KÜÇÜK TEKNE ÜRETİM MALZEMESİ OLARAK CAM TAKVİYELİ PLASTİKLERİN KOROZİF YORULMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı Programı

Erkin ALTUNSARAY

Temmuz, 2005

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ERKİN ALTUNSARAY, tarafından **Yard. Doç. Dr. GÖKDENİZ NEŞER** yönetiminde hazırlanan **"KÜÇÜK TEKNE ÜRETİM MALZEMESİ OLARAK CAM TAKVİYELİ PLASTİKLERİN KOROZİF YORULMASI"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Gökdeniz NEŞER

Yönetici

Doç. Dr. Deniz ÜNSALAN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Çiçek ÖZES

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Dokuz Eylül Üniversitesi'nin araştırma projesi kapsamında yapılmıştır. Ortak emek ve çaba sarfedilerek yapılan bu çalışmada; test parçalarının hazırlanmasında ve çalışmanın yönlendirilmesinde başta Mehmet Emin TACAR olmak üzere Fikret Tacar Fiberglas ve Ağaç Tekne İmalatı şirketi çalışanlarına, desteklerinden dolayı Türk Loydu Vakfı'na, testlerin yapılmasındaki katkılarından dolayı Romanya'nın Yapım Donanımları ve Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'ne (ICECON), mühendislik birikiminden her zaman yararlandığım değerli çalışma arkadaşım Hakan KARAGÖZ'e, iki ayın üzerinde süren test parçalarının hazırlanmasında birlikte görev aldığımız sevgili arkadaşım Cenk ERBİL'e, bana bu zevkli ve heyecan verici konuda çalışmayı öneren araştırma projesinin yöneticisi danışmanım Gökdeniz NEŞER'e ve destekleriyle daima yanımda olan dostlarıma ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Erkin ALTUNSARAY

KÜÇÜK TEKNE ÜRETİM MALZEMESİ OLARAK CAM TAKVİYELİ PLASTİKLERİN KOROZİF YORULMASI

ÖZ

Bu araştırmanın amacı küçük teknelerde kullanılan Cam takviyeli plastik (CTP) malzemelerin deniz koşullarındaki yorulma davranışlarının, yapılan testlerle anlamaya çalışılmasıdır. Bu çalışmadan elde edilen veriler, tasarımcılar için özellikle ön tasarım aşamasında çok kullanışlı olacaktır. Test edilen kompozitlerin türü el yatırma tekniğiyle kıvrımsız E-Cam elyafların polyester reçine matrisiyle birleşimidir. Numuneler iki standart kalınlıkta ve bu malzeme doğrultularında üretilmiş; yorulma için, atmosferik koşullarla deniz suyu simüle edilmiş koşulların ikisinde test edilmiştir. Deniz suyunda test edilen malzemeden elde edilen sonuçların, atmosferik koşullarda test edilen benzer numunelerden elde edilen sonuçlardan çok düşük olduğu görülmüştür. Bununla beraber, gerilme eğrilerinin aynı karakterde olması; iki test koşulunun yorulma hasar mekanizmasının aynı ve elyafla ilgili etmenlerden olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Denizel kompozitler, Cam elyaflar, Çevresel bozunma, Korozif yorulma, Yapıştırma birleştirmeleri, Vidalı birleştirmeler.

CORROSIVE FATIGUE BEHAVIOUR OF GLASS REINFORCED PLASTICS AS A BOAT BUILDING MATERIAL

ABSTRACT

The aim of this research is to try to understand fatigue behavior of the GRP material used in small boats under the effect of marine environment by the tests to be performed. Data obtained from the study will be very useful for the designers especially during the preliminary design stage. The type of composite tested is hand-laid E-glass non-crimp reinforcements with a polyester resin matrix. The specimens were produced in two standard thicknesses and with these material directions and were tested both under atmospheric and simulated seawater environments for fatigue. It was seen that the results obtained by testing the material in seawater is much lower than the results of obtained from testing similar specimens under atmospheric conditions. However, the stress curves indicate the same slope, suggesting that the fatigue failure mechanism of both testing conditions is the same and the fiber-related factors dominate.

Keywords : Marine composites, Glass fibres, Environmental degradation, Corrosive fatigue, Bonded joints, Bolted joints.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii

TEŞEKKÜR iii

ÖZ iv

ABSTRACT v

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Plastik Kompozitlerde Yorulma 4

1.2 Plastik Kompozitlerin Çevresel Yorulması 13

BÖLÜM İKİ – MATERYAL VE METOT 19

2.1 Matris Malzeme 19

2.2 Kıvrımsız Kuvvetlendiriciler 20

2.3 Test Parçalarının Şekilleri 23

2.4 Test Parçalarının Katman Sıralamaları 24

2.5 Test Parçalarının Oluşturulması 26

2.5.1 El Yatırma Tekniği İle Plakların Oluşturulması 26

2.5.2 Plakların Parçalara Ayrılması 29

2.5.3 CNC Freze Tezgahının Hazırlanması 30

2.5.4 CNC Freze Tezgahında Kesim İşlemi 31

2.5.5 Yapıştırma Grubundaki Test Parçalarının Birleştirilmesi 33

2.5.6 Vida İle Birleştirme Grubundaki Test Parçalarının Delinmesi ve Birleştirilmesi 34

2.5.7 Test Parçalarının Boyanması 35

2.5.8 Test Parçalarının Sınıflandırılması 36

2.6 Testlerin Yapılması 37

BÖLÜM ÜÇ – SONUÇLAR 39

3.1 Çekme Mukavemeti Sonuçları 39
3.2 Yorulma Mukavemeti Sonuçları 39
3.2.1 Düz Test Parçaları 39
3.2.2 Yapıştırma Test Parçaları 44
3.2.3 Vida İle Birleştirilmiş Test Parçaları 46

BÖLÜM DÖRT – DEĞERLENDİRME 48
4.1 Çekme Mukavemetleri 48
4.2 Yorulma Mukavemeti 48
4.2.1 Düz Test Parçaları 48
4.2.2 Yapıştırma Test Parçaları 49
4.2.3 Vida İle Birleştirilmiş Test Parçaları 49
4.3 Genel Değerlendirmeler 50

KAYNAKLAR 52

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

Gerek motor teknesi olsun, gerekse yelken teknesi olsun günümüzün gezi teknelerinin eski kuşak teknelere oranla yapısal anlamda çok daha büyük yüklerle başetmek zorunda oldukları açıktır. Bu olgunun temelinde, tekne sahiplerinin rekabetçi yapısının yattığını söylemek çok yanlış değildir. Motor tekneleri için daha yüksek hız arzusu, daha büyük motorları gerektirmekte ve hem böyle bir motorun varlığıyla, hem de ulaşılan yüksek hızla tekne bünyesinde yüksek gerilmeler doğmaktadır. Dalgaların ve rüzgarın doğası hep aynı kalmakla birlikte geçmişle kıyaslandığında daha büyük yelken alanlarına sahip, sentetik yelken kumaşlarıyla donatılmış, daha kısa salmalı yelken tekneleri de yine yüksek gerilmelerle başetmek zorunda kalmaktadır günümüzde. Tüm bunlara ek olarak, tekne yarışları da geçmişe nazaran çok daha sert çevresel koşullarda gerçekleşmektedir.

Bu psikolojideki bir pazara hizmet veren tekne tasarımcıları ise, daha ağır yüklere karşı koyabilecek daha hafif yapılar elde edebilmek uğraşısı içindedirler. Günümüzdeki ileri plastik kompozit malzemelerle üretime eğilimin nedeni, anılan malzemelerin işte bu ikilemi çözebilecek olanaklar sunmasıdır (Neşer ve diğer., 2002).

Denizel kullanıma özgü bir ürün söz konusu olduğunda ise, uzun bir sürece yayılan dayanımı, kolay işlenebilirliği, üretilebilirliği ve maliyeti en iyi noktada kesiştiren malzeme olarak cam takviyeli plastikler, özellikle gezi teknelerinde ve bazı yüksek hızlı hizmet gemisi sınıfına giren teknelerde yaygın bir kabul görmektedirler (Tabby ve Hoyning, 1992).

Pazar beklentilerini karşılamanın yollarını araştırmanın yanısıra bir tasarımcı, pazardaki mevcut üretim olanaklarını da göz önüne almak zorundadır. İşte bu çalışma, Cam Takviyeli Plastik (CTP) tekne üretiminde Türkiye küçük tekne üretim

işkolunda yaygın olarak başvurulan yöntem olan 'el yatırma'yla üretilmiş katmanlamaların yorulma performansı değerlerini saptamak üzerinedir. Varılan sonuçların ve elde edilen verilerin Türkiye'deki ortalama üretim düzeyiyle ilişkili olması tasarımcıya daha gerçekçi değerlerle çalışabilmek olanağı sunacaktır.

İlk defa, soğuk savaşın sona ermesiyle birlikte elyaf takviyeli polimerik kompozit malzemeler havacılık ve deniz endüstrisindeki uzun yıllara yayılan başarılı uygulamalarından sonra ticari pazarlara da bir giriş yaptılar. Elyaf takviyeli plastik kullanımına olan bu ilgi öncelikle malzemenin ömrünün maliyetine göre yüksek olması, yine mukavemet / ağırlık ve katılık / ağırlık oranının yüksek olmasıyla beliren karakterinden kaynaklanmaktadır (Demers, 1998).

Son on yıllarda elyaf takviyeli kompozit katmanlamalar uçakların temel yapısal bileşenleri, hafif, hızlı tekneler, tren vagonları ve rüzgar enerjisi üreticileri gibi ağırlığa karşı duyarlı yapılarda kullanımları açısından diğer seçeneklere nazaran rekabetçi bir hale gelmiştir. Kompozit malzemelerin geniş anlamda kullanıma kavuşması, bu malzemelerin katılık ve mukavemet gibi özgül niteliklerinin mükemmeliğin yanısıra yorulma ile korozyon performansıyla da ilgilidir. Kompozit katmanlamalar malzemenin servisi sırasında artarak biriken yorulma hasarlarını tolere edebilmek ve bunu bileşenin geride kalan dayanımını hiçbir şekilde azalmayacak biçimde yapan malzemeler olarak dikkate değer bulunmuştur. Diğer taraftan, temel kompozit yapıların tasarımı, yorulma hasarı toleransı felsefesiyle yaklaşarak formülize edilmekten çok uzaktır ve pratiğe yansımamaktadır. Bu çok ciddi olumsuzluğun temel bir nedeni, hasar toleransı kavramında kullanılabilecek uygun yorulma hasarı fonksiyonlarının yokluğudur. Yorulma boyunca derece derece artan "hasar"ı niceliksel olarak formülize etmek hiç de kolay bir iş değildir. Katmanlanmış elyaflı kompozitlerin yorulma hasarı mekanizması ise iyice karmaşıktır. Malzemenin mikroyapısındaki düzgün olmayan yayılım bazı yörelerde yerel kırılmalara yol açar. Kusurlar mikroskobik ölçek düzeyinde farklılıklar gösterir. Uygulanan yorulma yüküne bağlı olduğu kadar kuvvetlendirici elyaf (cam, karbon, vb.) ve katmanlamanın (eşyönlü veya çoklu boyutlu) yapısına bağlı olarak da değişen yorulma mekanizmaları çok farklıdır ve elyaflar tarafından tutulmuş matris

mikrokırıkları, enine matris kırıkları, boyuna matris kırıkları, serbest uç ya da yerel delaminasyonlar, delamine olmuş fiberlerin ya da katmanların düzlem dışı burkulması, elyaf kırılması şeklinde beliren değişiklikler içerebilir.

Şunu da belirtmek gerekir ki, "hasar" sözcüğünün tanımı dahi kesinlik içermemektedir. Gerçekte matris kırıkları, elyaf ayrışmaları, delaminasyonlar, elyaf kırıkları şeklinde ortaya çıkan, içsel malzemenin bütünlüğünün yorulmanın indüklemesiyle yavaş yavaş azalması yorulma hasarının anlamlı bir tanımlanmasına yardımcı olur. Fakat yapısal bütünlük analizinde yukarıda tanımlanan hasarları gözönüne almak pratik değildir ve bu yüzden daha basitleştirilmiş modellere gereksinim duyulur. Buradaki yorulma hasarından malzemenin mekanik yüklere tepki niteliğindeki tedrici azalma anlaşılacaktır. Bu tanımı kabullenmekle hasarın birikim oranı yorulma sırasında oluşan malzemenin yapısal değişimlerinin oranından başlayabilecektir, yine mühendislik bakış açısından sorun bir bileşenin bütünlüğünü koruyup korumadığıyla ilgilidir. Bu giriş, temel olarak mekanik niteliklerdeki, yorulma nedeniyle olan gerilemeleri ve bu nitelik yitimlerinin analitik formülasyonlarını elde etmek için geliştirilmiş yaklaşımlarla ilgilidir. Katmanlanmış kompozitlerin yorulma hasarı toleransı tasarımı kavramı kapsamında önerilen analitik formüllerin kullanımının uygunluğu da ayrı bir tartışma konusudur.

Bu kavramlar, metalik yapılara uygulanan yorulma analizi yaklaşımlarına benzerlikleiyle dikkate şayan bir ilgiyi çekmektedirler. Aynı zamanda tasarım uygulamalarındaki sadelikle, özellikle geniş bir hizmet spektrumuyla değişken yorulma yükleri altında çalışması beklenen yapı bileşenlerinin tasarımında olduğu gibi günümüzün tasarım pratiğinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Tahribatsız muayene verilerinin değerlendirilmesiyle malzeme niteliklerindeki azalmayı ve yorulma hasarını değerlendirmeye dönük yaklaşımlar söz konusudur. Burada vurgu DSF (damage severity factor) hasar ağırlığı faktörü yaklaşımına yapılmaktadır. Bu yaklaşım kompozit katmanlamaların yorulma analizinin bir hasar toleransı altyapısını oluşturmaktadır (Gdoutos, Pilakoutas ve Rodopoulos, 2000).

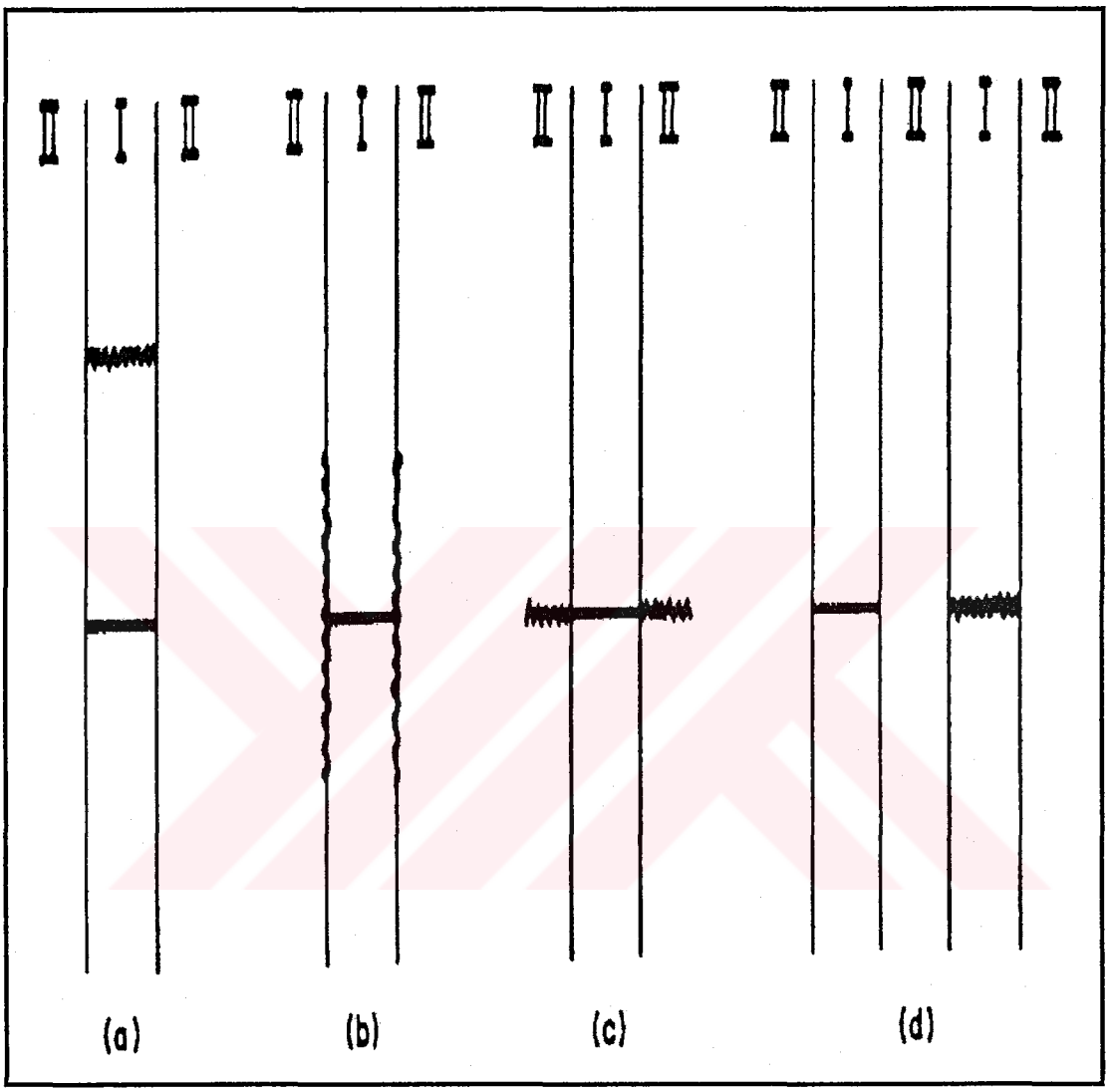
1.1 Plastik kompozitlerde yorulma

Mühendislik kompozit malzemelerinin yorulma hasarı mekanizmaları çok karmaşıktır ve böylelikle tamamiyle anlaşılır olmaktan çok uzaktır. Bu karmaşıklık kompozitlerin düzgün dağılımlı bir yapıya sahip olmalarından kaynaklandığı gibi malzemenin herhangi bir yüke maruz kalmadan önce dahi içerdiği "başlangıç hasarı"nın varlığından da kaynaklanabilir. Yorulma sırasında bütün bu olumsuzluklar birbirini etkiler. Belirtildiği gibi, hatalar bir baskın nitelikli makrokırıkta biraraya gelmezler, böyle olunca da gittikçe artan bir kırık ucu gerilmesi yoğunluğu faktörünün dağılımıyla ilgili olan kırık büyüme oranına bağlı kırılma teorileri uygulanabilir olamazlar. Bir kompozitin yerel yorulma hasarını tahmin etmek için genel bir kriter oluşturmak çok zordur. Her ne kadar böyle kriterler geliştirilmiş ise de, bunlar pratik uygulamalar için son derece karmaşık olduklarından sınırlı bir kullanım alanında kalmaktadırlar. Ayrıca, yorulma sırasında hasar birikimi tedricidir, fakat yorulma analizi yapabilmek için yorulma hasarı hesaplanabilir belirlikte olmalıdır.

Yorulma hasarı mekanizmalarını daha iyi anlamak için, yorulma hasarının karmaşıklığının tanımı elyaflara paralel doğrultuda çekme yükü ile yüklü eşdoğrultulu (unidirectional, UD) kompozitlerin en basit durumundan başlatılmalıdır. Bu en basit durum için dahi, hasar mekanizması Şekil 1.1'de görüldüğü gibi üç temel moda bölünebilir (Hahn, 1981). Hahn (1981), kompozit malzemelerdeki kırılmaların dört farklı hali olduğunu tahmin etmektedir. Şekil 1.1'de I bölgesi elyaf bölgesine karşılık gelmekte, II bölgesi ise matrisi anlatmaktadır.

