda polietilen ve polibutilen tereftalat, polieterketon ve polietersülfon kullanımı da vardır. (Deniz 2006)

2.2. TAKVİYE ELEMANI

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. Gntmzde en çok kullanılan takviye elemanları sürekli liflerdir. Aramid, karbon, grafit, bor, silisyum karbür (SiC), alümina, cam ve polietilen gibi elyafın kullanıldığı sürekli ya da kesikli formdaki yapılarıdır. (Deniz 2006)

2.3. KATKI MADDELERİ

Dolgu, kimyasallar, sertleştirici, aktivatör gibi ek yardımcı maddelerdir.

2.4. 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 (Agarwal ve Broutman 1980).

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

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

2.5. KOMPOZİTİN YORULMA DAVRANIşINI ETKİLEYEN 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 bir devirdeki gerilim veya gerinim olmakta ve doğrusal bir gösterge izelgesi 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. nk devir sayısı arttıkça gerilimde bir düşüş meydana gelmektedir. Kompozit malzemelerde eğrinin şekli aşağıda bir kısmı verilen birçok parametreden etkilenmektedir.

- Matris malzemenin cinsi
- Katman oryantasyonu
- Takviyelendirme hacimsel oranı
- Arabirim özellikleri
- Yükleme tipi
- Ortalama gerilim
- Ortalama Frekans
- Çevre (Agarwal ve Broutman 1980).

Malzemenin ömrünü tayin için pratiğe uygun uzun süre deneyler yapılmalıdır. Bunun yerine testteki çeşitli parametrelerle oynanarak test süresi kısaltılmaktadır. Bunlardan biri yükleme frekansının artırılması, genliğin artırılması, test ortam şartlarının ağırlaştırılmasıdır. Test frekansı ve genliğin artırılması yapıda ısınmalar ve dolayısıyla ısınmanın etkisiyle de yorulma meydana gelecektir. (Sakin ve ark. 2008)

2.6. DENİZ SUYU BİLEŞİMİ

Deniz suyunun özgül direnci düşük ve yüksek miktarda pasifliği bozucu klorür iyonu içermesi çelik yapılar için yüksek bir aşınmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan yüzey bölgelerde çözünmüş halde yüksek miktarda oksijen bulunması da yapının korozyonunu arttırmaktadır. Deniz suyunun pH'ı 8 civarındadır. Bu pH değerinde katodik reaksiyon oksijen mevcudiyetinde gerçekleşeceği için yüzey bölgeler korozyon için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle gemiler hareket halinde iken sürekli yüzeye çözünmüş oksijen teması kolaylaşacağından ve sürekli dalgalar etkisiyle ıslanma ve kuruma etkisine maruz kalacağı için korozyon için çok uygun bir ortam oluşturmaktadır.

Deniz suyunda bulunan ana bileşenler aşağıda verilmektedir.

Bileşen Oran

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

(<http://www.korozyon.org/article.php?stroy=20040305200806897>)

İklim şartlarına bağlı olarak farklı coğrafyalardaki denizlerde farklı oranlarda tuz bulunmaktadır. Bu tuz oranı Baltık denizinde litrede 7 g iken Hazar'da 13, Pasifik Okyanusu'nda 34, Atlantik Okyanusunda 36 g arasında değişmektedir. Normalde deniz suyu tuz oranı ise 35 gramdır (Can ve ark 2002).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. MATERYAL

3.1.1. Polyester Reçine

Genel olarak polyester dikarboksilik asit ile diolün esterifikasyonu ile elde edilen polimerlerdir. Yapıdaki halkalı veya alifatik bulunmasına bağlı olarak farklı özellik göstermektedir. Alifatik tipte olan polyester daha yumuşak bir özellik sunarken aromatik olan ise daha sert, kırılman ve tok özelliği sunar. Diğer taraftan çapraz bağlanma, kristalizasyon, plastikleştirme ve dolgu maddesi ekleyerek de polyesterin özellikleri değiştirilebilir. (<http://www.answers.com/topic/polyester-resin?cat=technology>)