Elyaf kırılması, lokal gerilmenin en zayıf elyafın mukavemetini aştığı zaman oluşur. Bu kırılan elyaf ucunun kenarındaki elyaf – matris arayüzeyinde kesme gerilmesi konsantrasyonuna neden olur. Ara yüzey alanı boyuna çekme gerilmesi anlamında bir gerilme yoğuşturucusu gibi harekete eder ki bu da matrisin kırılma gerilmesini aşarak matriste enine kırıkların oluşmasına yol açar. Bu kırıklar gelişigüzel dağılım gösterirler ve başlangıçlarında elyaflar tarafından sınırlandırılırlar. Yorulma prosesinin gelişmesiyle yerel uzamalar elyaf kırılmasına

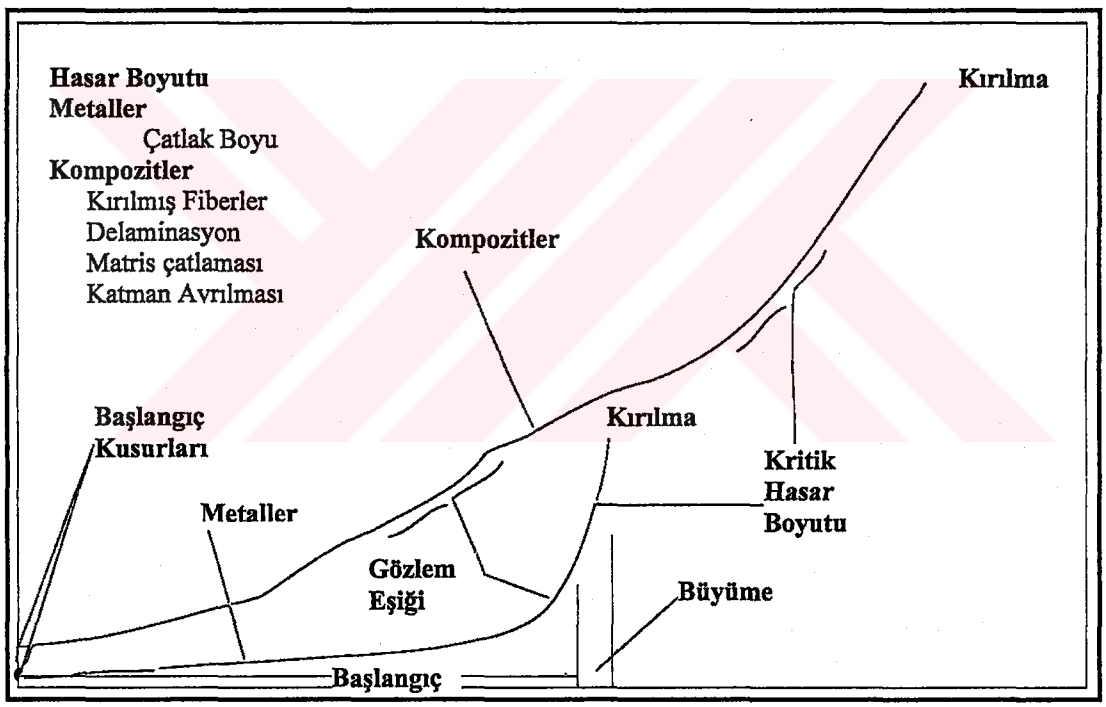
ve matris kırıklarının üremesine yol açan bir eşik değerini aşarlar. Matris kırığı üremesi sırasında matris – elyaf arayüzeyi kırılma ucundaki aşırı kesme kuvvetleriyle zaafa uğrayacaktır.



Şekil 1.1 Kompozit malzemelerin yorulma hasarı halleri (Hahn, 1981)
(a) hali: Sert matris kırılması elyaf üzerinde ilerlemeye çalışmaktadır.
(b) hali: Elyaf/matris arayüzeyinin zayıf olduğu halde oluşur ki katman ayrışması (debonding) de denilebilir.
(c) hali: Zayıf ve görece olarak düşük tokluklu matris.
(d) hali: Güçlü elyaf / matris bağlantısı var ve sert bir matris söz konusu.

Elyaf takviyeli plastiklerin mühendislikteki kullanımlarıyla ilgili temel bir problem, döngüsel gerilmelerin bileşik hallerine dayanımlarının tanımlanabilmesidir. Kompozit malzemeler mukavemet ve katılıklarının anizotropik karakterleri nedeniyle, statik ve yüklemeleri altında çok karmaşık hasar mekanizmaları

geliştirirler. Yorulma, numune hacmine yayılı bir şekilde yaygın bir hasara neden olur. Bu tek bir kırığın malzeme yapısının bütününde oluşturduğu zafiyetten çok farklı bir hasara neden olacaktır. Baskın bir tek kırık, metal gibi izotropik ve gevrek malzemelerin statik yükleme altında karşılaşacakları en çok bilinen hasar mekanizmasıdır. Yorulma altındaki kompozit malzemelerde ise bilinen temel dört hasar mekanizması vardır: matris kırılması, delaminasyon (katmanların ayrışması), elyaf kopması ve yüzeyler arası ayrışma. Farklı hasar mekanizmalarının malzemenin doğası gereği sahip olduğu anizotropiler, karmaşık gerilme alanları ve lineer olmayan davranışlarla birleştiğinde yorulmanın doğasını anlama yeteneği çok ciddi bir şekilde azalmaktadır. Şekil 1.2, kompozitlerin ve metallerin zaman içindeki tipik yorulma hasarlarının karşılaştırmasını vermektedir.



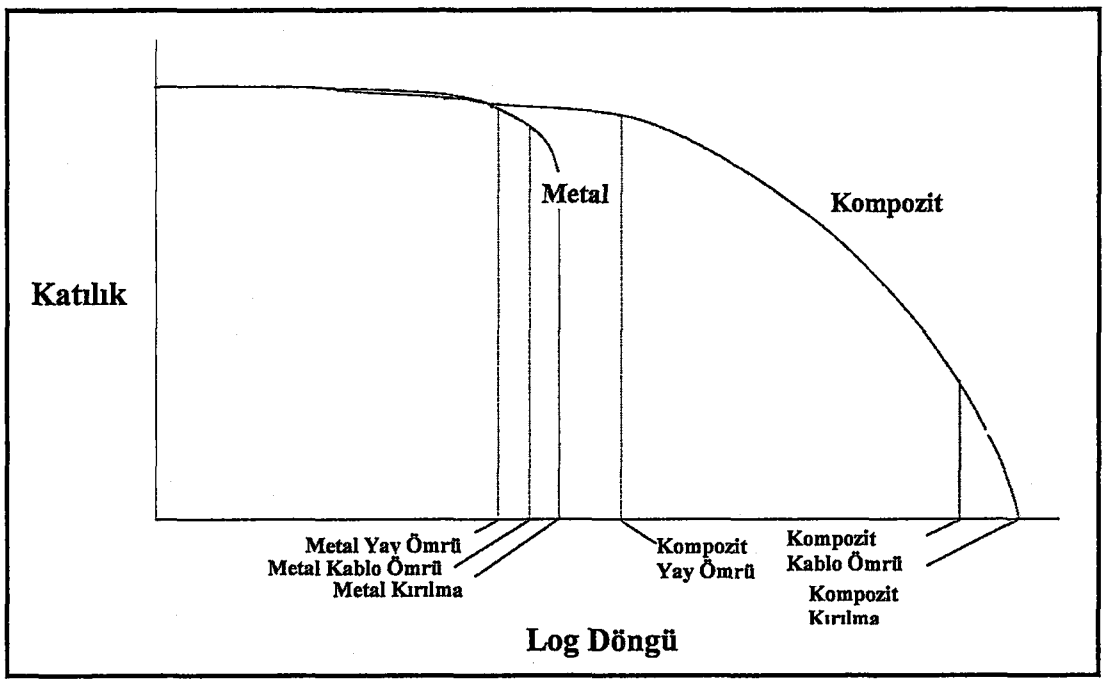
Şekil 1.2 Metal ve kompozitlerin tipik yorulma hasarlarının karşılaştırılması (Salkind, 1972)

Çekme – çekme, çekme – basma yorulma yüklemesinin birçok unsuru (ısının, frekansın, ön – gerilmeli örneklerin, çatlaklı numuneleri ve nemin etkileri) araştırılmıştır. Bu parametrelerin malzeme çeşitliliğine, elyaf doğrultusuna ve katmanlama sıralamasına göre etkinliklerindeki değişimleri inceleyen bir çok bakış da geliştirilmiştir.

Yorulma yüklemesi sırasında kompozitlerin hasar kriterlerinin kurulması amacıyla geniş ölçekli çalışmalar da yürütülmüştür. Yorulma hasarı *"yeterli katılığın kaybı"* olarak tanımlanabileceği gibi *"yeterli mukavemetin kaybı"* olarak da tanımlanabilir. Yorulma ömrünü tanımlamak için ise iki yaklaşım vardır: mukavemetin yitimine kadar sabit bir gerilmenin döngüsel olarak uygulanmasıyla ve katılığın yitimine kadar bir sabit genlik döngüsünün uygulanmasıyla. Yaklaşım, katmanlamanın tasarım gerekliliklerine bağlı olarak kullanılır.

Genelde, katılıktaki azalma kompozit malzemelerle çalışılan birçok yapı bileşeni için kabul edilebilir bir hasar kriteridir. Şekil 1.3 kompozitler ve metaller için katılık azalmasının tipik eğrisini vermektedir. Kompozit malzemelerin mikroskobik zaafiyla doğrudan ilişkilendirilebilecek olan katılık değişimi hassas bir şekilde kolaylıkla ölçülebilir ve hasarın belirteçi olarak kolaylıkla değerlendirilebilir. Sabit genlikli uzama yüklemesi durumunda zaaf oranı kompozit numune içindeki gerilmeyle ilgilidir. Başlangıç olarak büyük bir yük numuneyi uzatmak için gerekecektir. Bu büyük bir gerilme düzeyine karşılık gelir. Yorulma sürdükçe, daha az yük numunenin şeklini değiştirmek için yeterli olacaktır. Numune içindeki gerilme düşürüldüğü için, numunedeki bozunma da azalacaktır. Şekil değişimini azaltacak olan bir yük azaltılması anılan numunenin katılığındaki azalmaya karşılık gelecektir. Böylelikle, sabit genlikli yorulmada katılık azalması ilk olarak dramatiktir, bunu matris bozunması takip eder ve sonra küçük azalmalar başlayana dek hızlı bir şekilde numune incelir.

Bir eş doğrultulu elyaflı kompozitte, kırılmalar elyaf doğrultusunda olur ki bunlara genellikle matris kırılmaları eşlik eder. Kırıklar elyaf doğrultusunun enine bir şekilde formlanabilirler ki bu da çoğunlukla elyaf kopmasının ve matris hasarının bir belirtecidir. Elyaf doğrultusunun enine kırılmaların birikmesi katmanlamanın yük taşıma kapasitesinde bir düşmeye neden olacaktır ve bunu takip eden yorulma döngüleri keskin bir viraj alır gibi, kompozit malzemenin beklenmeyen bir şekilde hasarlanmasına yol açarlar. Bu yorulma halinin, tek bir kırığın oluşumu ve ilerlemesini ihtiva eden metal yorulma hasarlarından çok büyük bir farkı vardır.



Şekil 1.3 Metal ve kompozitlerin katılık azalmalarının karşılaştırılması (Salkind, 1972)

Kompozit malzemede küçük kırıklar herhangi bir belirti olamadan, aniden oluşabilir ve sonra numune boyunca ilerlerler. Şu da iyi bilinmelidir ki, reçinede birçok kırık oluşsa da kompozit malzemeler hatırı sayılır bir mukavemet özelliği taşımaya devam edebilirler. Mukavemet özelliklerindeki bu tutulma (retention) katmanlamadaki her bir elyafın yük taşıyıcı eleman olarak çalışması ve eğer biri zaafa uğradıysa yükünün bir diğeri tarafından üstlenildiği gerçeğine bağlıdır.

Kompozit malzemenin mukavemetini ve yorulma ömrünü tanımlamak için birçok teori vardır. Herhangi bir analitik model bir kompozit malzemedeki mümkün olabilecek tüm hasar işleyişlerini hesabe katabilecek yeterlilikte olamayacağından, istatistiksel yöntemlere yorulma ömrünün tanımlanmasında başvurulabilmektedir. Weibull dağılımının malzeme mukavemetini ve yorulma ömrünü tanımlamak için yararlı bir yöntem olduğu ispatlanmıştır. Weibull dağılımı üç parametreye dayanılarak kurulmuştur: ölçek, şekil ve konum. Bu parametreleri tahmin etmek ise yine üç yöntemden biriyle çözülebilir: en yüksek olasılık kestirim yöntemi, moment kestirim yöntemi ya da standartlaştırılmış değişken yöntemi. Bu kestirim yöntemleri (Kim, 1987) ve (Talreja, 1987) referanslarında ayrıntılarıyla tartışılmıştır.

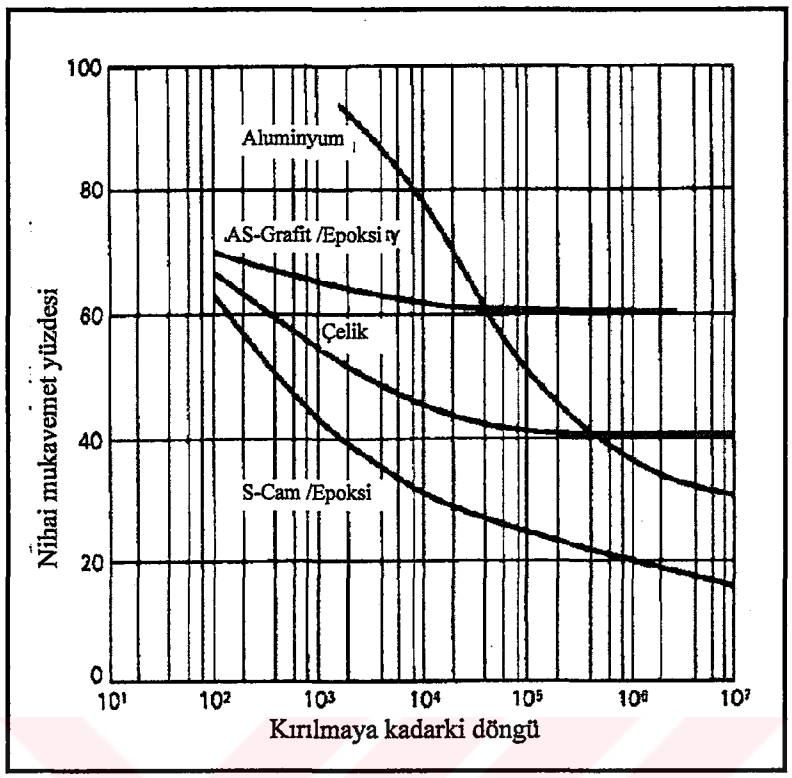
Görülmüştür ki, eğer konum parametresi sıfır alınırsa en yüksek olasılık kestirim yöntemi ve moment kestirim yöntemi ölçeğin ve şeklin kestiriminde büyük hatalara yol açmaktadır. Standartlaştırılmış değişken kestirimi, her üç parametre için de düşük şekil sınırlarında geçerli ve daha etkin kestirimlere yardımcı olmaktadır.

Yorulma davranışını tanımlamakta kullanılan bir metod da statik mukavemetleri yorulma fonksiyonlarıyla yer değiştirmek suretiyle yapılan statik mukavemet teorisini yorulma mukavemetine yaymak metodudur.

Güç Kanunu, yüksek sayıda döngü içeren metallerin yorulma verilerini temsil etmek için kullanılmaktadır. Ortalama gerilmenin salınımı oranı denklemine bir başka terim eklenerek, güç konumu da kompozit malzemelere uygulanabilir (Sims ve Brogdon, 1977).

Cebrik ve lineer birinci derece diferansiyel denklemler kompozit yorulma davranışını tanımlamakta kullanılabilir (Highsmith ve Reifsnider, 1986).

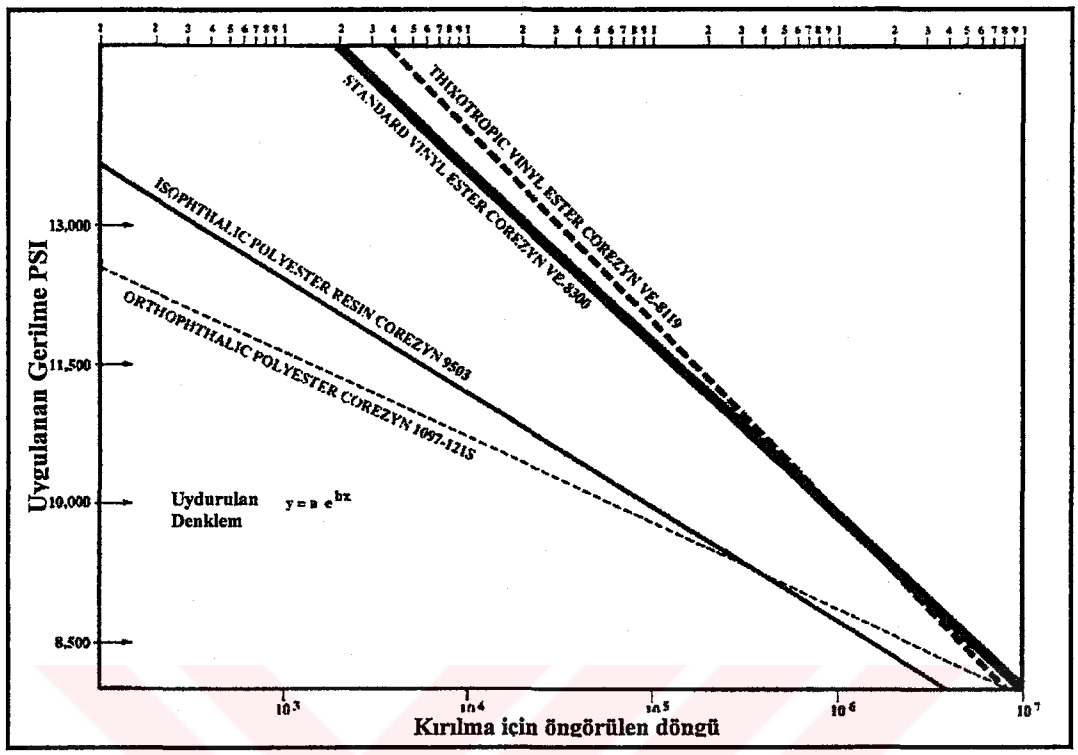
Daha birçok değişik teorem kompozit malzemelerin yorulma ömrünü tanımlamak için kullanılmıştır. Bununla birlikte, deniz alanında kullanılan çok çeşitli kompozitler ve çok geniş bir kullanım alanı olması yorulmanın kuramsal hesaplarının ancak ilk bakışta bir fikir verecek sonuçlar olarak algılanması gereğini ortaya koyar. Katmanlamaların bir deneysel test programıyla yorulma testlerinin yapılması incelenen katmanlamanın yorulma özelliklerini tanımlamak için en iyi yöntemdir. Teoriler de bu yolla desteklendikçe geçerlilikleri daha da iyileşecektir. Eldeki bilginin azlığına karşın deneysel veriler kompozit malzemelerin bazı metallerden yorulma koşullarında daha iyi sonuçlar verdiğini anlatmaktadır. Şekil 1.4 bazı metallerin ve kompozitlerin yorulma mukavemeti karakteristiklerini anlatmaktadır.



Şekil 1.4 Metallerin ve kompozitlerin yorulma mukavemeti karakteristikleri (ASM, 1987)

Elyaf Takviyeli Plastik (ETP) katmanlamaların yorulma ömrü beklentileri için hassas tahminlerin, analitik tekniklerin uygulanmasını aşmasına rağmen gözönüne alınan malzemenin göreceli performansına bazı yaklaşımlar, yayımlanmış deney verileri yardımıyla kazanılabilir. The International Plastic Corporation keçe ve örgülü elyafların çeşitli polyester ve vinilester reçine formülasyonlarına bağlı olarak yorulma testlerini genişçe bir seri halinde gerçekleştirmiştir. Şekil 1.5'de gösterilen bu test sonuçlarının bir değerlendirmesidir ki özetle şunu ifade etmektedir:

"Özel polyester reçine tiplerinin döngüsel eğme testleri polimer tanımlarına bağlı olarak tahmin edilebilir verilere ulaşılmasına yardımcı olmuştur: Ortoftalik isoftalik tarafından aşılmıştır ve her ikisi vinil ester tip reçine tarafından hayli aşılmıştır, gibi. Standart vinil ester ile yine ön – hızlandırılmış tikotropik vinil ester arasında çok az bir fark gözlenmiştir."

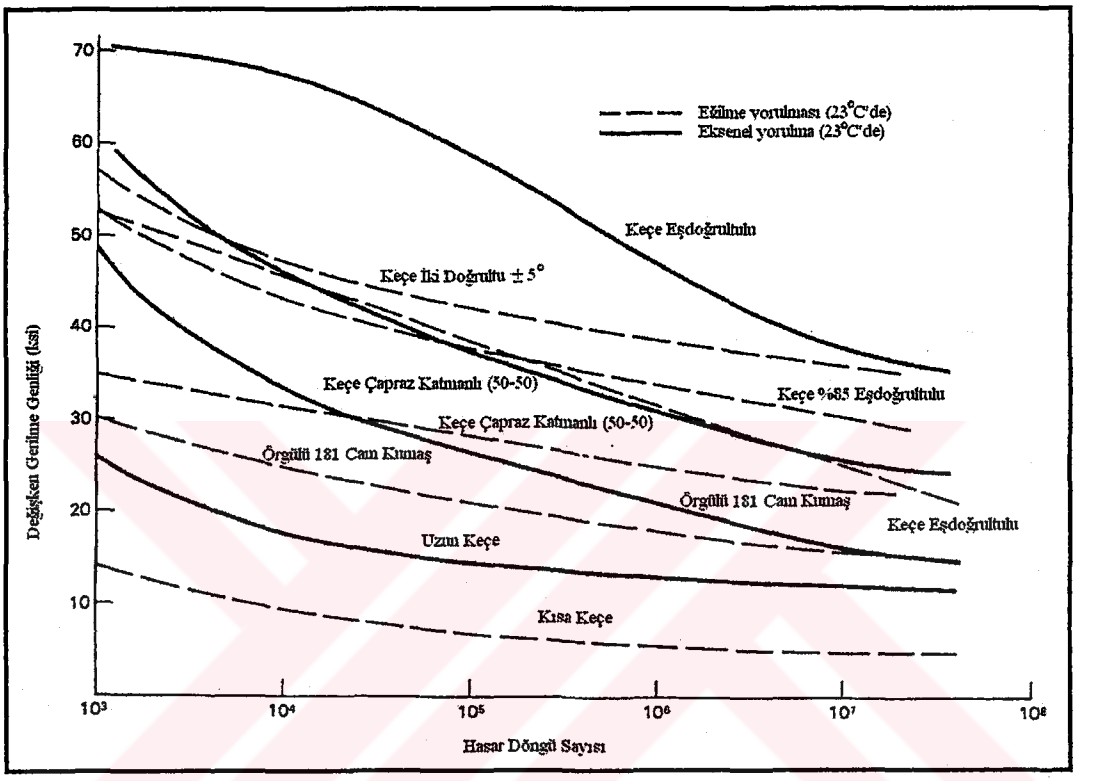


Şekil 1.5 Çeşitli tipteki polyester reçinelerin yorulma deneyi dataları (Burrel, 1986)

Denizel katmanlarda kullanılan kuvvetlendirici malzeme konusuna gelince, elde yorulma karakteristiklerini karşılaştırabilecek kadar yeterli veri bulunmadığı görülür. Şu iyice bilinmelidir ki, yorulma performansı elyaf / reçine ara yüzey performansına sıkı sıkıya bağlıdır. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan deneyler kuvvetlendirici malzemeleri iyiden kötüye doğru aşağıda verilen şekilde sıralanmasını sağlamaktadır:

- Yüksek modüllü karbon elyaf
- Yüksek mukavemetli ve düşük modüllü karbon
- Kevlar / Karbon hibrit
- Kevlar
- Cam / Kevlar hibrit
- S – Cam
- E – Cam

Kuvvetlendiricin imalatının ve doğrultusunun yorulma performansında çok önemli rol oynadığı bilinmektedir. Genel olarak fazla sayıdaki ince katmanların az sayıdaki kalın katmanlardan daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Şekil 1.6 çeşitli ürünlerin yorulma performansına göre karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 1.6 Çeşitli ürünlerin yorulma performansına göre karşılaştırılması (ASM, 1987)

Malzemenin başlangıçtaki seçimi aşamasında yorulma performansını optimize etmek için yardımcı olmaya dönük bazı rehberler bulunsa da, yorulma performansının kritik bir önem taşıdığı geniş ölçekli üretimlerde test programlarının geliştirilmesi ve uygulanması önerilmektedir. Helikopter parçaları veya rüzgar türbini rotorlarının parçaları için bu yaklaşım yaygın olarak uygulanmakla birlikte, ortalama bir denizel ürün üreticisinden çok uzak bulunmaktadır.

1.2 Plastik kompozitlerin çevresel yorulması

Bir malzeme, nem ve/veya sıcaklık gibi çevresel bir ajanın olduğu bir ortamda döngüsel olarak yüklendiğinde *"çevresel yorulma altındadır"* denilir. Genelde artan sıcaklık ve nem elyaf takviyeli polimer matris kompozitlerin yorulma ömrünü kısaltmaktadır (Liao ve diğer., 1998).

Kompozitler düşük yoğunluklarıyla, korozyona karşı dirençleriyle, hasar toleranslarıyla ve yorulmaya karşı dirençleriyle -ki bütün bunlar, uzun ve görece olarak bakım gerektirmeyen bir çalışma ömrünü işaret ederler- yüksek mekanik özellikler sunarlar. Bu üretim işleminin esnekliğiyle de birleşince kompozitleri denizel kullanımlar için en uygun malzeme haline getirir. Çevresel denge ve başlangıçtaki performansın sürdürülmesi doğru malzemenin seçimine ve iyi imalat uygulamalarına sıkı sıkıya bağlıdır. Yetersiz malzemeler ve yetersiz üretim koşulları nedeniyle kompozit malzemelerin denizel uygulamaları osmosis gibi zayıf bir yapısal sürdürülebilirlik hali ve hasarlarla anılır olmuştur. Yanmaya karşı dayanım ise özel bir dikkati isteyen önemli bir konudur kompozitler için. Bilindiği gibi kompozit malzemelerin bazı uygulamaları denizcilik kanunlarıyla tamamen yasaklanmasa bile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırmada kompozit malzemelerin tutuşabilirlikleri ve yanmaları sırasında ortaya çıkan duman emisyonları dikkate alınmıştır.

Bir diğer önemli unsur da tekne veya gemi yapılarında bu malzemeyle çalışan insanların güvenliği ve sağlığıdır. Bu malzemelerin kimyasal doğaları olduğu gerçeğiyle hem malzeme seçiminde, hem de yapılacak üretimin organizasyonunda özel bir dikkat, özen gerekir.

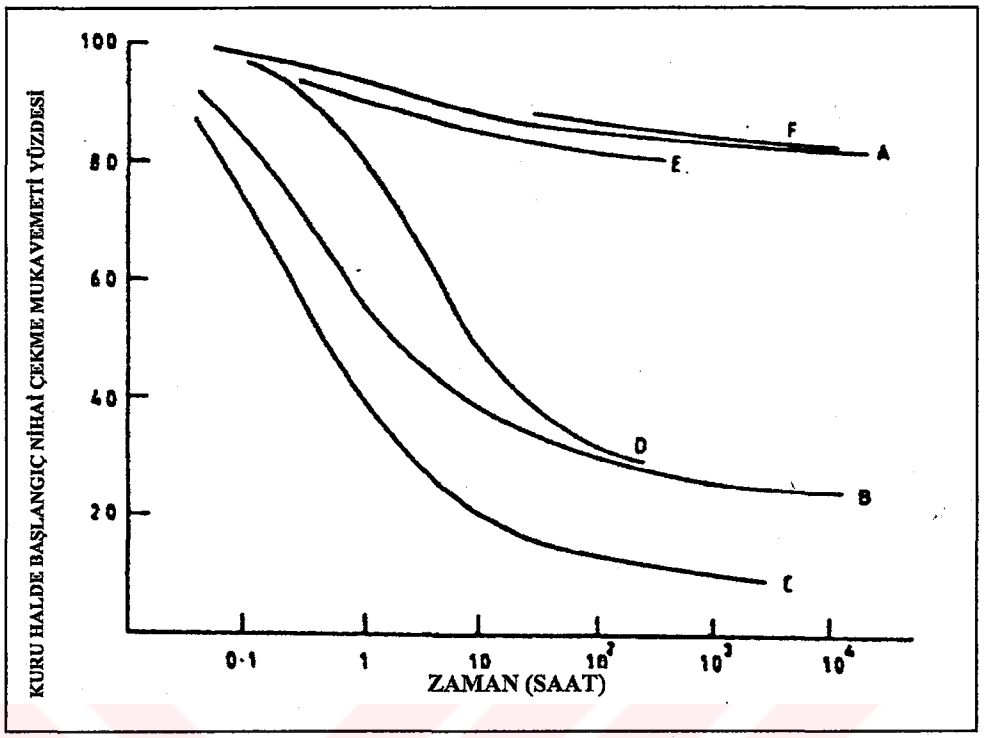
Uzun süren bir su içinde kalma halinde, rüzgara, yağmura ve güneşe maruz olma halinde kompozit malzemelerin performansı kullanımdaki diğer malzemelere nazaran genellikle daha iyidir. Bu özelliklerine rağmen, bu malzemeler eğer iyi anlaşılmaz ve korunmazlarsa orijinal niteliklerinden kayba uğrayarak beklenmedik yapısal hasarlar geliştirirler. Aşağıda sıralanacak olan unsurlar bir deniz yapısının tasarım prosesi sırasında dikkatle gözönüne alınmalıdır:

ETP'nin uğrayabileceği en ciddi zaafiyetlerden biri de suyun içinde batmış haldeyken sürekli bir çekme gerilmesi altında bulunmasıdır. Cam elyafının gerilme korozyonu kimyasal saldırılar sonucunda ortaya çıkar (hidrojen iyonlarının saldırısı gibi) ve bireysel cam elyafları üzerinde mikroskobik kırıklara yol açarak katmanlamanın kuru hallerinden %20 daha düşük çekme gerilmesi altında hızlı bir kırılmaya uğramasına neden olurlar. Buradaki kırık yüzeyi gevrek bir nitelik taşımaktadır (Puccini, 1993).

Genelde gemi ve tekne yapıları, dalga yükleri, dövünme, vb. yüksek gerilme yaratacak nedenler kısa süreli ve kesintili olduğu için bu olgudan büyük ölçüde etkilenmezler. Bu problem daha çok ölü yüklere (makine bölümündeki dip sacları ve tank perdeleri) maruz yerel yapılarda ortaya çıkar. Bu gibi durumlarda yapı, Şekil 1.7'de görüldüğü gibi deneysel eğriler temelinde çok düşük gerilme düzeylerinde yerel olarak tasarlanmaktadır. Buna alternatif olarak da kimyasal olarak dayanımlı elyaf (E-cam, CEM – FIL) seçilmelidir. Bisfenol polyester, vinil ester ve epoksi matrislerin polyesterden daha düşük su yayınımı oranı vardır. Bunlar yayınımın gecikmesini sağlarlar fakat problemi tamamen ortadan kaldırmazlar.

Aramid elyaf, E-cam ve Cemfil arasında ortalama bir davranış gösterse de karbon elyaf gerilme korozyonu etkilerine karşı bağışıklık taşımaktadır.

E-cam / fenolik reçine kompozitleri, kürlenme projesinde asit hızlandırıcı kullanımından ötürü gerilme korozyonuna uğramaya özel olarak müsaittir. Soğuk olarak kurulan fenolik keçe ve eş – doğrultulu E – cam kuvvetlendiricilerle E – cam / polyester katmanlamaları eşdeğer gibi görünmektedir. Bu deneylerin sonucunun hızlandırıcıdaki aktif ajandan etkilendiği kuvvetle muhtemel olarak görülmektedir. Gerçekte ortofosforik asitin reaksiyonda yer alması suyla eşdeğer bir zafiyet yaratmaktadır, sülfürik asitin kullanımında karşılaşılan hızlı bozunmanın tersi olarak.



Şekil 1.7 Çeşitli Cam Takviyeli Plastik kompozitlerin gerilme – kopma ilişkisinin korozyonla değişimi

(A: E-cam / ortoftalik polyester, çekme yükü, hava; B: E-cam / ortoftalik polyester, çekme yükü, su; C: E-cam / ortoftalik polyester, çekme yükü, sülfürik asit; D: E-cam / epoksi, çekme yükü, su; E: CEM – FIL / ortoftalik polyester, çekme yükü, sülfürik asit; F: E-CR cam isoftalik polyester, eğilme yükü, su)

Kompozit yapıların deniz ortamına maruz kalmasının yorulma davranışına da zarar verdiği söylenmektedir. Deniz suyundaki mukavemet düşüşü ile gerilme döngüsünün etkileri havacılık alanında araştırılmıştır. Ek bir emniyet faktörünün dikkate alınması gerekliliği bulunmuştur (Hoffman ve Hoffman, 2001). Emniyet faktörünün 1.5 olması genellikle kabul görmektedir.

Tipik denizel katmanlamaların uzun erimli davranışlarını anlayabilmek için hızlandırılmış testler yardımıyla birçok deney yapılmıştır.

Deniz yapılarında yararlanılan tipik katmanlamalara bakarak aşağıda özetlenen genel görüşler verilebilir:

- Güncel yayınlar, kuru koşullardaki uzun dönemli döngüsel yüklerle yüklenmiş yapıların tasarımında kısmi güvenlik faktörlerini 4 – 6 arasında

önermektedir. Havacılıkla ilgili alanda ıslak koşulardaki döngüsel yük problemlerinin araştırılmış olmasına karşılık denizcilik alanında genel bir bilgi eksikliği göze çarpmaktadır.

- Deniz suyuna maruz kalmış ve döngüsel yükler altındaki yapıların tasarımında yüksek emniyet faktörlerinden kaçınmak için deneysel araştırmalar gereklidir.
- Daha yüksek kaliteli katmanlama (yüksek hacim / düşük boşluk oranlı epoksi tabanlı katmanlamalar gibi), düzgün eğrilerin elde edilebildiği deneysel çalışmaları ve bunun neticesinde de uygun emniyet faktörünün bulunmasını daha kolaylaştırmaktadır.
- Daha düşük kaliteli katmanlamalar (daha düşük yoğunluk / yüksek boşluklu ve tekne yapımında kullanılan polyester katmanlamalar) mukavemetin daha erken yitimini, daha yüksek emniyet katsayısı kullanımını, daha genişletilmiş deney gerekliliğini zorlarlar.

Görece olarak düşük rölatif nemli ortamın ön – hazırlanmış Cam Elyaf Takviyeli Plastik kompozitlerin üzerinde belirgin bir etkisi yoktur (Vauthier ve diğer., 1998). Yükseltilmiş ısı altında (>75°) ise CTP kompozitlerin performanslarında kötüleşme söz konusudur (Vauthier ve diğer., 1998). Karbon Elyaf Takviyeli Plastik kompozitler ise hem yüksek sıcaklık, hem de yüksek nemlilikte CTP'den çok daha yüksek performans göstermişlerdir. Örneğin Jones ve diğ. (1984), üç hafta kaynar suda bekletilen karbon / epoksi kompozitlerin bekletilmeyenlere nazaran yorulma performanslarında herhangi bir azalma sözkonusu değildir. Fakat bu durum Cam Elyaf Takviyeli Plastikler için çok yüksek oranda performans düşüşü şeklinde yaşanmaktadır.

Elyaf takviyeli plastiklerin çevresel yorulmaları üzerine yapılan önceki araştırmalar önceden hazırlanmış durumlara odaklanmıştır. Doğrudan akışkan içine batmış haldeki ETP'lerin durumlarını inceleyen çalışmalar son derece sınırlı olup bunların sonuçları birbiriyle çelişir haldedir. Sumsion ve Williams (1975) eş – eksenli (0°) ve çapraz – katmanlı (±45°) grafit / epoksi numunelerin eğilme yorulması davranışlarını oda sıcaklığında ve hava ve su içinde gözlemlemişler ve ikinci

durumda yorulma ömründe bir düşüş tespit etmişlerdir. Komai, Minoshima, Shiroshita (1991) buna ters bir şekilde eş – doğrultulu Karbon Elyaf Takviyeli Plastiklerin deiyonize edilmiş suyun içinde test edilmiş halde yoruma ömrünün havada test edilenden gözle görülür bir şekilde uzun olduğunu göstermiştir. Bu davranışın sebebi de su emmenin polimer matrise verdiği sünneklik olduğu ileri sürülmektedir. Burada sözü edilen su emme, malzemenin performansını azaltacak iki önemli makroskobik etkiye yol açar ki bunlar mekanik niteliklerde genel bir düşme ve yapıda bir artışıdır. Bir Elyaf Takviyeli Plastik katmanına suyun girişi hem reçine üzerinden difüzyonla olur hem de kırıklar ve hava kabarcıkları üzerinden ve iyi oluşmamış elyaf – reçine ara yüzeyleri boyunca kılcal bir akışla gerçekleşir. Ayrıca suyun içinde, döngüsel yüke maruz kalmadan önce çeşitli koşullar altında hazırlanmış numunelerin suyun altındaki hali için ise yorulma ömründe son derece önemli bir düşüş görülmektedir. McBagonluri, Garcia, Hayers, Verghese, Lesko (2000) eş – doğrultulu E – cam/ vinil ester kompozitin çevresel yorulmasını akışkan hücresi içinde yüklemek suretiyle test etmişlerdir. Tuzlu suda, 65°'de, beş ay önceden hazırlanmış numunelerin tuzlu su içinde test edilmesiyle elde edilen değerler, bu numunelerin oldukları halde havada test edilmelerinden elde edilen yorulma performansı değerlerinden çok daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte, normalleştirilmiş Nihai Çekme Gerilmesi (NÇG)'lerine bakıldığında S – N eğrilerinin aynı eğimi verdiği görülmektedir ki her iki koşul için yorulma hasarı mekanizması aynı olup, burada elyafla ilgili unsurların baskın olması söz konusudur. Yakın zamanda, Liao, Schultheisz, Hunston (1999) eş – doğrultulu E – cam / vinil ester kompozitleri için suda ve NaCl çözeltisi içinde test etmişlerdir. Düşük gerilme altında, yüksek yorulma döngüsünde akışkan içindeki yorulma ömründe düşüş gözlenmiştir.

Eldeki verilerin büyük bir çoğunluğu yardımıyla belirtilebilir ki, ciddi malzeme zafiyetleri CTP'nin çevresel yorulması altında ve düşük gerilme düzeylerinde ortaya çıkmaktadır. CTP'nin dayanıklılığını (durabilite) iyileştirebilmek için hem karbonun hem de camın ortaklaşa kullanıldığı hibrit sistemler önerilmektedir (Hofer ve diğer., 1977 ve Manders ve Bader, 1981).

Döngüsel yüklemeye maruz tekneler için yorulma, tasarımcı tarafından göz önüne alınması gereken önemli bir limit durumu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu konu analitik ve deneysel olarak havacılık, denizcilik ve makine uygulamaları çerçevesinde neredeyse 40 yıldır araştırılmaktadır. Bu süreyi aşan bir zaman periyodunda, yorulma tasarımı verileri, çevresel koşulların etkisinin incelenmesi gibi eksenel ve eğilme şeklindeki yorulma yükleri altındaki kompozit malzemelerin geniş bir aralığı için üretilmiştir (Demers, 1998).

Yorulma yüklemesi çekme – çekme, çekme – basma, basma – basma gerilme hallerinin çeşitli frekanslarda modellenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Elyafın değişen kombinezonları, reçine sistemleri ve kuvvetlendirici dizilişleri kompozit malzeme sistemini oluşturmaktadır.

Çalışmada, yorulma tasarımı verilerinin çeşitliliğinin bir sonucu olarak E – cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerin denizel çevre koşulların etkisi altındaki çekme – çekme eksenel verileri üzerinde yoğunlaşılmıştır.

Bu çalışma tuzlu suyun etkisindeki E – cam / polyester sisteminin davranışlarını anlamaya yönelik veri temini amacını taşımaktadır.

BÖLÜM İKİ
MATERYAL VE METOT

2.1 Matris Malzeme

Bu çalışmada test parçaları yapılırken matris malzeme olarak polyester reçinesi kullanılmıştır. Polyestere, sertleştirici ve hızlandırıcı, üretici firmanın tavsiye edilen oranlarında ilave edildi. Dewilux DYO Boya Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından üretilip tekne yapımında yaygın olarak kullanılan Dewester 196 kodlu ortofitalik esaslı doymamış polyester reçinesi ile Dewester hızlandırıcı ve Dewester sertleştirici kullanıldı. Üreticinin internet sitesinden alınan ürün bilgileri ve özellikleri aşağıdaki tablolarda gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Polyester reçine matris malzemesinin nitelikleri (Dewilux, Web 1, 2004)

Asit değeri		25-31 [mg.KOH/g]
Karanlıktaki stabilitesi (20°C'de)		9 ay
Jelleşme zamanı (25°C'de)		12-15 dakika
Kürlenmiş DEWESTER 196	Barcol sertliği	75-80 (BS 2782)
	Su yüzdesi	%0.15 (BS 2782)
	0.18 [kgf/mm^2]'lik yük altında eğilme sıcaklığı	72°C
	20°C'de kopma uzaması	% 2.3 (BS 2782)
	Çekme mukavemeti	5.5 [kgf/mm^2] (BS 2782)
	Lineer çekme	% 2-2.4 (ASTM 2566-69)
	Dielektrik kayıp (1000 Hz'de)	0.006 (BS 2782)
	Dielektrik sabit (1000 Hz'de)	3.0 (BS 2782)

Dewester hızlandırıcı, 549-0050 kodlu genel amaçlı kobalt hızlandırıcıdır. Standart, kobalt esaslı metal tuzu çözeltisidir. Metal yüzdesi % 45 – 55 kadardır. (Web 2, 2004)

Tablo 2.2 Polyester reçine matris malzemesine katılan sertleştiricinin (genel amaçlı metil etil keton peroksit (MEKP) çözeltisi) nitelikleri. (Web 3, 2004)

Vizkozite (20°C'de)	24,6 mPa.s
Karanlıktaki stabilitesi (20°C'de)	6 ay
Aktif Oksijen	%9,8 – 10
Peroksit içeriği	%36
Dekompozisyon (Patlama)	60° C

2.2 Kıvrımsız Güçlendiriciler

Tablo 2.3 E-Cam'ın özellikleri (Mechanics of Composite Materials, Kaw, 1997)

Özgül Ağırlık	2,54
Elastitite Modülü	72,40 GPa
Çekme Mukavemeti	3447 MPa
Isıl Genleşme Katsayısı	5,04

Dikilmiş kumaşlar "dokunmamış ürünler" (non-woven fabrics) olarak adlandırılır. Elyaflar, takviye performansına katkıda bulunmayan çok ince polyester iplik ile dikilerek birleştirilir veya elyaf tabakalarının ikinci bir matris tarafından nispeten, kıvrımsız bir pozisyonda birarada tutulmasıyla elde edilen ürünler olarak da ifade edilebilir. Bu tür kumaşlar, eşit ağırlıktaki dokunmuş kumaşlarla karşılaştığında daha yüksek mekanik değerlere sahiptirler (Cam Elyaf Sanayii A.Ş., 2000).