Doymamış polyester reçine genellikle II-A grubu metal oksit veya hidroksitlerle, özellikle MgO, reaksiyon başlatılarak katılaştırılır. Burada bu metaller öncelikle zincirde karboksilik asitler ile reaksiyona girer ve daha sonra diğer zincirdeki karboksilik asitleri tetikleyerek bir karmaşık yapı oluşturarak vizkoziteyi düşürür. Burada kullanılan aktivatörün cinsi, miktarı reçine için aktivatör enerjisini belirler. Dolayısıyla farklı aktivatör ve farklı miktarlarda reaksiyon farklı miktarlarda ve farklı zamanlarda meydana gelecektir. Örneğin %1 MgO ile yapılan bir sertleştirmede aktivasyon enerjisi 67 kJ/mol olarak ölçülmüştür. Aktivatörün reaksiyonu başlatmasıyla ortaya çıkan enerji polyester reçinenin çapraz bağlanması için gerekli eşik enerjisini aştığında reaksiyon ekzotermik olduğu için gerekli diğer enerji buradan karşılanarak reaksiyon devam etmektedir. Dolayısıyla sıcaklığın artırılması ile de reaksiyonda artırılmış olacaktır. Diğer taraftan yapıda sertleşme veya difüzyon zorlaşmasından dolayı polimerizasyon tam anlamıyla tamamlanmaz. Ancak belli süre hala devam eder (Lu ve ark. 2001).

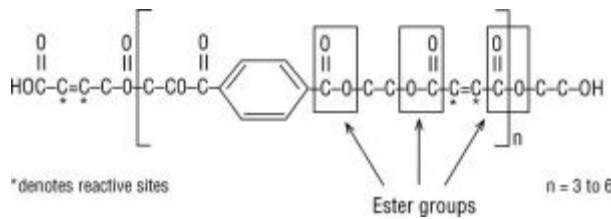
Sulu ortamlarda su molekülleri polimer zincirleri arasına girerek bağları koparıp yapının yumuşamasına neden olur (Marais ve ark. 2000). Ancak diğer taraftan yukarıda da bahsedildiği gibi polimerizasyon devam ettiği için sulu ortamda reaksiyon sonucu ortaya çıkan ısı dışarı verilmekte ve reaksiyon daha da yavaşlamaktadır.

CTP için matris malzeme olarak polyester veya epoksi kullanılabilir. Polyester 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 diğer 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. Polyester reçinenin temel malzemesi stiroil olup zehirli bir malzemedir.

Polyester reçine sistemleri özellikle marine endüstrisinde sıkça kullanılan bir malzemedir. Küçük sandal, yatlar ve feribotların inşasındaki kompozitlerde reçine olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Burada kullanılan polyester reçine doymamıştır. Doymamış polyester reçine termosettir. Oda sıcaklığında sıvı formda bulunurken uygun koşullar altında kondense olur ve katılaştır. Polyester reçine yapmak için pek çok asit ve glikol bulunmaktadır. Tümü farklı özellikler sunarlar.

Genel olarak iki polyester reçine 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 polyester reçinenin kimyasal formülünü göstermektedir. Ester gruplarının durumu (CO-O-C) ve reaktif grupların varlığı (C*=C*) önemlidir. (www.netcomposites.com/education)



Şekil 3.1.1:
Polyester Reçinenin Monomer Yapısı

3.1.2. Kobalt Katalizörü (Co):

Demir, nikel ve diğer metallerle birleştirilerek elde edilen ve "Alnico" adı ile anılan alışılmışın dışındaki bu manyetiklenme 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 kullanılır. (<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periodik/kullanim2.html>)

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

3.1.3. Sertleştirici

Numune hazırlanmasında MEK ile anılan peroksit ihtiva eden AK-İş Kimya'nın piyasaya sunduğu katalizör olarak görev yapan sertleştirici kullanılmıştır.

3.1.4. Cam Lifi

Cam, şişe camından kuartz kristaline kadar pek çok formda üretilebilmektedir. 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 (SiO₂) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken 1260°C civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir (www.teknolojikaestirmalar.com).

Cam lifinin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemet çelikten yüksektir.
2. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar.
3. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.
4. Nem alma özellikleri yoktur, ancak cam lif takviyeli kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf lif işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.
5. Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önem kazandığı durumlarda kullanılırlar. (<http://www.camelyaf.com.tr>)

Cam lifinin imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır.

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.

3. 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. Bu tip cam lifi genellikle plastik veya epoksi reçinelerle beraber kullanılırlar. (www.teknolojikaestirmalar.com)

3.2. METOT

Laboratuvar şartlarında yapılan yorulma cihazında kullanılan yük hücresi 3 kg olduğu için test numunesi kalınlığı malzemenin akma değerini aşmayacak şekilde bir kalınlığa ayarlamak için Instron test cihazında "3 Noktalı Eğilme Testi" yapıldı. Bu teste göre 2 mm numune kalınlığı akma değerine yakın bir değer verdiği tespit edilmiştir. Buna göre test numuneleri 12×55×2 mm boyutlarında olacak şekilde hazırlandı.