Test parçalarının yapılmasında, kıvrımsız güçlendiriciler kullanılmıştır. E-glass tipte, değişik yönlerde liflerin dikilmesiyle çok katmandan meydana gelmiş bu güçlendiricilerin, tekne yapımında diğer elyaf türlerinden (örgü ve keçe) avantajlı yönleri ve uygun kullanım alanları araştırma sonuçlarıyla açıklanmıştır (Neşer ve diğer., 2004a).

Bu çalışmada da tekne üretiminde kullanılan kıvrımsız güçlendiricilerle polyester reçinesinden oluşturulan katmanlamanın korozif ortamda yorulması incelenmiştir. 5 mm ve 10 mm kalınlıklarda 0°, 45° ve 90° doğrultularında test parçaları hazırlanmıştır. Düz test parçalarına yapıştırma ve vida ile birleştirme test parçaları da eklenerek; tekne konstrüksiyonunun farklı yerlerinde durumlarda karşılaşılabilecek yorulma hasarı durumları araştırılmıştır. COTECH ve SP üreticilerinin ürünü olan kıvrımsız güçlendiricilerinin açılara göre ağırlık dağılımı bilgileri Tablo 2.4' te verilmiştir.

Tablo 2.4 Kıvrımsız güçlendiricilerin katmanlarındaki birim ağırlık dağılımları (Web 4, 2004, Web 5, 2004)

Ürün tipi (Kısaltması)*	Katmanlarındaki birim ağırlık [g/m^2]			
	-45°	0°	+45°	90°
EBX 446 (A)	223	-	223	-
EBX 936 (B)	468	-	468	-
ELT 850 (C)	-	425	-	425
EQX 1168 (D)	301	283	301	283
EQA 863 ** (E)	200	240	200	200
ELpb 425 *** (F)	-	425	-	40

Kıvrımsız güçlendiriciler üreticilerin web sitelerinde değişik kısaltmalarda gösterilmektedir. Bunların anlamları açılacak olursa,

E: E-Glass (malzeme özelliği),

B: İki yönlü,

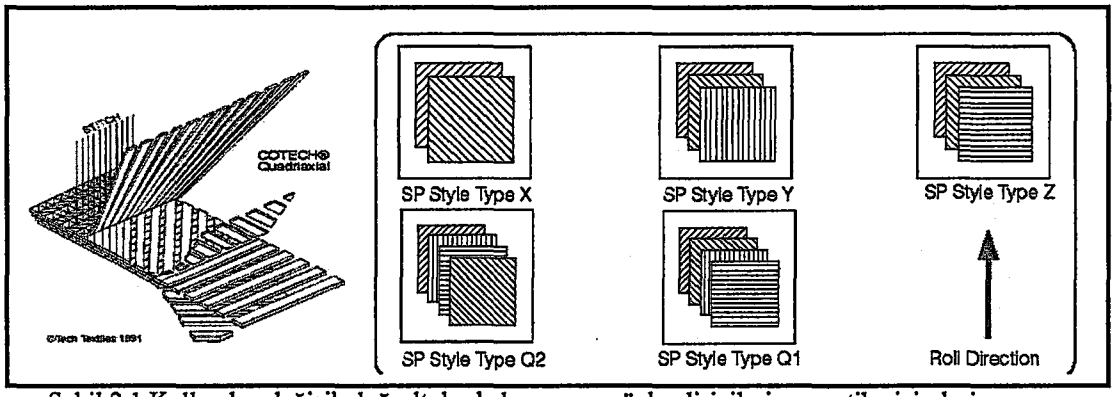
X: Eksenel (-45° ve +45°),

L: Boyuna doğrultuda (0°),

T: Dikey doğrultuda (90°),

Q: Dört doğrultulu (0°, -45°, 90°, +45°), kısaltmalarıyla ifade edilmektedir.

Kullanılan kıvrımsız güçlendiricilerden EQA 863 ürünü SP, diğerleri COTECH ürünüdür (Şekil 2.1). Çalışmada EQA 863'ün tercih edilmesi güçlendiricinin her doğrultudaki ağırlık dağılımının, mümkün olduğunca birbirine yakın olmasını sağlayarak izotropik özelliklere yaklaşmak içindir. Ayrıca katmanlamada orta düzleme göre simetri de gözetilmiştir.

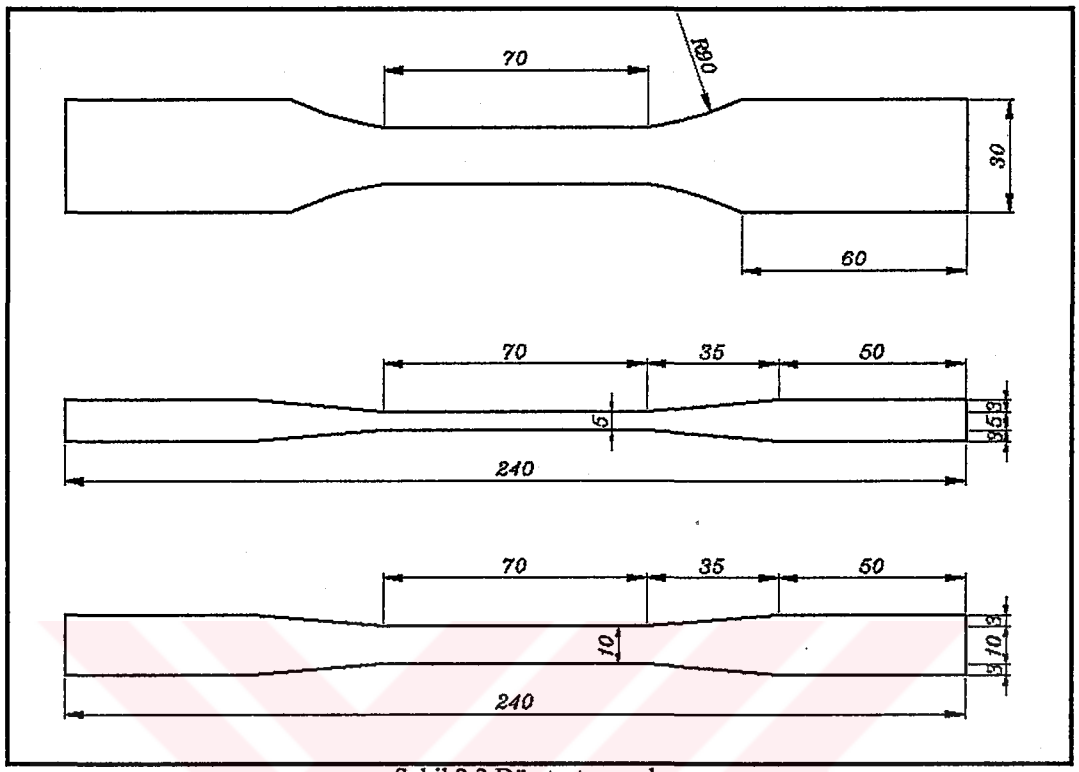


Şekil 2.1 Kullanılan değişik doğrultularda kıvrımsız güçlendiricilerin şematik çizimleri (Web 4, 2004, Web 5, 2004)

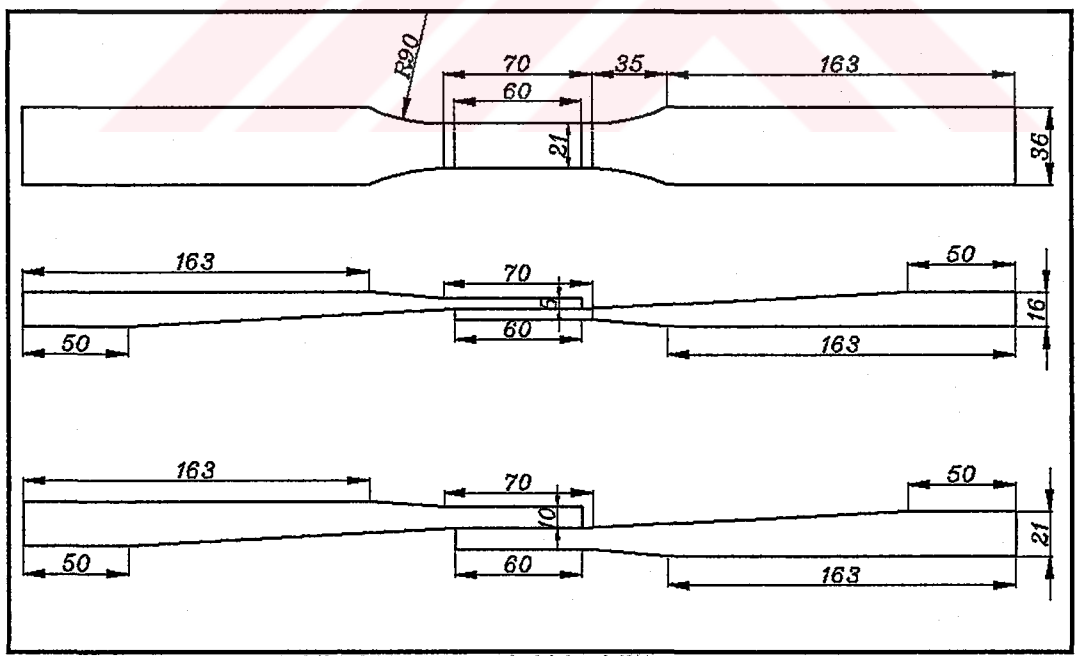
ELpb 425 ürünü katmanlamada kullanılmazken, yapıştırma numunelerini birleştirmede polyester reçinesiyle iki kat olarak uygulanmıştır. Ürünün ağırlık dağılımı incelendiğinde 0° doğrultusunda 425 [g/m^2], 90° doğrultusunda ise 40 [g/m^2] kıvrımsız güçlendiriciden oluştuğu görülmektedir. Ürün, üreticisi tarafından tekyönlü (unidirectional) olarak belirtilmekte; 0° doğrultusuyla kıyaslandığında az sayıdaki 90° doğrultulu güçlendiricilerin katmanlamanın mukavemetine etkisi ihmal edilmektedir. Numunelerin çekme yorulmasına çalışacağı dikkate alınarak, çizimlerde gösterilen yapıştırmalı numunelerin birleştirilmesinde 0° doğrultusundaki güçlendiricilerinin yorulma hasarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Tekne üretiminde çok sayıda üreticinin çok çeşitli özelliklerde yapıştırıcı malzemesi kullanılmaktadır. Yapıştırma işlemleri için klaslama kuruluşlarının kurallarında da belirtilen en sağlam birleştirme işlemi kullanılan güçlendiricilerle katmanlamayla olmaktadır. (Türk Loydu, Cilt C - Kısım 9 - Yatların Yapımı ve Klaslanmasına İlişkin Kurallar (2004), Bölüm 4 - Tekne Konstrüksiyonu - Elyaf Takviyeli Plastik Tekneler, Cilt C - Kısım 7 - Yüksek Hızlı Tekneler (1997), Bölüm 3 - Tekne Yapısı) Tekne üreticileri uygulamada da yapıştırıcı malzeme yerine güçlendiricilerin polyesterle katmanlanarak birleştirme işlemini tercih etmektedirler. Bu çalışmada da çok çeşitli niteliklerde üretilen yapıştırıcıların yerine, 0° doğrultusundaki güçlendiriciyle birleştirilen katmanlamanın korozif yorulma davranışı incelenmiştir. Ayrıca 0° doğrultusunda güçlendiriciyle yapıştırılan bir başka grup test parçası da; uygulamada vida ile bağlama gerektiren yerler (Örneğin; tekne gövdesinin üst yapıya birleştirilmesi) düşünülerek de vida ile birleştirilerek hazırlanmıştır (Şekil 2.2, 2.3 ve 2.4).

Şekil 2.2, 2.3 ve de 2.4'te görüldüğü üzere, korozif yorulma testleri sonucunda hasarın oluşacağı öngörülen yerler; numunelerin ortasında, kesit olarak en küçük alana sahip olanlardır. Numunlerin test cihazına bağlanacağı yerlerdeki kalınlığın oluşturulmasında, dikilmiş fazla elyaftan ekonomi sağlamak amacıyla bu ürünler değil kırpılmış keçe elyaflar kullanılmıştır. Bu elyafların mukavemete katkısı bulunmamaktadır, sadece yorulma hasarının öngörülen minumum kesitler dışında oluşturulması için test parçalarında kalınlık oluşturmaktadır.

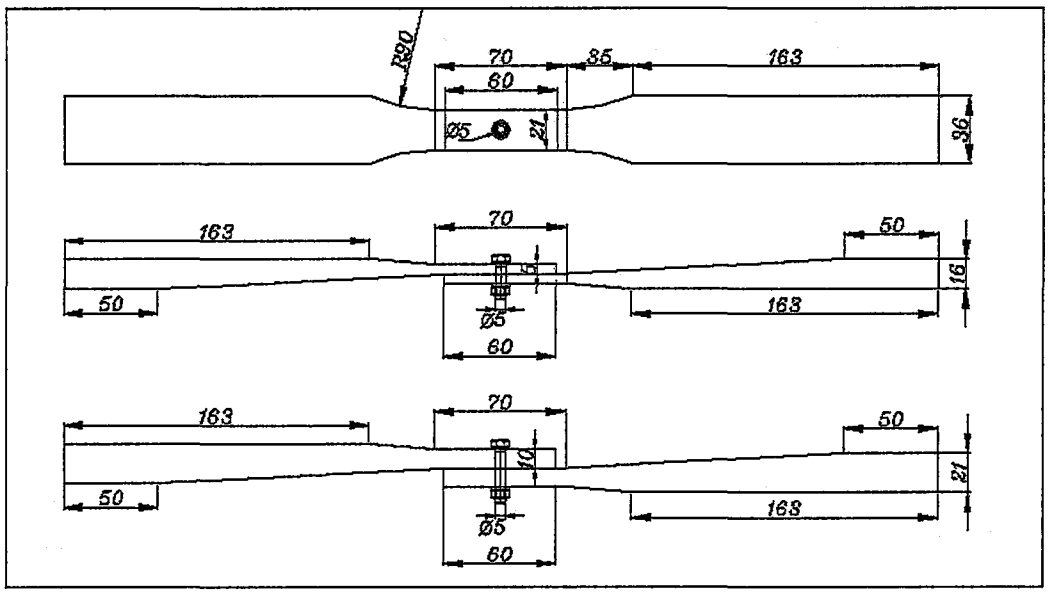
2.2 Test Parçalarının Şekilleri



Şekil 2.2 Düz test parçaları



Şekil 2.3 Yapıştırmayla birleştirilen test parçaları



Şekil 2.4 Vida ile birleştirmiş test parçaları

2.3 Test Parçalarının Katman Sıralamaları

Teorik kalınlıklara ulaşmak için yapılan hesapla CTP malzemede tekne üretimi için gerekli olan; elyaf / polyester ağırlık oranı ve elde edilecek kalınlıklar gösterilmiştir (Scott, 1996). Örneğin; EQX 1168 kodlu elyafın üretici firmanın kataloglarında verilen elyafların ve bu elyaflar için gerekli polyesterlerin ağırlık dağılımı Tablo 5'te gösterildiği gibidir. Ayrıca tabloya hesaplanan kalınlıklar ilave edilmiştir.

Tablo 2.5 EQX 1168'in katmanlarındaki birim ağırlık dağılımları ve hesaplanan kalınlıklar (WEB_4, 2004).

Ağırlık dağılımları	**-45° (gr/m^2)**	**0° (gr/m^2)**	**+45° (gr/m^2)**	**90° (gr/m^2)**
Elyaf miktarları	301	283	301	283
Polyester miktarları	285	268	285	268
Hesaplanan Kalınlıklar	**-45° (mm)**	**0° (mm)**	**+45° (mm)**	**90° (mm)**
Elyaf kalınlıkları	0,118	0,209	0,118	0,209
Polyester kalınlıkları	0,223	0,112	0,223	0,112
Toplam kalınlıklar	0,341	0,321	0,341	0,321

Bu bilgilerden sözedilen ürünün -45°, 0°, -45° ve 90° doğrultularında dikilmiş dört kat elyaftan oluşan çok yönlü (multidirectional) elyaf olduğu görülmektedir. Her yöndeki elyafın ağırlıkları kullanılarak; sırasıyla gerektirdikleri polyester ağırlıkları ve bu durumdaki kalınlıkları elde edilmelidir.

758 kg cam elyafının 719 kg polyester gerektirdiği kabulüyle (Neşer ve diğer., 2004b). EQX 1168 kodlu kıvrımsız güçlendirici için, açılara göre kullanılması gereken polyester miktarları ve bunlara karşılık kürlenme işleminden sonraki teorik kalınlık bulunabilir. Bu durumda EQA 1168 kodlu elyafın açılara göre ağırlık dağılımından teorik kalınlık dağılımını elde etmiş oluruz. Bu bağlamda 5 mm ve 10 mm kalınlık elde etmek için; oluşturulan sekanslardaki kullanılan elyafların açılara göre ağırlık dağılımı ve hesaplanan teorik kalınlıkları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 2.6 5mm'lik katmanlamadaki açılara göre ağırlık ve buna karşılık gelen kalınlık dağılımı

	-45° (gr/m^2) / (mm)		0° (gr/m^2) / (mm)		+45° (gr/m^2) / (mm)		90° (gr/m^2) / (mm)		TOPLAM (mm)
ELT 850			425	0,482			425	0,482	0,964
EBX 936	468	0,531			468	0,531			1,062
EQA 863	200	0,225	240	0,272	200	0,225	200	0,225	0,947
EBX 936	468	0,531			468	0,531			1,062
ELT 850			425	0,482			425	0,482	0,964
TOPLAM (gr/m^2)	1136		1090		1136		1050		4412 / 4,999

Tablo 2.7 10mm'lik katmanlamadaki açılara göre ağırlık ve buna karşılık gelen kalınlık dağılımı

	-45° (gr/m^2) / (mm)		0° (gr/m^2) / (mm)		+45° (gr/m^2) / (mm)		90° (gr/m^2) / (mm)		TOPLAM (mm)
EQX 1168	301	0,341	283	0,321	301	0,341	283	0,321	1,324
EQX 1168	301	0,341	283	0,321	301	0,341	283	0,321	1,324
EBX 446	223	0,253			223	0,253			0,506
EQA 863	200	0,225	240	0,272	200	0,225	200	0,225	0,947
EQA 863	200	0,225	240	0,272	200	0,225	200	0,225	0,947
EQA 863	200	0,225	240	0,272	200	0,225	200	0,225	0,947
EQA 863	200	0,225	240	0,272	200	0,225	200	0,225	0,947
EBX 446	223	0,253			223	0,253			0,506
EQX 1168	301	0,341	283	0,321	301	0,341	283	0,321	1,324
EQX 1168	301	0,341	283	0,321	301	0,341	283	0,321	1,324
TOPLAM (gr/m^2)	1225		1046		1225		966		4462 / 10,096

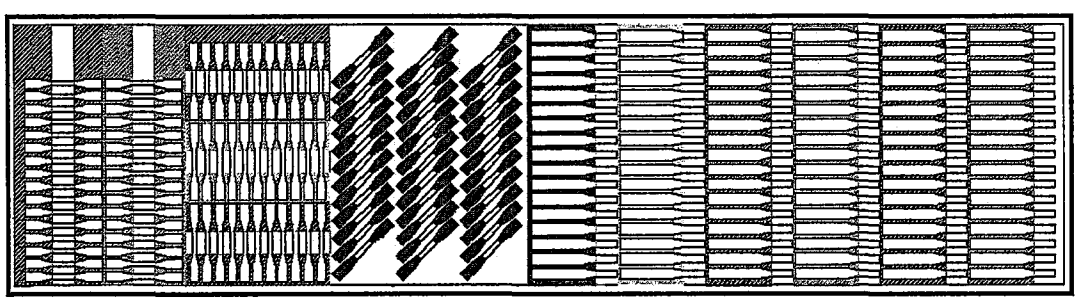
Tablo 2.8 Plak katmanlamaları ve elde edilen kalınlıklar

Plak No.	SEKANS	Teorik kalınlık [mm]	Elde edilen kalınlık [mm]
1	$[C / B / E]_s$	4,999	5,000
2	$[D_2 / A / E_2]_s$	10,096	11,000

2.4 Test Parçalarının Oluşturulması

2.4.1 El Yatırma Tekniği İle Plakların Oluşturulması

4 Mart 2004 tarihinde Tacar Ltd. Şirketine ait tekne atölyesinde, 5 mm ve 10 mm'lik iki kalınlıkta test parçalarının oluşturulması için el yatırma tekniğiyle plaklar yapılmaya başlanmıştır. Bunun için öncelikle oluşturulacak plak üzerinde test parçalarının yerleşim planı bilgisayarda 1:1 ölçekli çizilmiştir. Bu çizimle, deneylerde 0°, 45° ve 90°'lerde test edilecek test parçalarının, en az sayıda malzeme fire edilerek istenilen sayıda ve açılarda elde edilmesi amaçlandığı görülmektedir (Şekil 2.5). Çizimlerdeki taralı yerler test parçalarının konik olan görünen kısımları ifade etmektedir. Plaklarda öncelikle istenilen temel iki kalınlığa çok yönlü kıvrımsız elyaflarla ulaşılması düşünülmüştür. Daha sonra taralı kısımlara yerleştirilen şeritler halinde keçe elyaflarla, test cihazında sıkıştırılacak ve test parçasının yorulmayla hasarı aranmayacak kısımları yine el-yatırma tekniğiyle oluşturulmuştur.

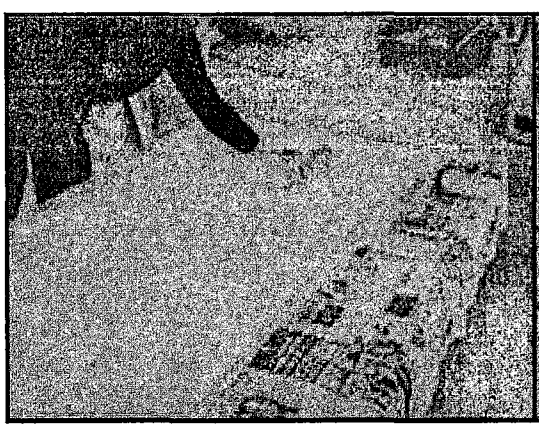


Şekil 2.5 Test parçalarının plaklar üzerindeki yerleşim çizimi

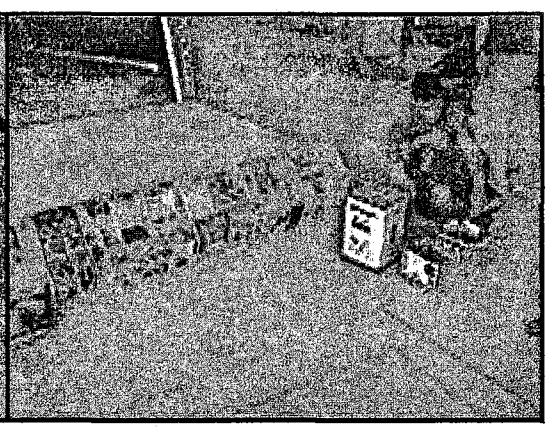
El yatırma yönteminde kürlenme işleminden sonra kalıptan tekneyi kolayca çıkarmak önce kalıba cila sürülmesi gerekmektedir. Daha sonra kalıbın içine elyaflar belirli boyutlarda kesilip yerleştirilmektedir. Sertleştirici ve hızlandırıcı ilave edilmiş

sıvı haldeki polyester, rulo ile elyafa sürülerek emdirilmektedir. Bu aşamadan sonra ikinci kat elyaf yerleştirilmeye geçmeden elyafın polyesteri daha fazla emmesi ve elyafın içindeki hava kabarcıkları kalmasını önlemek için metal rulo ile üzerine basınç uygulanmaktadır. Bu işlem bitince üçüncü kat elyaf yerleştirilmekte ve işlemler sekans planlamasına göre tekrar edilerek istenilen kalınlığa ulaşılıncaya kadar devam edilmektedir. Elyafa polyester tatbik edilmesi sırasında bir egzotermik reaksiyon oluşmaktadır, bu kürlenme reaksiyonu sonunda polyester kürlenmekte ve güçlendirici malzemeyle (cam elyafı) matris malzeme (polyester) birleşerek daha güçlü yapısal özelliklere sahip kompozit malzemeye (Askeland, 1998 ve Smith, 2001) dönüşmektedir.

Atölyede el yatırma tekniğiyle test parçalarının elde edileceği plakları yapmak için önce düz bir zemin hazırlanmıştır. Zeminin üzerine cila sürülerek yüzey pürüzsüzleştirilmiştir (Şekil 2.6). Daha sonra elyaflar önceden belirlenen boyutlarda kesilmiştir. Elyaf dokumalar 1.2 m en ve 50 m boy olmak üzere rulolar halinde koliler içinde muhafaza edilmektedir. Bulundukları ortam koşulları nemden ve ışıktan uzak ve oda sıcaklığındadır. Ayrıca yerden en az 30 cm yükseklikte olmak koşuluyla üstüste üç koliden fazlası stoklanmamaktadır . Bu sırada 5 birim hızlandırıcı 2 birim sertleştirici ve 100 birim polyester ile matris malzemesi hazırlanmıştır. (Web 1, 2004). Hazırlama çalışmaları aşağıda görülmektedir (Şekil 2.7)

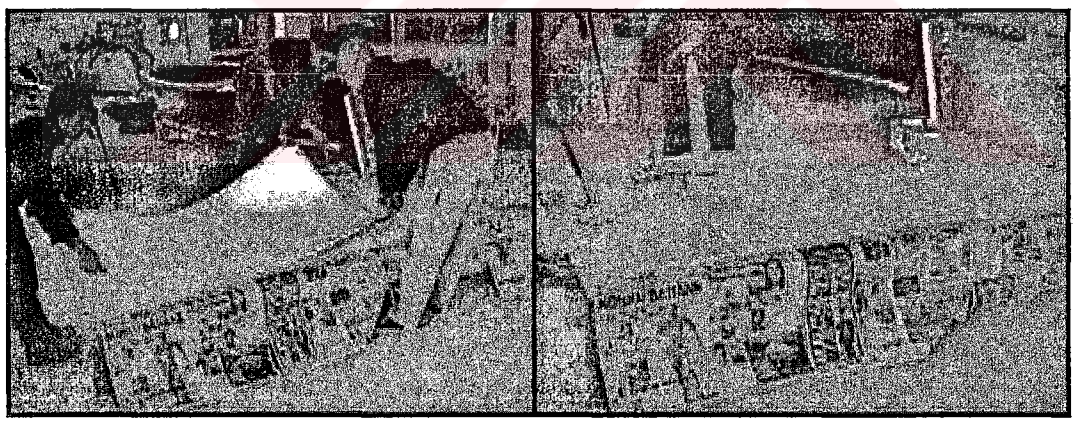


Şekil 2.6 Zeminin hazırlanması



Şekil 2.7 Matrisin hazırlanması

Daha sonra el yatırma tekniği ile üretime geçilmiştir. Buna göre hedeflenen iki kalınlık ve üç tipteki (düz, yapıştırma ve vida ile birleştirilmiş) toplam dört adet plaktan önce 5 mm'lik düz test parçaları için olanına başlanmıştır. Katmanlamayı önceden oluşturulan sekanslar uyarınca ilk katman olarak ELT 850 kodlu güçlendirici konulmuştur ve üzerine rulo ile polyester reçinesi sürülerek emdirilmiştir. Bu işlemi bir kişi yaparken, ardından başka bir kişi cam elyafın içinde hava boşluğu kalmaması için metal rulo ile basınç uygulamıştır (Şekil 2.8 a ve b) Bu şekilde ilk katman tamamlandıktan sonra ikinci katmana geçilmiştir. Bu katmanda da EBX 936 kodlu elyaf konularak aynı işlemler tekrarlanmıştır. Böylelikle beş kat elyaf katmanlandıktan sonra test cihazlarının çene kısımlarıyla test parçasının tutulacak kısımları için katmanlamalara geçilmiştir. Bu kısımlar için de şekillerde gösterilen büyüklüklerde, Cam Elyaf Sanayii Ticaret A.Ş.'nin 450 g/m^2 ve 600 g/m^2'lik ürünleri olan kırpılmış cam elyafları kullanılmıştır. Daha sonra ilk yüzeyinin katmanlaması tamamlanan plak zeminden ayrılmıştır. Sonra 5 mm'lik yapıştırma numunelerinin katmanlamasının ilk yüzeyi yapılmıştır. Aynı işlemler 10 mm'lik iki adet plak için de tekrarlanmıştır.

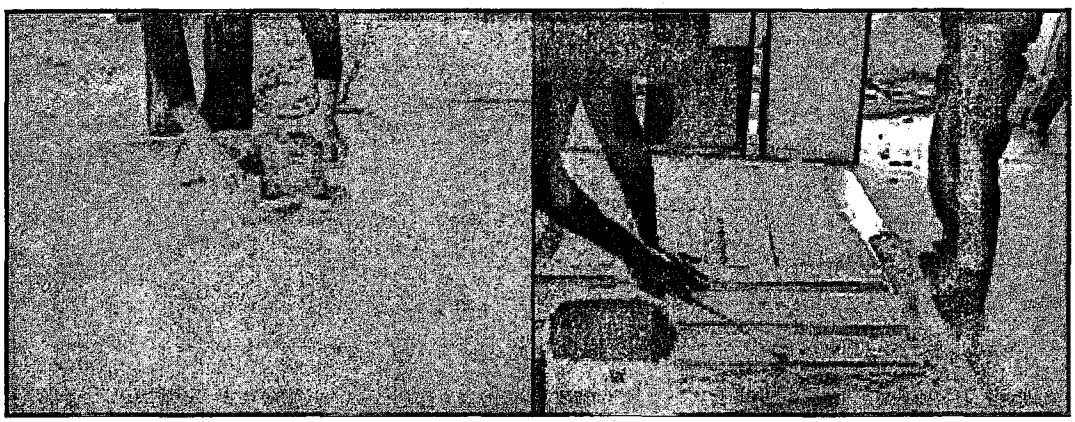


(a) (b)

Şekil 2.8 Katmanların oluşturulması (a), Polyesterin rulolar ile tatbiki (b)

Daha sonra plakların cilalı tarafına denk gelen arka yüzeylerine geçilmiştir. Bu kısımlara sonradan yapılacak çene yüzeylerinin katmanla işlemiyle yapışmasının başarılı şekilde olması için zımpara makinesiyle hafif bir pürüzlendirme yapılmıştır. Ardından şekillerde gösterilen biçim ve büyüklüklerdeki keçe cam elyaflar kesilerek hazırlanmış ve yüzeylere önceki işlemlerdeki gibi el yatırma tekniğiyle uygulanarak

katmanlama tamamlanmıştır (Şekil 2.9 a ve b). Bütün işlemler usta personelin sayısına, çalışma saatlerine, plakların kürlenme sürelerine bağlı olmak üzere toplam 4-5 günde tamamlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 2.9 Arka yüzeylerin zımparalanması (a), Arka yüzeylerin katmanlanması (b)

2.4.2 Plakların Parçalara Ayrılması

Plaklar CNC Frezede kesme işlemine girmeden önce uygun boyutlarda kesilerek küçük plaklara ayrılmıştır (Şekil 2.10 a ve b). Dört adet plakdan düz numune grubundakiler önce 0°, 45° ve 90° olarak üç parçaya ayrılmıştır. Daha sonra bu gruplar da kendi aralarında üçer parçaya daha ayrılarak toplam 18 plak elde edilmiştir. Birleştirme grubundakiler de yedişer plağa ayrılarak 14 adet plak elde edilmiştir. Sonuçta toplam 32 adet plak elde edilmiştir.

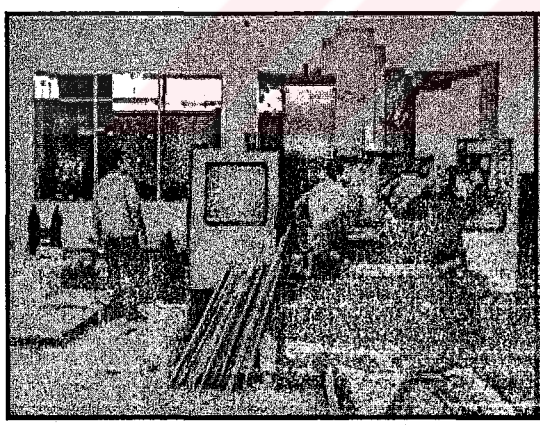


(a) (b)

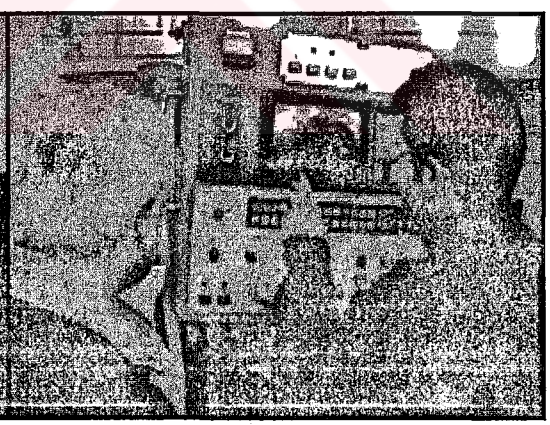
Şekil 2.10 Plakların kesimi (a), (b)

2.4.3 CNC Freze Tezgahının Hazırlanması

Kesim işlemine geçilmeden önce tezgah temizlenmiştir. Kalifiye personel kesilecek plaklar için tezgahın içine lamine tahtaları birleştirip zemin hazırlamıştır (Şekil 2.11). Daha sonra kesim işleminde kullanılacak kesici takım ve bu takımın kesme hızlarıyla ilerleme hızlarını belirleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada plaklardan kesilecek geometrinin üstten görünüşleri (plan) tezgahın kullanma klavuzuna göre programlar yazılmıştır. 5 mm'lik plaklar için düz ve yapıştırma olmak üzere iki tip, 10 mm'lik plaklar içinse düz ve yapıştırma olmak üzere iki tip için olmak üzere dört ayrı program yazılmıştır. Sonra geometri elle tezgaha girilmiştir (Şekil 2.12). Kesici takımının, ilerleme ve devir hızları deneysel olarak ve tecrübelerin yardımıyla belirlenmiştir. Kesici sıvı kullanılmaması yüksek hızlarda kesici takımın ısınıp kırılmasına ya da plaknın ısınarak özelliğini kaybetmesine neden olabilmiştir. Denemelerde çok sayıda türde kesici takım kullanılmış ve bu takımların körelmesiyle plastik malzemeleri yüksek kesme kabiliyetine sahip Sandvik Coromant marka 10 mm çaplı, dört ağızlı elmas freze kesme çakısı kullanılmıştır. Üreticinin önerdiği kesme ve ilerleme hızları kullanılmıştır.



Şekil 2.11 CNC tezgahının hazırlanması



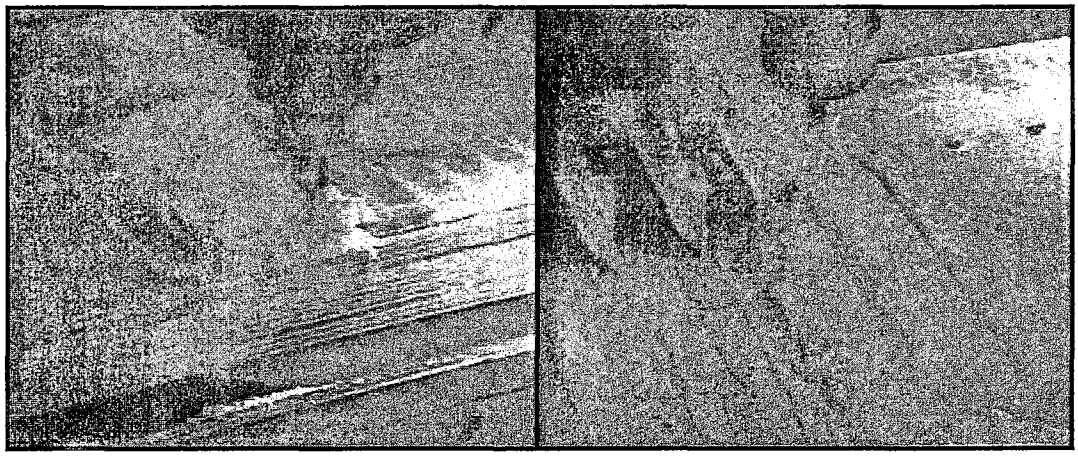
Şekil 2.12 CNC tezgahına kesme programı girilmesi

Tezgahın hazırlanmasındaki bir diğer önemli aşamaya geçilmiştir. Plakların kesilerek test parçalarının profil geometrilerinin CNC Freze tezgahında işlenmesine geçilmesinden önce numunelerin tek tek tezgaha bağlanarak işlenmesi için bir sabitleme aparatı yapılmıştır. Bu aparata test parçaları ayrı ayrı bağlanarak önce bir yüzlerinin sonra da diğer yüzlerinin işlenmesi gerekmiştir. Bunun için de 5 mm'lik

ve 10 mm'lik düz numunelerin iki yüzeyi de aynı geometride olduklarından birer program, yapıştırma numunelerinin iki yüzeyi de farklı geometride olduklarından ikişer program, sonuçta toplam olarak altı farklı program yazılarak CNC Freze tezgahına elle girilmiştir.

2.4.4 CNC Freze Tezgahında Kesim İşlemi

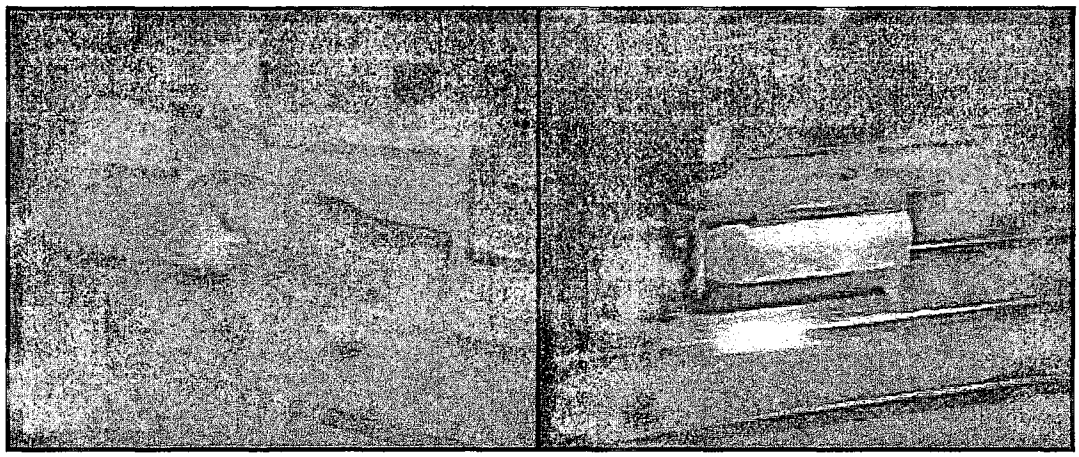
Test parçalarının CNC Freze tezgahında kesim işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kesilerek CNC Freze tezgahında işlenebilecek boyutlara getirilen plaklar üzerinden kesim işlemi başlamıştır. Bu aşamada test parçalarının plan resimlerinde görülen geometriyi elde etmek hedeflenmiştir. Zemin olarak CNC Freze tezgahında hazırlanan ahşap yüzeye, plaklar 1:1'lik plak çizimleri üzerlerine konularak ve her numunenin arasına iki çelik vida gelecek şekilde sabitlenmiştir. Bu işlemden önce vida ile sabitlenecek yerler matkapla delinmiştir. Vida ile birleştirmede, kesim işlemleri sırasında plağın esneyerek zarar görmemesi hedeflenmiştir. Burada iki numune arasında çizimlerde az boşluk olması nedeniyle numunelerin arasından geçecek kesici takımın boyutları ve vida boyutları zaman zaman sıkıntılar yaşanmasına neden olmuştur. Toleransın çok az olması vida ile sabitleme işlemi yapan ustanın düşük toleranslarda çalışması mecburiyetini doğurmuştur. Zaman zaman kesici takım vidalar dokunarak aşınmış ve kırılmıştır. Bu sırada çalışmalarda uzun duraklamalar olmuştur. Yeni kesme çakılarının temini, tezgaha takılması ve programın baştan çalışması işlemlerin süresini uzatan etmenler olmuştur. Plaklardan kesme işlemiyle istenilen sayıda test parçası elde edilmiştir. Kesme işleminde kesme sıvısı kullanılmamıştır. Çıkan talaşlar her plağın kesim işlemi bitince elektrikli süpürgeyle alınmıştır. Sırasıyla kesilmiş test parçaları çıkarılıp her grup ayrı kutulara konulmuş, plak üzerindeki vidalar sökülmüş, plağın fire kısımları tezgahtan sökülmüş ve tezgahın temizliği yapılmıştır. Her bir test parçasının kesilme işlemi yaklaşık 20 dk sürmüştür (Şekil 2.13 a ve b). Toplam olarak bu işlemler yaklaşık üç hafta sürmüştür. Bu aşamalardan sonra test parçalarının profil görüntülerinin kesilerek elde edilmesi işlemine geçilmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.13 Düz test parçalarının plaklardan kesimi (a), yapıştırma test parçalarının plaklardan kesimi (b)

İkinci aşamada plaklara zemin olarak hazırlanan ahşap zemin CNC Freze tezgahından sökülmüştür. Test parçalarının yan olarak işlenmesi için hazırlanan aparat tezgaha sabitlenmiştir. Profilden kesme işlemi yapmak için önceden yazılarak tezgaha elle girilmiş olan programlardan yan işleme için olan dört farklı programdan 5 mm'lik test parçalarının ilk yüzeyi için olanı seçilip işleme başlanmıştır. İşlenecek test parçasını aparata iki kişi bağlamıştır. Biri sıkıca bastırarak tutarken diğeri lokma ile test parçasını sıkarak aparata sabitlemiştir. Daha sonra tezgahın kapısı kapatılıp kesme işlemi yapılmıştır. Talaşlar temizlenerek test parçası aparattan sökülmüş ve diğer test parçasına geçilmiştir. Bu şekilde bu grubun bir yüzlerinin işlenmesi bitirilmiştir. Sonra aynı parçaların diğer yüzeyleri işlenmiştir. Bunun için tezgaha arka yüzeyleri işlemek için gerekli programlar seçilmiştir. Bu şekilde tezgahta program değişikliği yapılmayarak daha hızlı bir biçimde test parçalarının hazırlanması amaçlanmıştır. Bu bölümde iki yüzeyinin işlenmesi için bir numuneye yaklaşık 25 dk zaman ayrılmıştır. İşlemler diğer grup numunelere de aynı biçimde uygulanmıştır (Şekil 2.14 ve b). İşlenen parçaların dijital göstergeli kumpasla kalite kontrolü yapılarak herhangi bir ilave işleme gerek duyulan parça tekrar işlem görmüştür. Bu işlemler yaklaşık üç hafta sürmüştür.