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

Kritik lif uzunluğu formülü 3.2.1 formülü ile hesaplanır.

$$l_c = \sigma_f \cdot d_f / \tau_m \dots\dots\dots(3.2.1)$$

(3.2.1) formülüne göre, kritik lif uzunluğu 0,85 mm olarak bulunduğundan, numune için lif uzunluğu 1 mm olarak alınmıştır.

Test için %0 (takviyesiz), %1, %3, %6 oranlarında olacak şekilde 4 farklı lif miktarı ile numuneler hazırlandı ve kalıplarda 24 saat bekletildi. Deniz ortamını sağlamak için numuneler deniz suyunu temsil

eden 35 gr/lt tuz ve pH 8 olacak şekilde hazırlanan suda bekletmeye bırakıldı. Zamana bağlı olarak numuneler çıkarılarak yük kontrollü teste tabi tutuldu.

Tablo 3.4.1
Cam Liflerine Ait Özellikler

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgöl ağırlık (gr/cm ³)	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 genleşme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katlı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	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 ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

Test parametreleri;

Numune boyutları : 12 × 55 × 2 mm

Minimum yük miktarı : 100 g

Maksimum yük miktarı : 1200 g

Saniyede alına veri sayısı : 10

Motor hızı : V1 (7,5 d/d)

Deney süresi : 30 d

Yük kontrolüne bağlı olarak elde edilen uzama değerleri iki faktörlü tamamen tesadüfü dağımlı varyans analizi ile istatistiksel olarak incelenmiştir.

Sonuçlar için oluşturulan matematiksel model aşığıda verilmiştir.

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

V_i : Karışım oranının etkisi (i: 1....4)

S_j : Sürenin etkisi (j: 1....8)

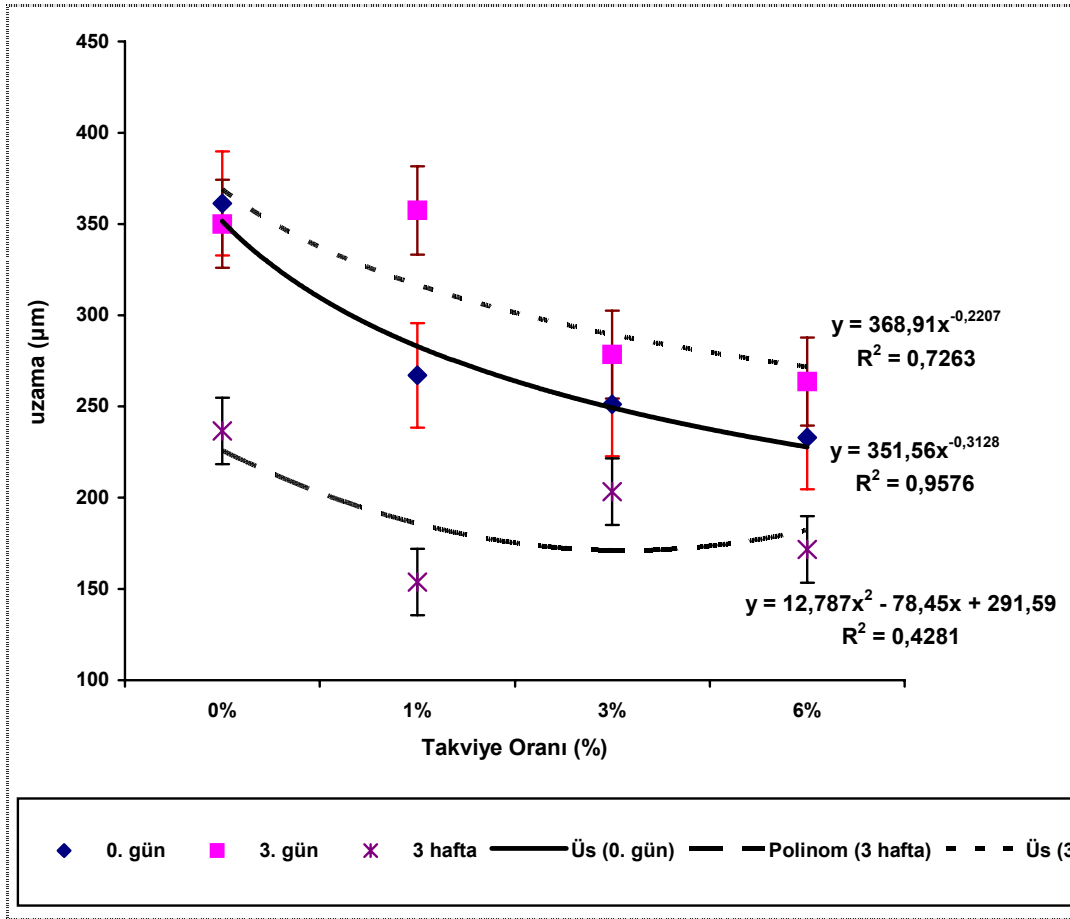
B_{ij}: Süre ve Hacimsel oranın kesişim etkisi