(a) (b)

Şekil 2.14 Düz test parçalarının profilden kesimi (a), yapıştırma test parçalarının profilden kesimi (b)

2.4.5 Yapıştırma Grubundaki Test Parçalarının Birleştirilmesi

Bu gruptaki test parçalarının profil çizimleri incelendiğinde bir asimetri görünmektedir. Alt ve üst parçalar özdeş olmasına karşın birbirine temas edecek şekilde birleştirilmektedir. Yani çekme yorulma testine tabi tutulacak birleştirilmiş test parçasının en alt ve en üst noktaları sağ ve sol tarafta aynı kademe oldukları görülmektedir. Bu açılı kısımlarla düşünülen, yorulma hasarının merkezdeki minimum kesitlerde meydana gelmesidir. Bu kısımlarda çizimlerde görüldüğü gibi test parçalarının 60 mm uzunluğundaki yüzeyleri birbiri üzerine gelecek biçimde yapıştırılmıştır.

Yapıştırma işlemi için önce yüzeyler hafifçe zımparalanarak temizlenmiştir. Bu işlemle aynı zamanda yüzeylerin biraz pürüzlenip yapışma işleminin daha iyi sonuç vermesi hedeflenmiştir. Yapışma işleminin başarılı gerçekleşmesi için test parçalarının bir müddet mengeneyle sıkılı durumda beklemesi gerekmektedir. Bunun için atölyede belli bir yükseklikte iki noktadan mesnetli aynı anda 10 adet test parçasını birleştirecek uzunlukta (atölyede aynı anda en fazla on adet mengene kullanılabilinmektedir) bir tirizin üzerine 5 cm uzunluğunda çiviler çakılmıştır. Ve bunun üzerine önce yapıştırılacak alt yüzeydeki test parçaları yerleştirilmiştir. Yapışacak yüzey boyutlarında dikdörtgen 0° açısında yönlendirilmiş ELpb425 kodlu

kıvrımsız güçlendirici kesilmiştir. Matris malzeme olarak katmanlamada kullanılan polyester reçine kullanılmıştır. Küçük fırça ile iki kat kıvrımsız güçlendirici ıslatılarak yapıştırılacak alt yüzeye tatbik edilmiş ve hemen üst test parçası üzerine kapatılıp, test parçası mengene ile sıkılmıştır. Bu şekilde 10 adet test parçası sıkılmış 2,5 saat beklenmiştir. Bu sürede kürlenme işleminin tamamlanıp yapışma işleminin etkili olması hedeflenmiştir.(Şekil 2.15 a) Süre sonunda test parçaları mengeneden çıkarılıp kenarlarındaki taşan polyesterleri ve kıvrımsız güçlendiricileri temizlenmiştir. Daha sonra diğer 10 adetlik gruba geçilerek bu aşama iki günde tamamlanmıştır (Şekil 2.15 b).



(a) (b)

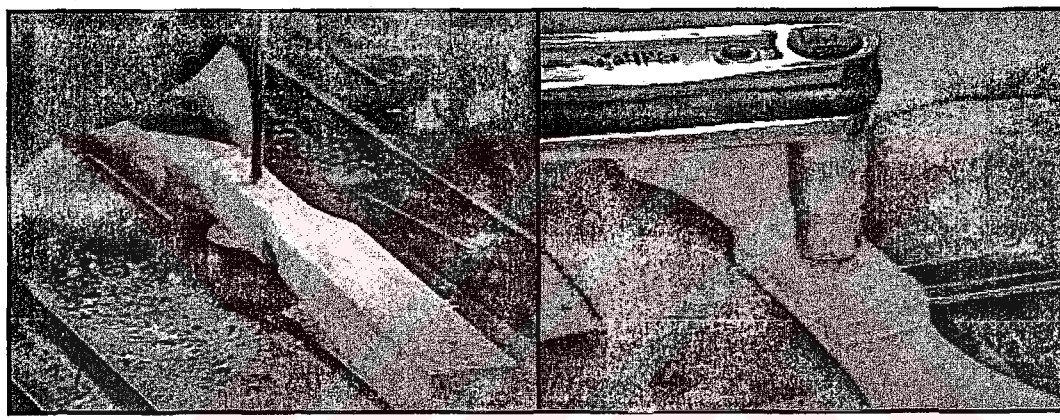
Şekil 2.15 Yapıştırma test parçalarının yapıştırılması (a), yapıştırma test parçalarının zımparayla temizlenmesi (b)

2.4.6 Vida İle Birleştirme Grubundaki Test Parçalarının Delinmesi ve Birleştirilmesi

96 adet yapıştırılmış numunelerin 48 adeti vida ile birleştirme numunesidir. Bu 48 adet numunenin de 24 tanesi 5 mm kalınlığında, 24 tanesi de 10 mm kalınlığındadır. 48 adet vidayla birleştirme numunesi için 4.8 mm'ik radyal matkapta delik açmak gerekmiştir. Vida M5 somun ile birleştirilecektir. Bu işlemlerde de CNC frezedeki kesim işlemleri gibi kesme sıvısı kullanılmadığından devir hızı fazla tutulduğunda numunelerin ısınacağı öngörülerek devir hızı düşük tutulmuştur. Her bir numunenin çizimlerde görüldüğü gibi yorulma hasarının meydana gelmesi öngörülen minimum

kesit taraflarından 30 mm uzaklıkta simetri merkezinde 4,8 mm çaplı delikler açılmıştır (Şekil 2.16 a).

Delme işlemi bittikten sonra M5 ile birleştirme işlemlerine geçilmiştir. Burada teknelerde kullanılan deniz ortamlarından etkilenmeyen M5 krom civata kullanılmıştır. 5 mm'lik birleştirme test parçaları için vida uzunluğu 15 mm, 10 mm'lik birleştirme test parçaları içinse vida uzunluğu 30 mm seçilmiştir. Birleştirme işlemi için torkmetre kullanılmıştır. M5 krom malzeme kullanılarak sıkılan civata başı dayanımı için hesaplama sonucu 70 Nm'lik tork bulunarak tüm test parçaları aynı tork ile sıkılmıştır (Şekil 2.16 b).



(a) (b)

Şekil 2.16 Yapıştırma test parçalarının delinmesi (a), yapıştırma test parçalarının torkmetre kullanılarak vida ile birleştirilmesi (b)

2.4.7 Test Parçalarının Boyanması

Test parçaları tuzlu su ortamında deneneceği için katmanlamanın yan taraflarından tuzlu su girip testleri etkilemesin diye epoksi boya ile boyanmıştır. Boyamada yalnızca yorulma hasarının inceleneceği orta kısımların ön ve arka yüzeyleri boyanmamıştır.

2.4.8 Test Parçalarının Sınıflandırılması

Düz 16'lı gruplardaki test parçaları, yapıştırılmış ve vida ile birleştirilmiş 12'li gruplardaki test parçaları Tablo2.9'da sınıflandırılmıştır. Test her birinin üzerine kalemle kodu yazılmıştır. Değişik tipte test parçaları Şekil 2.17 a ve b'de gösterilmiştir.

Tablo 2.9 Test parçalarının sınıflandırılması

Numune Adı	Numune No	Adet
F05A00	01-16	16
F05A45	01-16	16
F05A90	01-16	16
F05S00	01-16	16
F05S45	01-16	16
F05S90	01-16	16
F10A00	01-16	16
F10A45	01-16	16
F10A90	01-16	16
F10S00	01-16	16
F10S45	01-16	16
F10S90	01-16	16
A05A00	01-12	12
A05S00	01-12	12
A10A00	01-12	12
A10S00	01-12	12
B05A00	01-12	12
B05S00	01-12	12
B10A00	01-12	12
B10S00	01-12	12
TOPLAM		288

Tip	Kalınlık	Durum	Doğrultu	Numune No
F (Flat-Düz)	05 (5 mm)	A (Air-hava)	00 (0°)	01
A (Adhesive-Yapıştırma)	10 (10 mm)	S (Sea water-deniz suyu)	45 (45°)	02
B (Bolted-vidalı)			90 (90°)	03
				04
				05
				06
				07
				.
				.
				.

Örnek:

F05A00-01

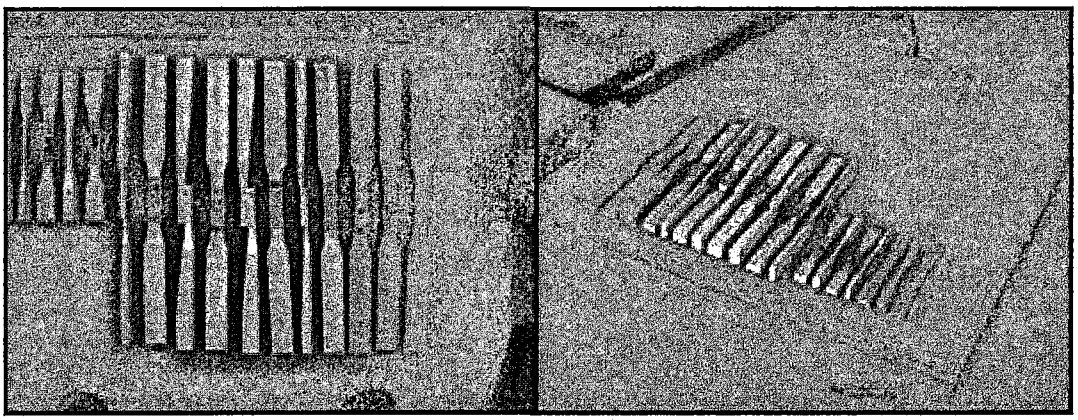
F: Flat-Düz tipte

05 : 5 mm kalınlığında

A: Air- hava ortamı

00 : 0° doğrultusu

01 : numune numarası



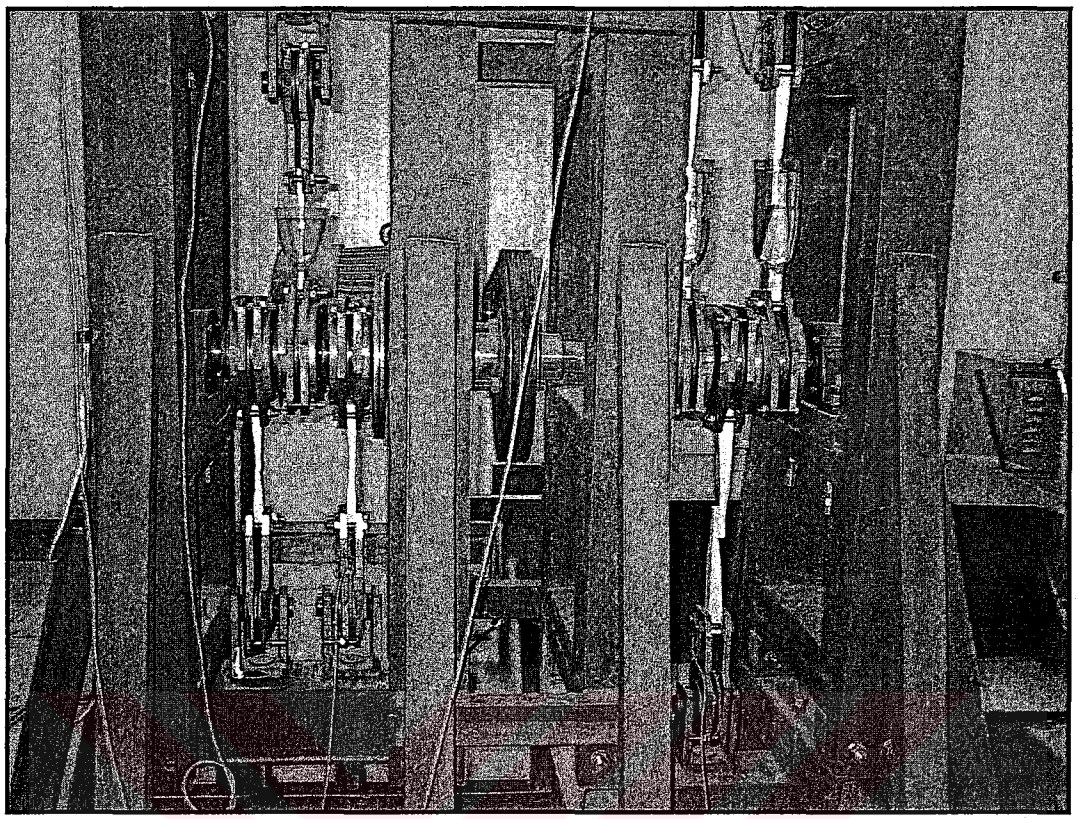
(a) (b)

Şekil 2.17 Test parçalarının profil görünüşü (a), test parçalarının perspektif görünüşü (b)

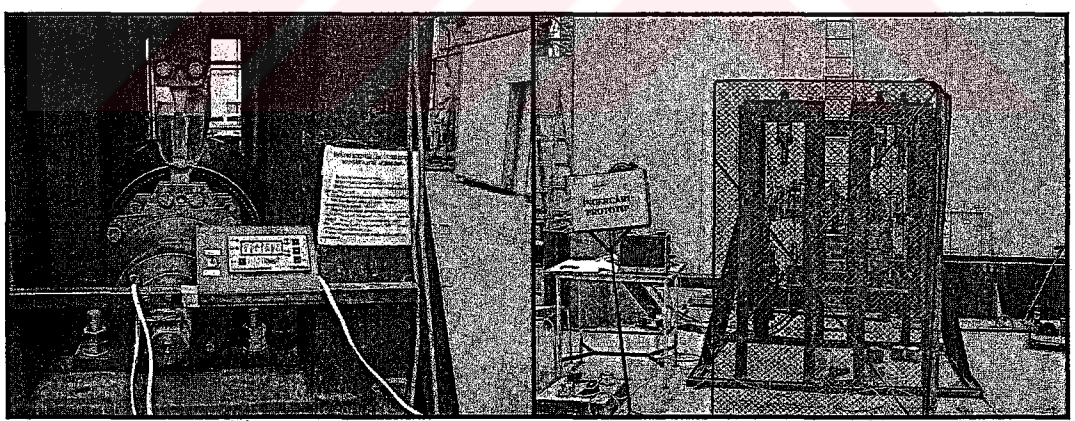
2.5 Testlerin Yapılması

Korozif yorulma testleri "Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü" ile "ICECON S.A. (Research Institute for Construction Equipment and Technologies, Bükreş, Romanya)" araştırma kurumu arasında yapılan anlaşmayla ICECON S.A.'nın laboratuvarlarında yapılmıştır.

Temel olarak kuru durum ve korozif denizel ortamı temsil eden %3,5 NaOH çözeltisi olmak üzere iki farklı çevresel koşulda, 7,5 Hz frekansında yorulma testleri yapılmıştır. Korozif ortamda test edilecek numuneler öncelikle 30 gün süresince %3,5 NaOH çözeltisinde bekletilmiştir. 30 günlük periyotta çözelti 7., 15. ve 23. günlerde yenilenmiştir. Yorulma testlerinden başlanmadan önce her gruptaki test parçalarının 23 °C ortam sıcaklığı ve %50 nem koşullarında statik çekme testleri yapılmış ve çekme dayanımları belirlenmiştir. Çekme dayanımları belirlenirken her gruptaki numunelerden üçer adet kullanılmıştır. Sonuçlar bölümünde çekme ve yorulma dayanımları tablolar ve grafiklerle gösterilmiştir. Aşağıda şekillerde deneyler sırasında çekilen fotoğraflar gösterilmektedir. (Şekil 2.18, 2.19)



Şekil 2.18 Test cihazının önden görünüşü



(a) (b)

Şekil 2.19 Test cihazının yandan görünüşü (a), test cihazının arkadan görünüşü (b)

BÖLÜM ÜÇ
SONUÇLAR

3.1 Çekme Mukavemeti Sonuçları

Numunelerin çekme mukavemetleri belirlenirken her gruptaki numunelerden üçer adet test edilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 3.1'de verilmiştir. Tablodaki "kuru" durumu 23 °C ortam sıcaklığıyla %50 nem koşullarında test edilen numuneleri, "yaş" durumu 30 gün süresince %3,5 NaOH çözeltisinde (çözelti 30 günlük periyotta 7., 15. ve 23. günlerde yenilenmiştir) bekletildikten sonra test edilen numuneleri ifade etmektedir.

Tablo 3.1 Düz, yapıştırma ve vidalı test parçalarının çekme mukavemetleri

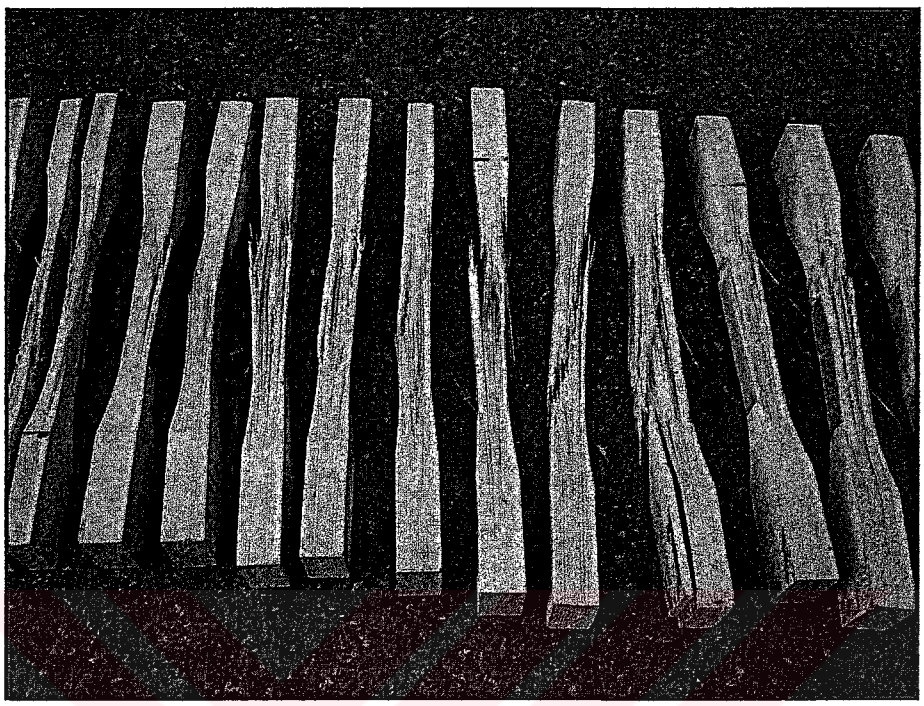
	Kalınlık			
	5 mm		10 mm	
	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş
Düz (0°)	199,40 (±5,65)	195,87 (±3,65)	190,13 (±14,30)	196,20 (±20,12)
Düz (45°)	169,43 (±4,89)	162,87 (±17,64)	202,30 (±9,12)	203,27 (±12,70)
Düz (90°)	191,00 (±12,41)	206,13 (±6,24)	198,30 (±11,89)	178,84 (±27,55)
Yapıştırma	6,00 (±0,10)	4,37 (±0,90)	7,73 (±0,55)	6,23 (±0,50)
Vidalı	344,00 (±16,00)	341,33 (±6,11)	223,33 (±6,11)	214,67 (±2,31)

3.2 Yorulma Mukavemeti Sonuçları

3.2.1 Düz Test Parçaları

Çekme mukavemeti belirlenmesinde olduğu gibi yorulma dayanımı testlerinde de tüm numuneler "kuru" durumunda ve "yaş" durumda test edilmişlerdir.

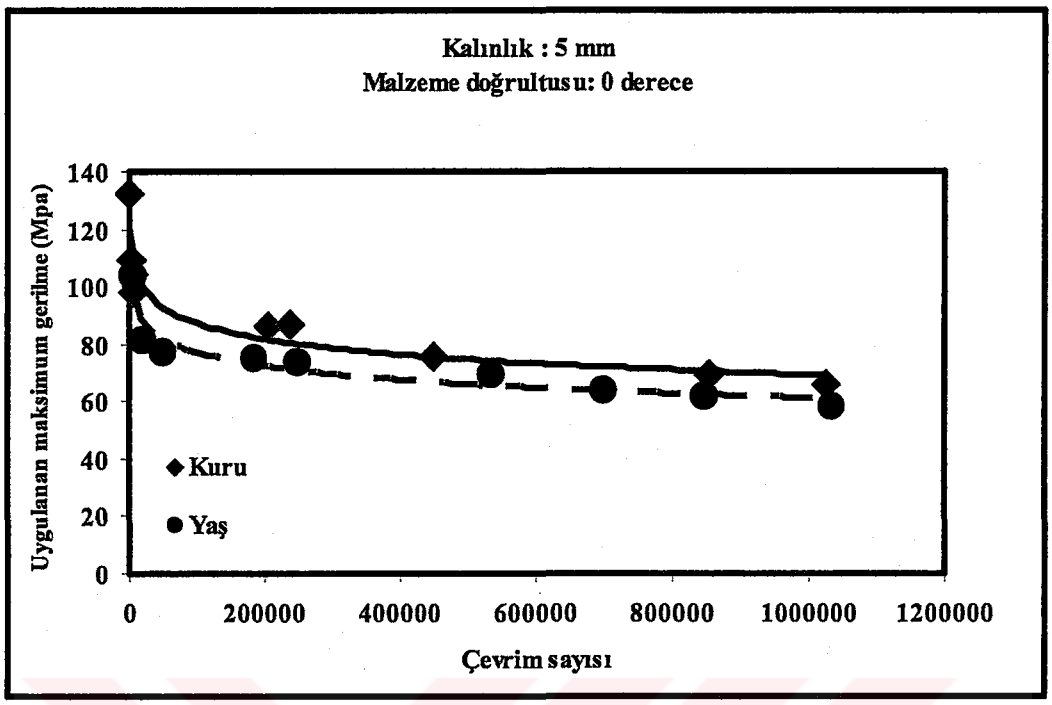
Aşağıdaki şekillerde düz test parçalarının yorulma hasarı neticesinde çekilmiş fotoğrafları ve yorulma eğrileri gösterilmektedir. (Şekil 3.1, ...,3.8)



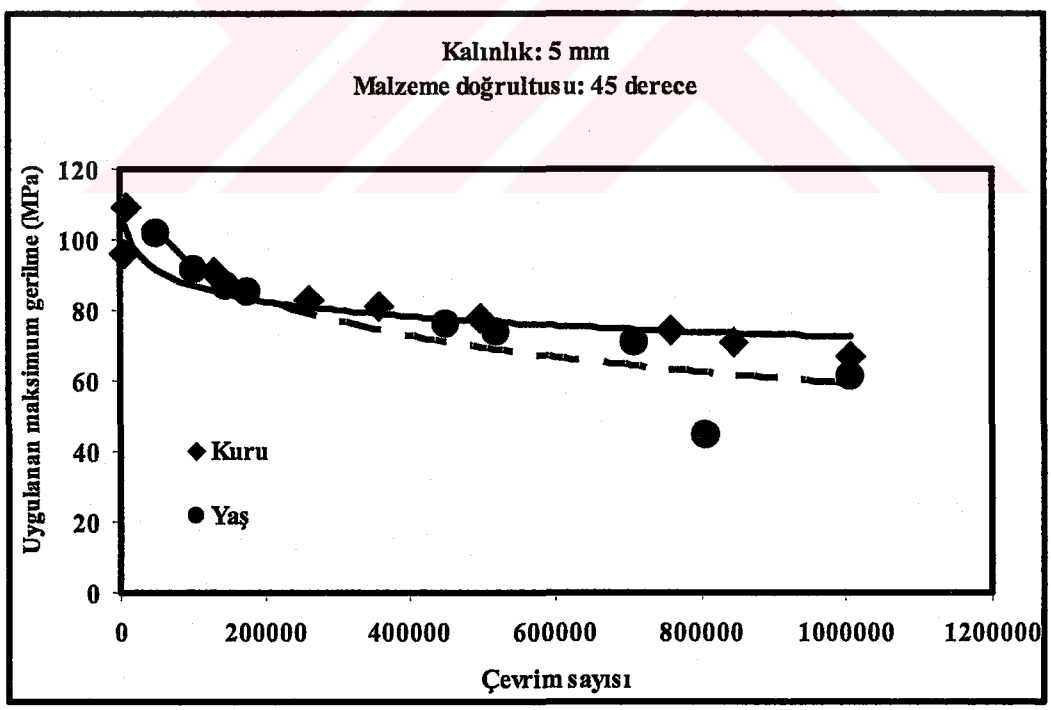
Şekil 3.1 Yorulma hasarına uğramış düz test parçaları



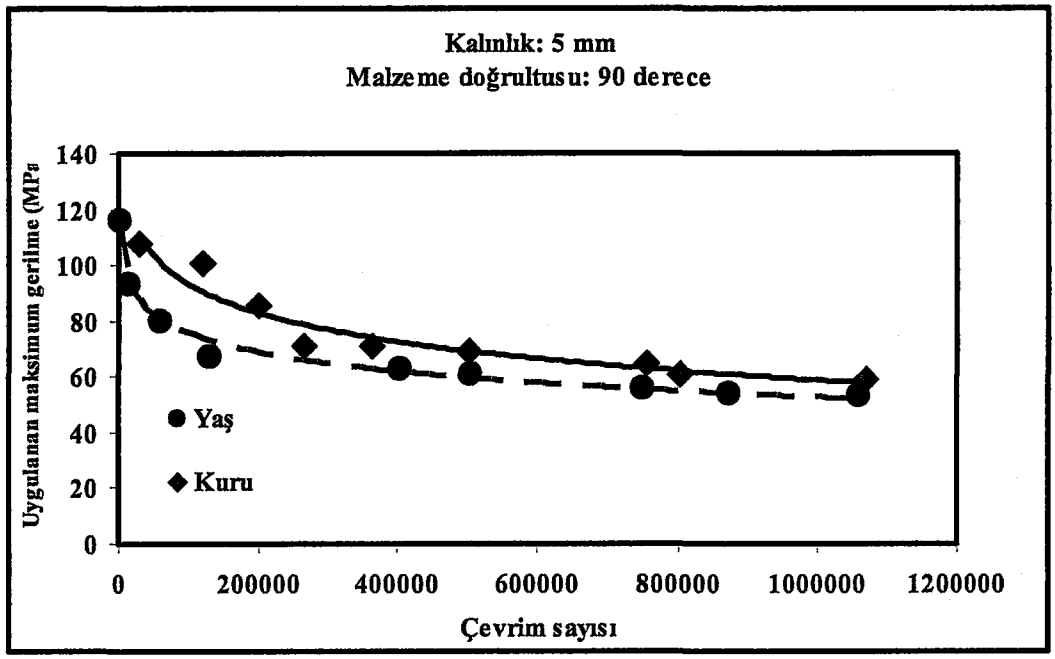
Şekil 3.2 Yorulma hasarına uğramış düz test parçaları



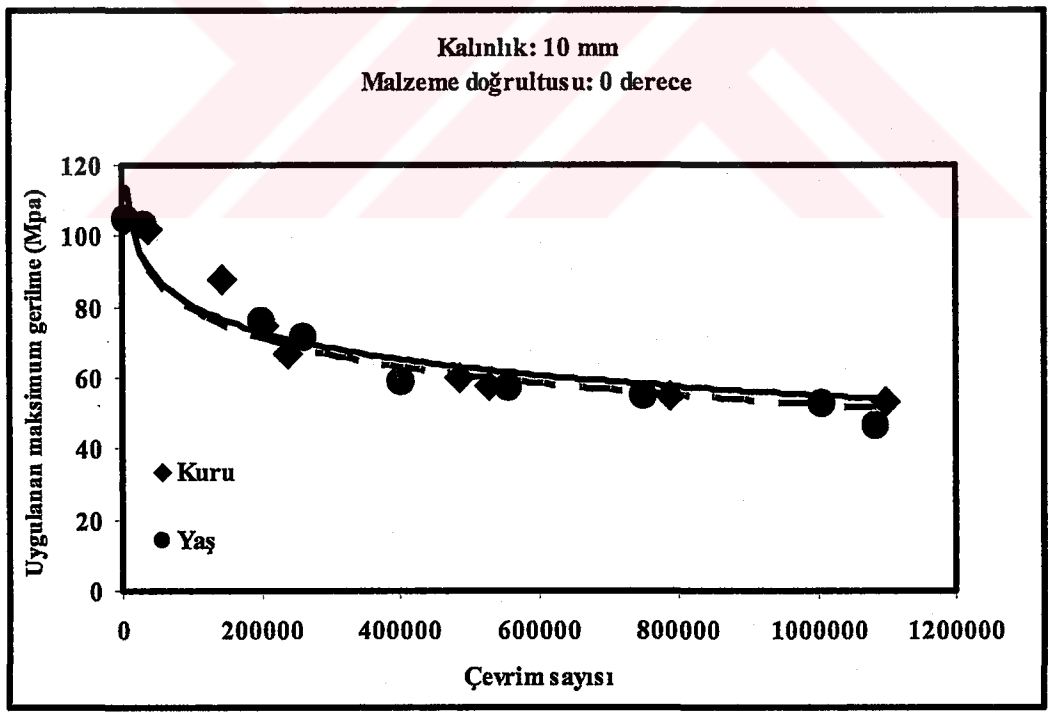
Şekil 3.3 5 mm kalınlık ve 0° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği



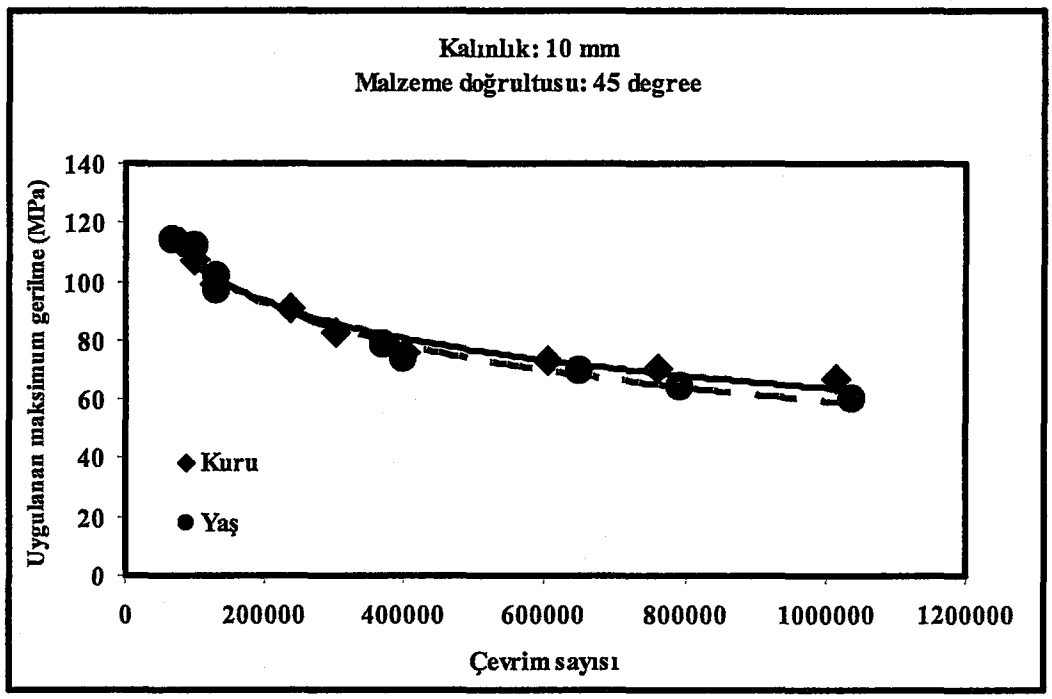
Şekil 3.4 5 mm kalınlık ve 45° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği



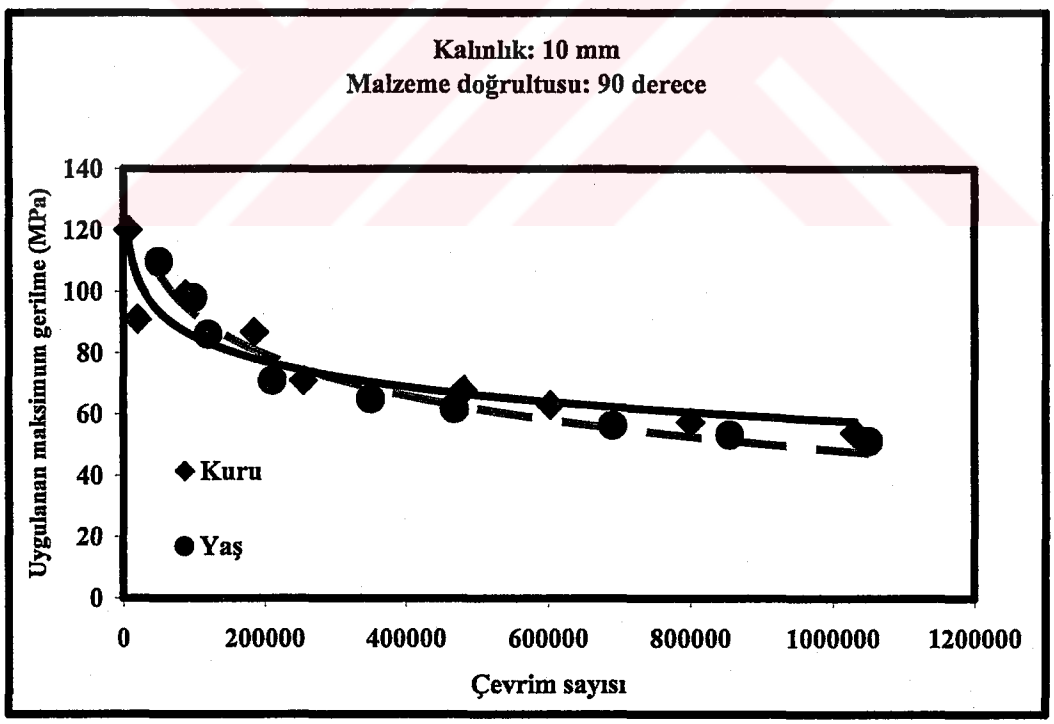
Şekil 3.5 5 mm kalınlık ve 90° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği



Şekil 3.6 10 mm kalınlık ve 0° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği



Şekil 3.7 10 mm kalınlık ve 45° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı grafiği" grafiği

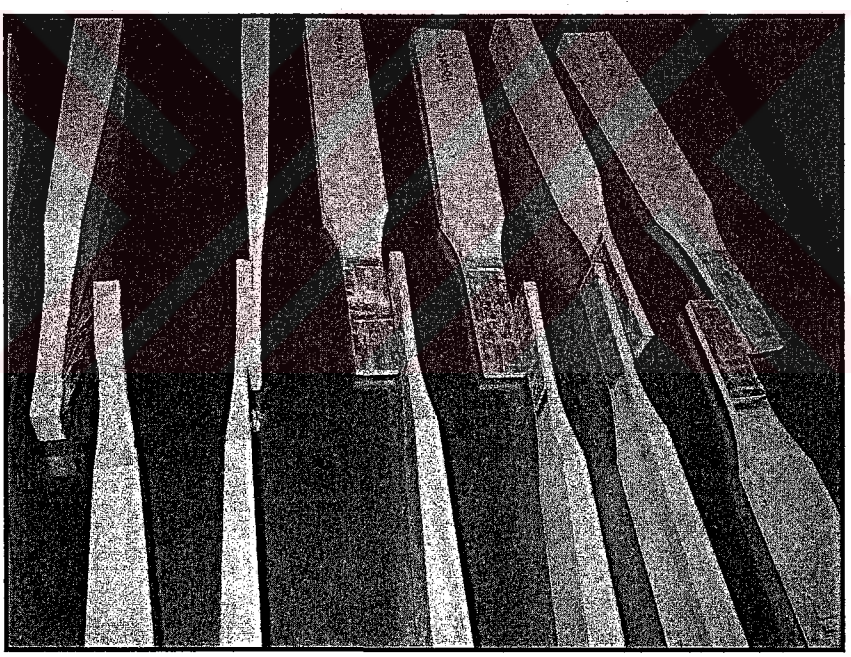


Şekil 3.8 10 mm kalınlık ve 90° doğrultudaki düz test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği

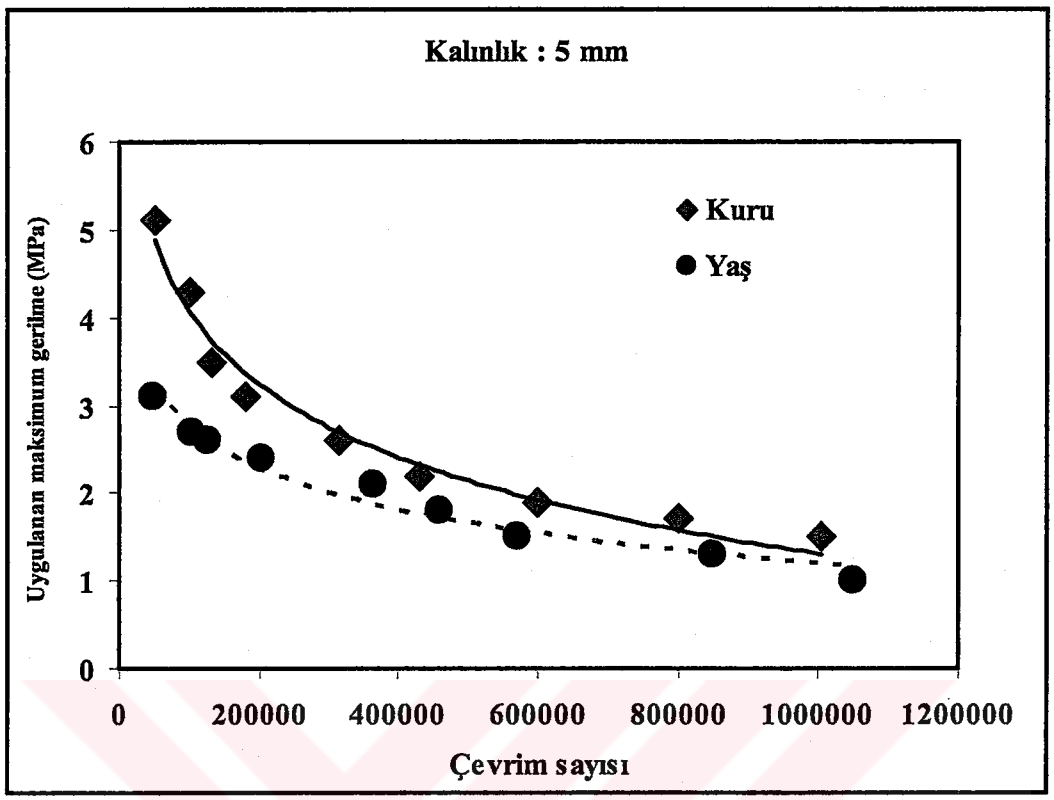
3.2.2 Yapıştırma Test Parçaları

Bu numuneler önceki bölümlerde açıklandığı gibi 5 mm ve 10 mm olarak iki farklı kalınlıklıkta oluşturulmuştur. Yapıştırma işleminde ise; iki numune 0° doğrultusunda iki kat Elpb425 kodlu elyafa polyesterin tatbikiyle birleştirilip, preste kürlenme beklenmişir. Yapıştırma yüzeyi 20 mm x 60 mm = 1200 mm^2'dir. Çekme-çekme yorulma testlerinde hasar bu yüzeye gelen kesme kuvvetiyle meydana gelmiştir ve hesaplamalarda bu alan esas alınmıştır.