ε_{ijk}: Hata (açıklanamayan değişim)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

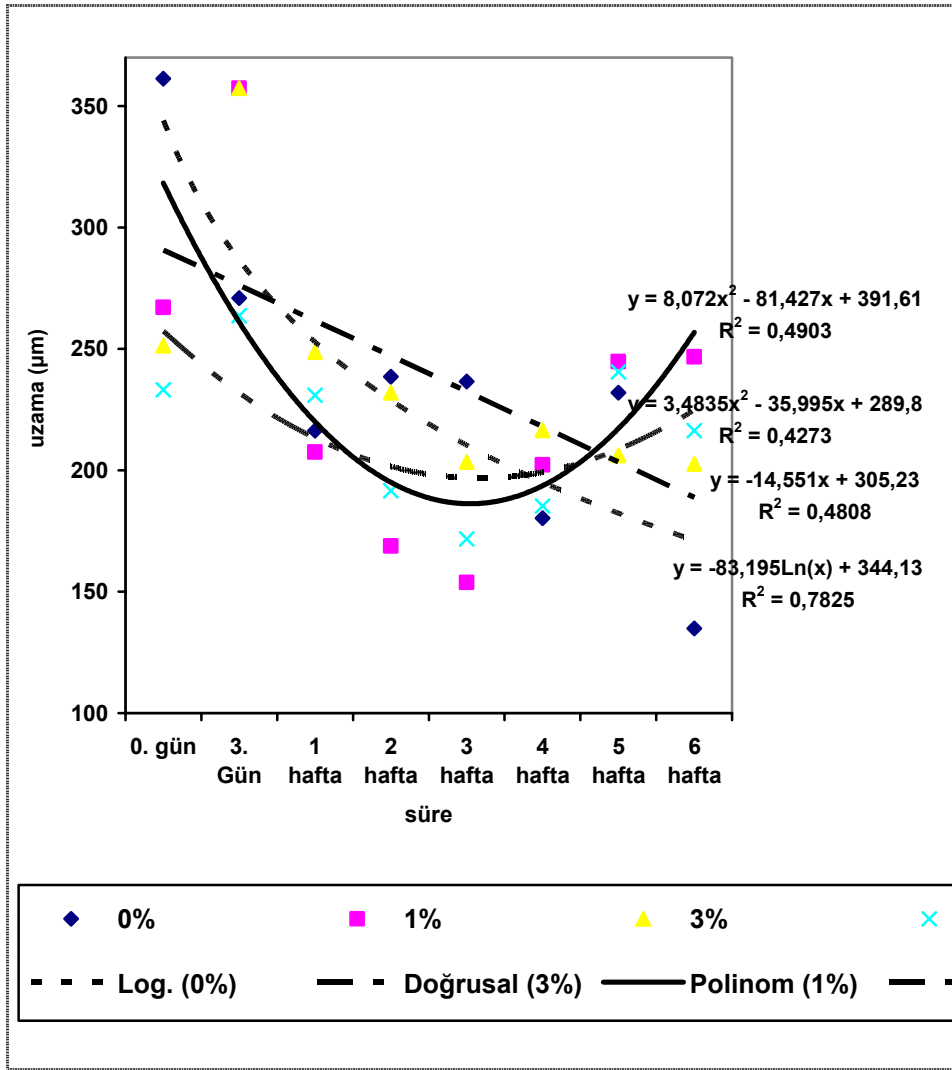
Şekil.4.1.1’de cam lifi takviye oranına bağlı uzama değişimi görölmektedir. Takviye oranı arttıkça uzama değerinde bir azalış görölmektedir. Bu azalış cam lifinin elastisite modülü ile ilişkilendirilebilir. Cam lifinin göstermiş olduğu uzama direnci matris içerisinde yapıya gelen yükü karşılayarak daha az uzama göstermektedir. Ayrıca lif-matris arabirim kuvveti ile yapıya gelen yük, life transfer olduğu söylenebilir.

Tuzlu suda bekletilen numunelerde ise, takviye oranına bağlı olarak bu değişim Şekil.4.1.1’de göröldüğu gibi farklı oranlarda farklı değişimler izlemektedir.



Şekil 4.1.1:
Takviye Oranına Bağlı Olarak Farklı Sürelerde Uzama Değişimi

Şekil.4.1.2’de süreye bağlı olarak farklı takviye oranlarında uzama değişimi görülmektedir. Tuzlu suda bekletme ile yapının göstermiş olduğu uzama takviye oranından bağımsız olarak azalmaktadır. Ancak takviye oranına bağlı olarak bu değişim eğrilerinin eğimi değişmektedir. Bu da yapı içerisinde kalan boşluklar, lif-matris arabirimi ve lif ve matrislerde bulunan hidrofilik gruplardan kaynaklanmış olabilir. Şekil.4.1.1 ve 4.1.2’de 30 dakika sonunda numunelerde, 100-1200 gramlık yük frekansında meydana gelen uzama değerleri verilmektedir. Uzama değerleri 7,5 d/d devirde elde edilmiştir. Her devir altında malzeme elastik toparlanma için yeteri kadar zaman bulmakta ve toparlanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla suda bekletmeye bakmaksızın başlangıç farklı takviyedeki numunelere bakılırsa takviye oranına bağlı bir azalış gerçekleşmektedir. Bu azalış yukarıda da değinildiği gibi lif-matris arabirim bağı, lif tarafından taşınan yük miktarının artması şeklinde yorumlanabilir. Diğer taraftan suda bekletmeye bakıldığında takviye oranına bağlı uzama değerlerinde bir değişimin meydana gelmediği görülmektedir. Şekil 4.1.2’de ise süreye bağlı olarak farklı takviye oranlarında uzama değişimi görülmektedir. Burada ise zamanla uzama değerinde bir düşüş olduğu açık bir şekilde ortadadır. Dolayısıyla hazırlanan numunelerde polimerizasyonun hala devam ettiği söylenebilir.

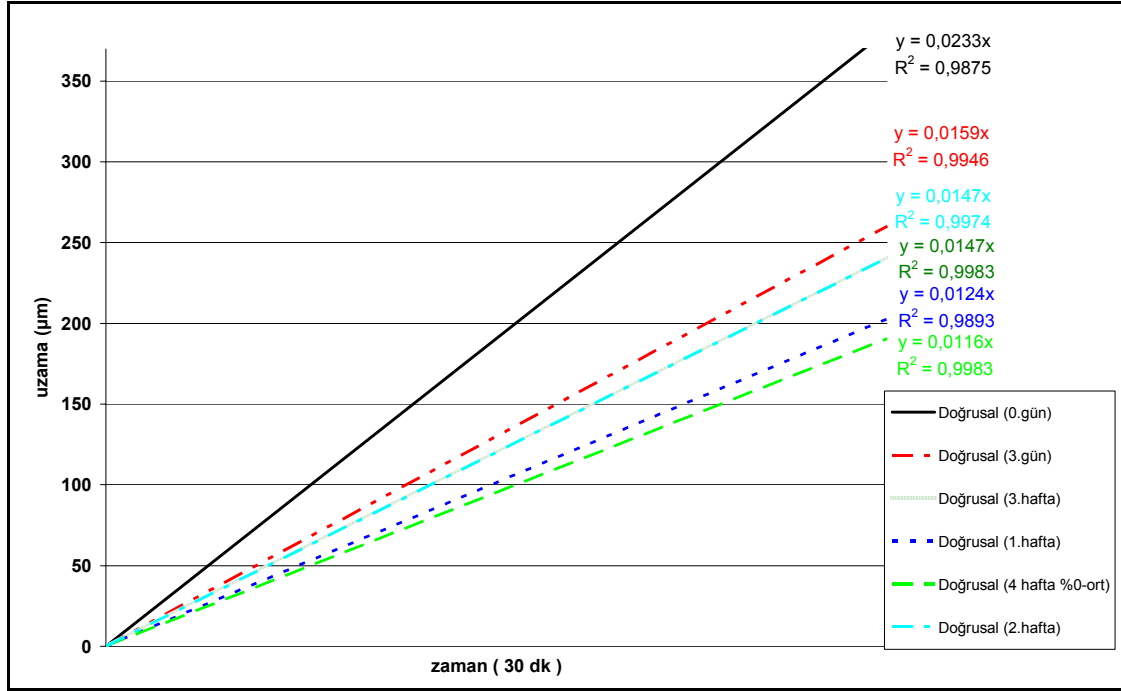


Şekil 4.1.2: Tuzlu Suda Bekletme Süresine Bağlı Olarak Farklı Takviye Oranlarında Uzama Değişimi

Tablo 4.1.1
Yorulma Testi Sonuçları

Takviye Oranı / Süre	Takviyesiz	% 1	% 3	% 6
0. Gün	361,31	267,1	251,29	233,13
3. Gün	350,1	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

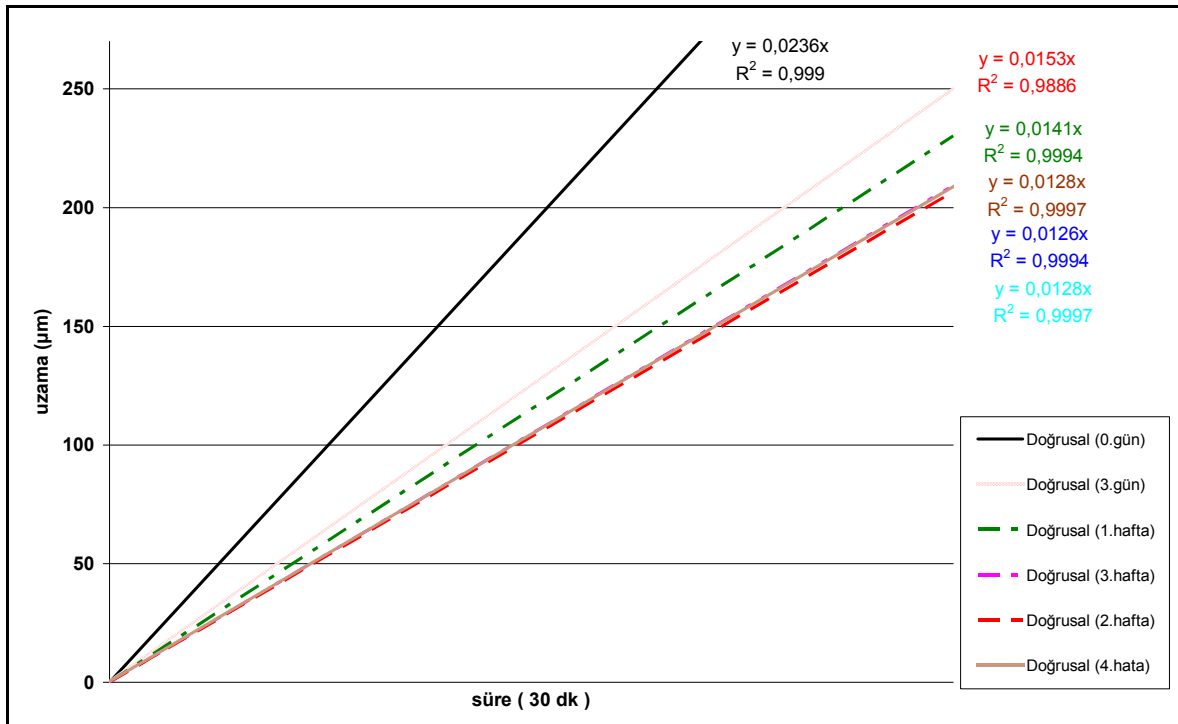
Şekil.4.1.3.'de deniz suyunun deney süresi boyunca uzama değişimi üzerinde etkisi görülmektedir. Bekletme süresine bağlı olarak uzama değerlerinde bir düşüş meydana gelmektedir. Bu düşüş matris boşlukları arasına giren suyun bir direnç gibi görev yapması şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.1.3:

Takviyesiz Numunenin Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim

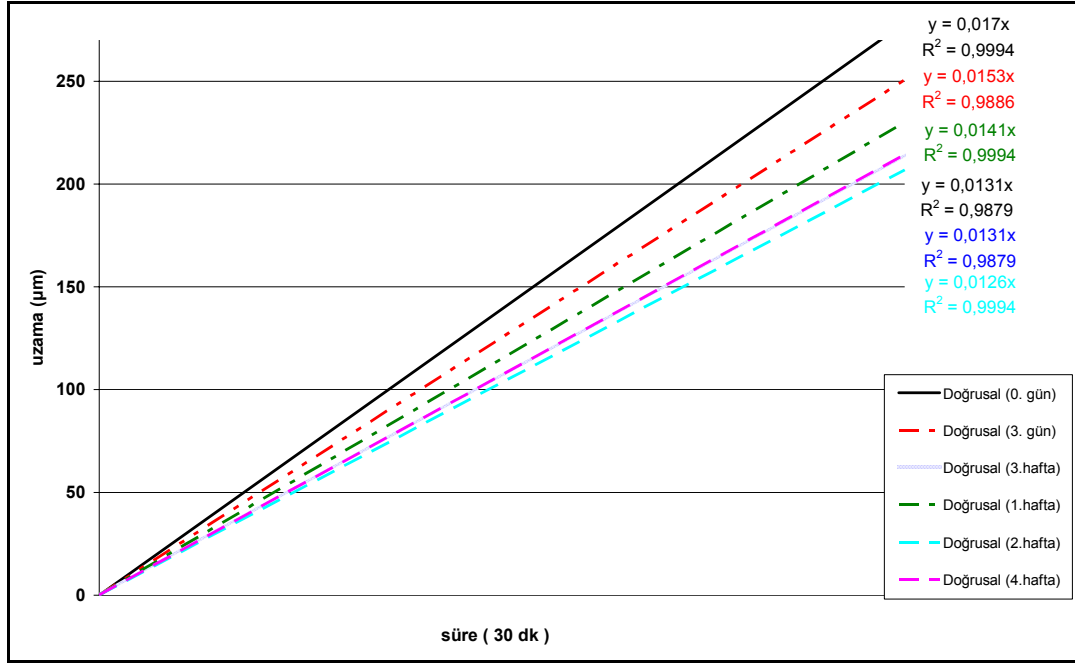
Şekil.4.1.4'de ise %1 takviye oranını etkisi görülmektedir. %1 takviye oranı için uzama değerleri kendini daha az göstermektedir. Takviye oranı arttıkça uzama değerlerinde bir azalışın oluştuğu ancak bunun kayda değer bir değişim olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.1.4:

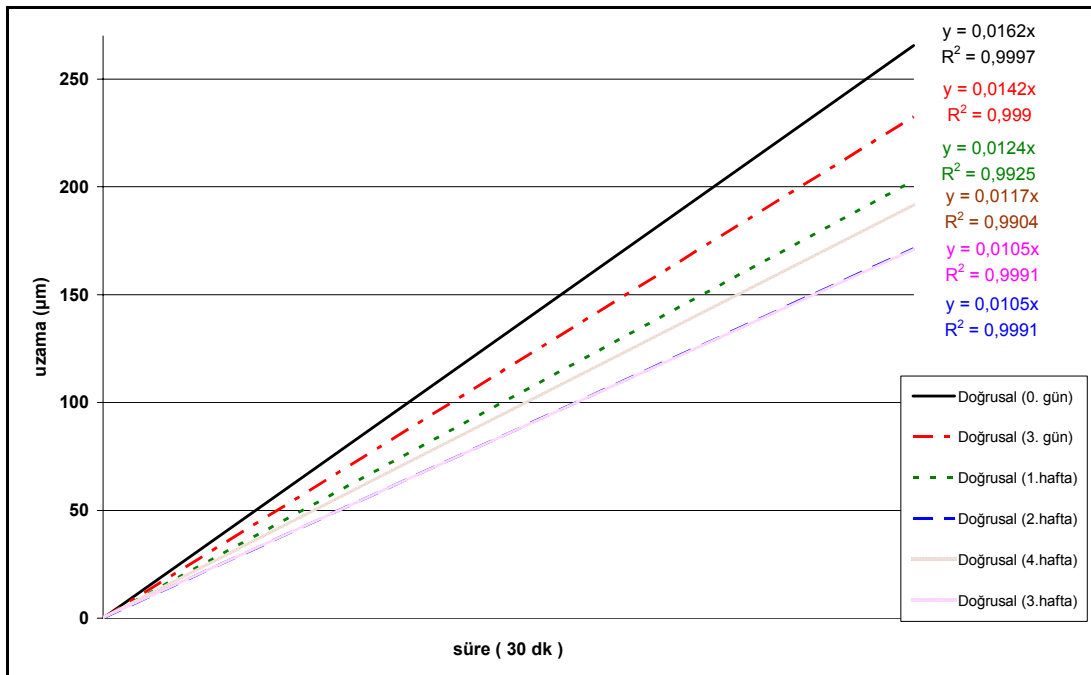
%1 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim

Şekil.4.1.5’de ise %3 takviye oranının etkisi görölmektedir. %3 takviye için bekleme süresinin etkisi takviyesiz ve %1 takviye için olan değişim kadar olmadığı açıkça görölmektedir.



Şekil 4.1.5: %3 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişim

Şekil.4.1.6’da ise %6 takviye oranı görölmektedir.3.gün sonunda en yüksek uzama değerini gösterirken bekletime bağlı olarak uzama değerinde değişim azalmaktadır.



Şekil 4.1.6: %6 Takviye Oranının Deniz Suyunda Bekletme Süresine Bağlı Uzama Değerlerindeki Değişimi

Veriler istatistiksel olarak %5 anlamlılık seviyesinde değerlendirildiğinde, varyans analizi sonuçları denemeye tabi tutulan süre içerisinde takviye oranı ve (takviye oranı)×(zaman) kesişiminin değişken üzerinde etkisinin olmadığını gösterirken, zamanın ölçümler üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Yani uzama üzerinde suda bekletmenin anlamlı bir etkisi varken takviye oranını ve takviye oranı ile suda bekletme etkileşiminin etkisi bulunmamaktadır.

5. SONUÇ

Suda bekletmeksizin takviye oranına bağlı olarak uzama değerlerinde bir azalış olduğu görülmektedir. Yan 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. Polyester reçinenin polimerizasyonu ekzotermik bir reaksiyondur. Sıcaklığa bağlı olarak 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 içerisinde katılan kobalt katalizörü ile devam etmektedir. Kobalt katalizörünün karboksilik asitleri tetikleyerek radikal zincirler oluşturması yapıya daha da rijitlik kazandırmaktadır.

Bu sonuçlar 30 dakika deney süresi boyunca alınan verilerden uzamanın değişimini de desteklemektedir. 3 günlük bekletme süresinde alınan uzama değişimi dikkate alınmaz ise bekletme süresiyle uzama değerindeki lineer değişimde bir azalış olduğu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Altunsaray, E. (2005) *Küçük Tekne Üretim Malzemesi Olarak Cam Takviyeli Plastiklerin Korozif Yorulması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Agarwal, B. D, ve Broutman, L. J. (1980) *Analysis and Performance of Fiber Composites*, Wiley-Interscience, New York.
3. Can, M., Etemoğlu, A. E., Avcı, A. (2002) Deniz Suyundan Tatlı Su Eldesinin Teknik ve Ekonomik Analizi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1).
4. Anonim (2005) Gemi Gövdelerinin Katodik Korunması, <http://www.korozyon.org/article.php?story=20040305200806897&mode=print>.
5. Hahn, H. T. (1981) *Fatigue of Composites*, Composites Guide, University of Delaware.
6. Lu, M., Shim, M., Kim, S. (2001) Reaction Mechanism of an Unsaturated Polyester System Containing Thickeners, *European Polymer Journal*, 37(5), 1075-1078.
7. Marais, S., Metayer, M., Nguyen, T. Q., Labbe, M., Saiter, J. M. (2000) Diffusion and Permeation of Water Through Unsaturated Polyester Resins-Influence of Resin Curing, *European Polymer Journal*, (10), 453-462.
8. Sakin, R., Ay, İ., Yaman, R. (2008) An Investigation of Bending Fatigue Behavior for Glass-Fiber Reinforced Polyester Composites Materials, *Materials and Design*, (29), 212-217.
9. <http://www.answers.com/topic/polyester-resin?cat=technology>, 2007.
10. Anonim (2006) <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/periyodik/kullanim2.html>.
11. Anonim (2007) <http://www.camelyaf.com.tr>.
12. Deniz, M. E. (2006) http://www.eng.harran.edu.tr/~emin/kompozit_malzemeler.htm.
13. Anonim (2006) <http://www.netcomposites.com/education>.