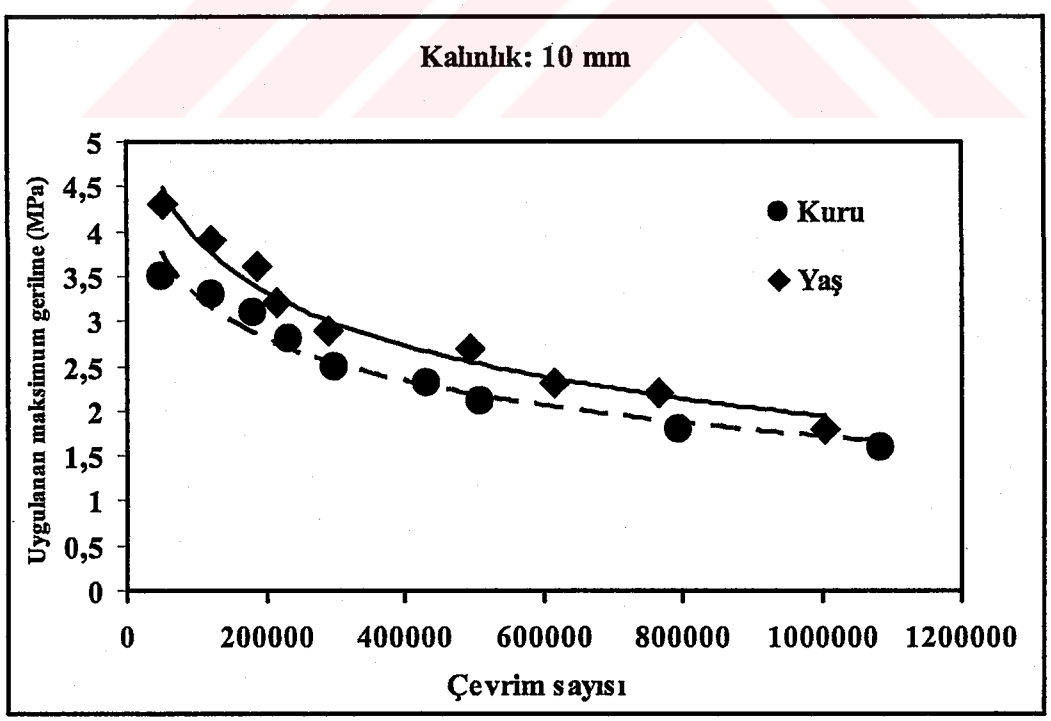
Aşağıdaki şekillerde yapıştırma test parçalarının yorulma hasarı neticesinde çekilmiş fotoğrafi ve yorulma eğrileri gösterilmektedir. (Şekil 3.9,..., 3.11)



Şekil 3.9 Yorulma hasarına uğramış yapıştırma test parçaları



Şekil 3.10 5 mm kalınlıktaki yapıştırma test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği

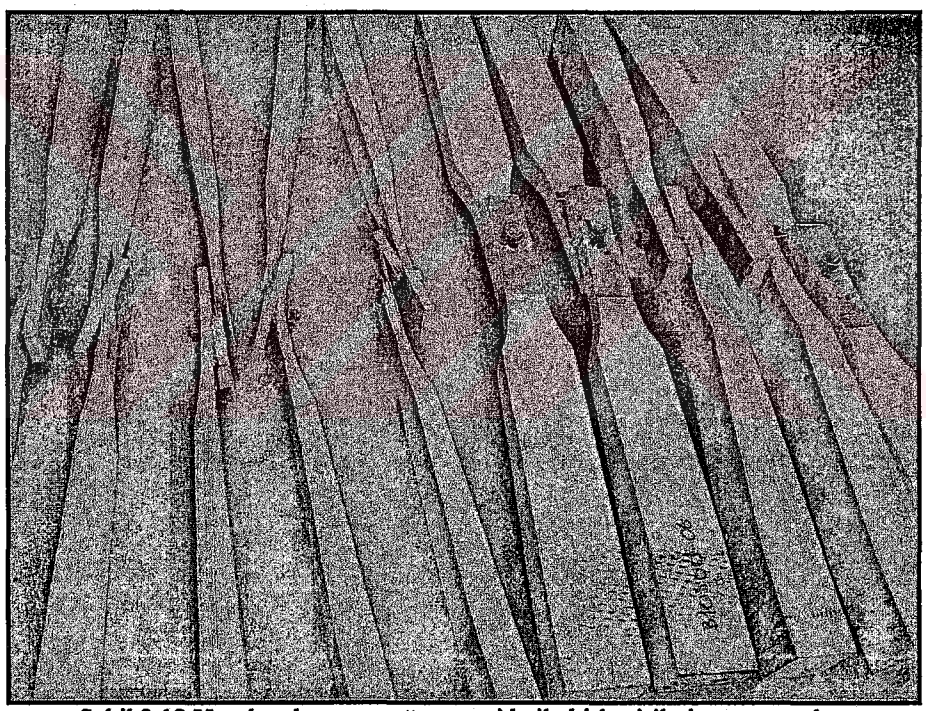


Şekil 3.11 10 mm kalınlıktaki yapıştırma test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği

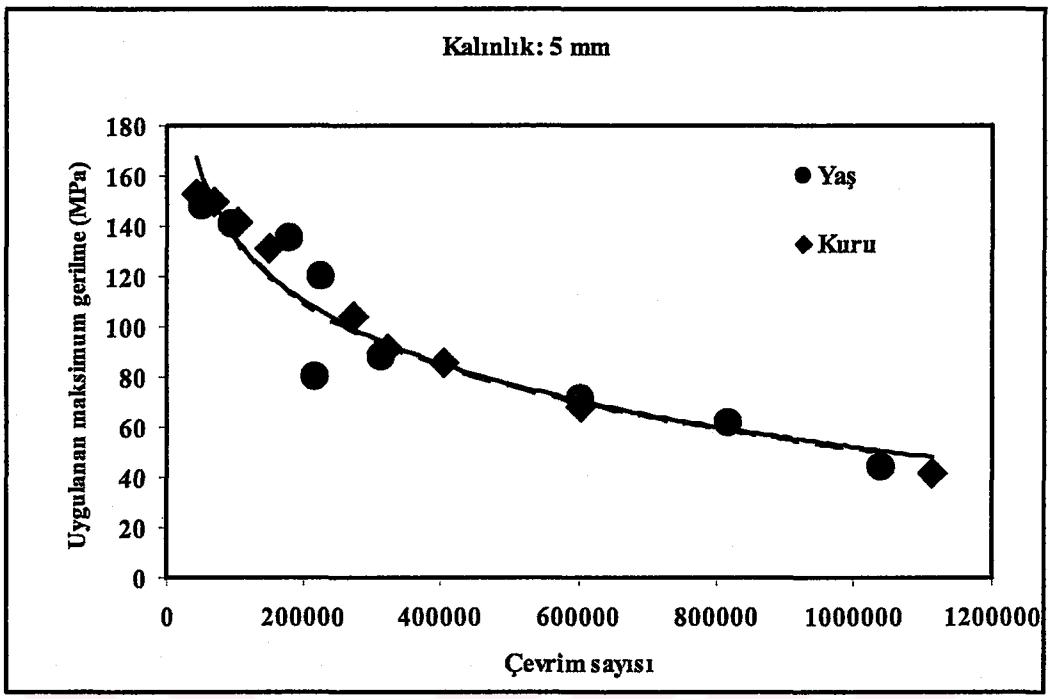
3.2.3 Vida ile Birleştirilmiş Test Parçaları

Yapıştırma grubundaki numunelere ek olarak bu grup da M5 vida bağlantısı birleştirmeyi desteklemektedir. Bu grupta hasar, çekme-çekme yorulma testleriyle, kesme kuvvetlerinin etkisinde vida bağlantılarının çevresinde başlayıp kenarlara doğru ilerlemiştir (Şekil 3.12). Hesaplamalarda kesme alanı için "birleştirmedeki bir numunenin kalınlığı x vida çapı" esas alınmıştır.

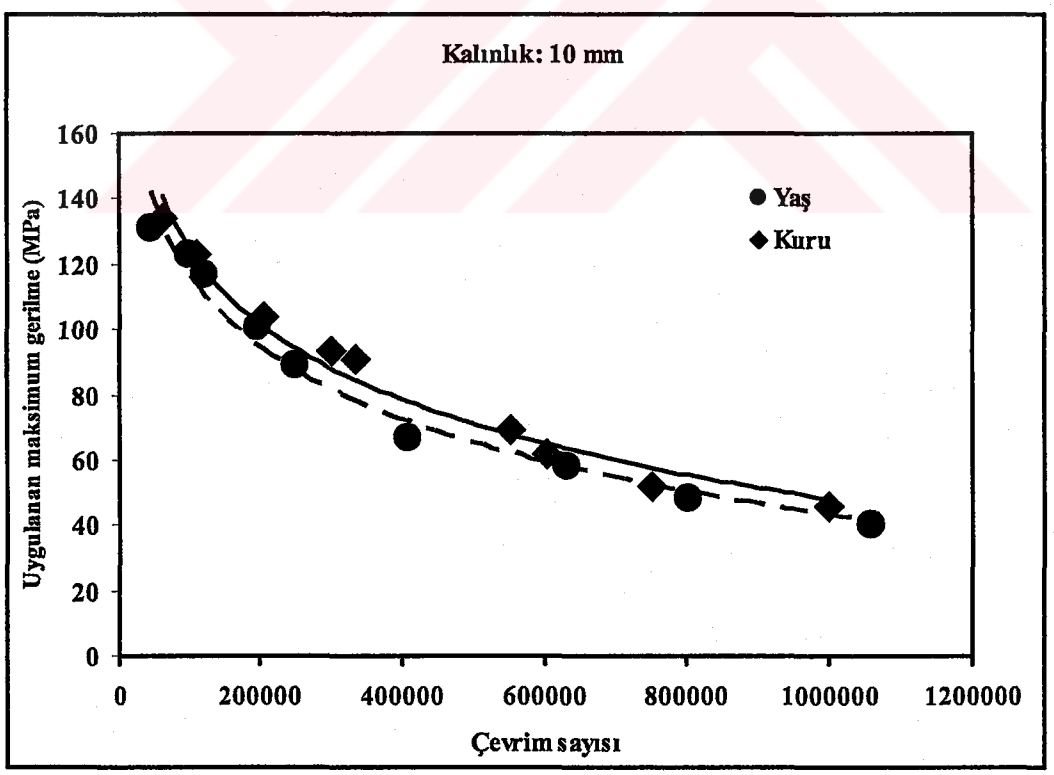
Aşağıdaki şekillerde vida ile birleştirilmiş test parçalarının yorulma hasarı neticesinde çekilmiş fotoğrafi ve yorulma eğrileri gösterilmektedir. (Şekil 3.12,..., 3.14)



Şekil 3.12 Yorulma hasarına uğramış vida ile birleştirilmiş test parçaları



Şekil 3.13 5 mm kalınlıktaki vidalı test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği



Şekil 3.14 10 mm kalınlıktaki vidalı test parçalarının, kuru ve yaş ortamlardaki "Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiği

BÖLÜM DÖRT
DEĞERLENDİRME

Bu çalışmayla küçük tekne malzemesi olarak cam takviyeli plastiklerin korozif ortamda yorulma davranışlarının iki farklı çevresel koşulda deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Numuneler iki kalınlıkta ve üç farklı malzeme doğrultusunda ve cam elyaf / polyester kompozit sistemi kullanılarak hazırlanmıştır. Düz numunelerin yanında teknedeki alt gövde-üst gövde, makina tabanı vb. birleştirme durumlarını temsil eden "yapıştırmayla birleştirme" ve "vidayla birleştirme" bağlantıları için ayrıca numune grupları hazırlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan 20 farklı durumda, önce çekme dayanımları ardından çekme-çekme yorulma yükleriyle test edilerek araştırılmıştır. Testler malzemelerin ömrünün açıkça görülebildiği 10^6 çevrim sayısına kadar devam etmiştir.

4.1 Çekme Mukavemetleri

5 mm ve 10 mm'lik numunelerin test sonuçlarının birbirine oldukça yakın olmasından; çekme dayanımlarının kalınlık ve malzeme doğrultusundan bağımsız olduğu anlaşılmıştır.

4.2 Yorulma Mukavemeti

4.2.1 Düz Test Parçaları

Çekme-çekme yorulma yüklemeleri testleri sonucu, "kuru" ve "yaş" çevresel koşullardaki tüm yorulma hasarlarının numunelerin ortasındaki öngörülen çapraz kesit alanında oluşmasından, doğru bir üretim olduğu anlaşılmıştır. Başlangıç çatlaklarının, numunelerin şeklinin değiştiği yerde başlayıp, merkeze doğru ilerledikleri görülmüştür. Hasarın, bir katmandan diğerine kısa bir zamanda yayılarak oluştuğu ve delaminasyonun, hasar çevrim sayısının % 90'na ulaşıldığında oluştuğu görülmüştür.

Ayrıca yorulmanın kalınlık ve malzeme doğrultusundan bağımsız olduğu anlaşılmıştır.

"Uygulanan maksimum gerilme-Çevrim sayısı" grafiklerinde oluşan eğri biçimlerinin aynı olmasına rağmen; "yaş" durumdaki gerilme sonuçlarının "kuru" durumun sonuçlarından daha düşük olduğu görülmüştür.

4.2.2 Yapıştırma Test Parçaları

Testler, yapıştırılan yüzeyler tamamen ayrılana kadar devam etmiştir. Hasarlarının birleştirme yüzeyinin kenarlarından başlayıp merkeze doğru yayıldıkları görülmüştür.

Hasar oluşum mekanizmasına korozif ortamın etkisi atmosferik koşullara göre oldukça fazladır ve bu durum kalınlık değişiminden de bağımsızdır. Ayrıca bu gruptaki test parçalarına, düz gruptakilere göre yaklaşık 25-30 kat daha düşük gerilme uygulandığında yorulma meydana gelmektedir. Bu sonuca göre de; bu birleştirme yöntemi korozif deniz ortamı etkisindeki küçük teknelerde, düşük gerilme değerlerinde işletilecek yapısal elemanlara uygulanması ya da vida veya perçin gibi birleştirmelerle desteklenmesi önerilmektedir.

4.2.3 Vida ile Birleştirilmiş Test Parçaları

Şekillerde numune kalınlıklarından bağımsız olarak hasar oluşumuna korozif deniz ortamının etkisinin atmosferik ortamdan daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca bu birleştirme yöntemindeki gerilme değerlerinin, düz test parçalarının değerlerinin biraz üstünde kalmasına karşın eğrinin daha keskin bir düşüş izlediği görülmektedir.

Bu tip birleştirmelerde vida ile birleştirme öncesinde numunelerin delinerek işlenmesinin önemi büyüktür. Bu işlemin kalitesi başlangıç çatlaklarının oluşumunu

doğrudan etkiler. Ayrıca uygulanan vida, cıvata ve sıkma kuvveti de başlangıç çatlaklarını dolayısıyla yorulma hasarı oluşumunu etkileyen diğer önemli etkenlerdir.

4.3 Genel Değerlendirmeler

Bu tip yorulma testlerinde hazırlanan numunelerin kalitesi hasar oluşum mekanizmasını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Testler sonucunda oluşan yorulma hasarları numunelerin öngörülen orta bölümlerinde oluşmasından, hazırlanan numunelerin doğruluğu anlaşılmıştır.

Test sonucunda yorulma eğrilerinden, yorulma dmukavemetini korozif ortamın atmosferik koşullara göre daha fazla etkilediği görülmüştür. Yaş ve kuru ortamlarda gerilme eğrileri aynı karakterdedir buradan yorulma hasar oluşumunun da benzer biçimde fiber hasarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Kompozit malzemeye nem difüzyonu sırasında, arayüzeydeki suyun birikimi, korozyon gerilmesi prosesinin, cam fiberlerin hasarında yer almasını önemli olarak arttırır ve bu da yaşlandırılmış kompozitlerin yorulma ömürlerinde düşmeye neden olur. (Pauchard, V., ve diğer., 2002)

Yapıştırmayla birleştirme metodu deniz taşıtlarında önerilmemekte ve vida ile birleştirmenin çok daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Kalınlık ve malzeme doğrultusu farklılıklarının, malzemelerin yorulma dayanımları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır.

Bu araştırmanın sonuçları daha önceden yapılmış benzer araştırmaların sonuçlarıyla değerlendirilmiştir. Genel bir sonuç olarak cam takviyeli plastik (CTP) malzemelerin önemli bir malzeme yetersizliği, çevresel yorulma koşulları altında ve düşük gerilme değerlerinde oluşmaktadır. Cam takviyeli plastiklerin dayanıklılığını iyileştirmek için, cam fiber ve karbon fiberlerin birlikte kullanıldığı hibrid sistemlerin uygulanması önerilir (Manders ve diğer., 1981, Hofer ve diğer., 1987).

Son olarak; bu araştırma sonuçlarının, küçük tekne üretim teknolojileriyle cam takviyeli plastiklerin mukavemet özellikleri konusunda çalışan araştırmacılara, CTP'lerin korozif yorulma dayanımı özelliklerinin anlaşılmasında gerekli temel veri eksiklerini bir ölçüde tamamlamış olduğu düşünülmektedir. CTP'lerin mukavemet özelliklerini belirlemek için mikro ve makro düzeyde bir çok araştırmaya gereksinim duyulduğu açıktır. Bu gereksinimlerle, hasarlı malzemelerin elektron mikroskobuyla fiber, matris ve arayüzeydeki hasar oluşum mekanizmalarını mikro düzeyde araştıranlara, fiber katmanlamalarını optimizasyonla makro düzeyde araştıranlara, CTP malzemelerin hibrid sistemler içinde davranışlarını araştıranlara ve konuyla ilgili diğer araştırmacılara bu çalışmanın faydalı olması umulmaktadır. Bu konunun yapılacak diğer araştırmalarla desteklenmesiyle, CTP malzemelerin doğası daha iyi anlaşılıp, denizde çetin şartlarda çalışan tekneler için optimum gereklilikler belirlenmiş olabilecektir.

KAYNAKLAR

Askeland, D. R. (1998). *Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri* cilt-2. (Dr. M. Erdoğan, Çev.). Nobel Yayın Dağıtım.

Burrel, (1986). *Cycle test evaluation of various polyester types and a mathematical model for projecting flexural fatigue endurance.* Tekrar basım: 41st Annual, SPI Conference, Section Marine 1, Session 7-D.

Cam Elyaf Sanayii A.Ş., (2000). *CTP teknolojisi.* Şişecam

Demers, C.E., (1998). *Fatigue strength deagradation of E-Glass FRP composites and carbon FRP composites.* Construction and Building Materials, 12:311-318

Gdoutos, E. E., Pilakoutas, K. ve Rodopoulos, C. A. (Eds.). (2000). *Failure analysis of industrial composite materials.* US: McGraw-Hill.

Hahn, H.T., (1981). *Fatigue of composites.* Composites Guide, University of Delaware.

Highsmith, A.L. ve Reifsnider, K.L., (1986). *Internal load distribution effects during fatigue loading of composite laminates.* Composite Materials: Fatigue and Fracture, ASTM STP 907, H.T. Hahn, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, s.233-251.

Hofer, K.E.Jr., Stander, M. ve Bennet, L.C., (1977). *Degradation and enhancement of the fatigue behaivour of glass/graphite/epoxy hybrid composites after accelerated aging.* Proceedings of the 32nd Annual technical Conference, The Society of the Plastics Industries, bölüm:11-F

Hofer K.E., Skaper, G.N. ve Bennett, L.C., (1987). *Effect of moisture on fatigue and*

residue strength losses for various composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, s.6:53-65.

Hoffman, M.E. ve Hoffman, P.C., (2001). *Corrosion and fatigue research-structural issues and relevance to naval aviation.* International Journal of Fatigue

Jones, C.J., Dickson, R.F., Adam, T., Reiter, H. ve Harris, B., (1984). *The environmental fatigue behaviour of reinforced plastics.* Proceedings of the Royal Society London Series A: Mathematical and Physical Sciences 396:315-38.

Kaw, A. K., (1997). *Mechanics of composite materials*. US: CRC Press.

Kim, R.Y., (1987). *Fatigue strength.* Engineered Materials Handbook Volume 1, Composites, ASM International, Materials Park, Ohio

Komai, K., Minoshima, K. ve Shiroshita, S., (1991). *Hygrothermal degradation and fracture process of advanced fibre-reinforced plastics.* Materials Science and Engineering, 143:s.155-66

Liao, K., Schultheisz, C.R., Hunston, D.L. ve Brinson, L.C., (1998). *Long-term durability of fiber-reinforced polymer-matrix composite materials for infrastructure applications: a review.* SAMPE, Journal of Advanced Materials, 30(4):2-40.

Liao, K., Schultheisz, C.R. ve Hunston, D.L., (1999). *Long-term environmental fatigue of pultruded glass-fiber-reinforced composites under flexural loading.* International Journal of Fatigue, s.21:485-95

Manders, P.W., ve Bader, M.G., (1981). *The strength of hybrid glass/carbon fiber composites, part 2.* Journal of Materials Science, s.(16), 2246-56

McBagonluri, F., Garcia, K., Hayers, M., Verghese, K.N.E. ve Lesko, J.J., (2000). *Charaterization of fatigue and comibined environment on durability performance of glass/vinyl ester composite for infrastructure applications.* International Journal of Fatigue, s.(22), 53-64

Neşer, G., Tacar, M.E., Buglacki, H., Songüler, S., Darski, W. ve Eichert, P., (2002). *Küçük tekne üretiminde kullanılan, 'dikilmiş', açılı cam elyafıyla kuvvetlendirilmiş plastik kompozit katmanlamaların mukavemetlerinin malzeme doğrultusu ve kalınlığa bağlı olarak irdelenmesi.* Türk Loydu'nun 40.Kuruluş Yıldönümü Nedeniyle Düzenlenen Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.52

Neşer, G, Songuler, S ve Tacar, M.E., (2004a). *Kıvrımsız güçlendiricilerin denizel kullanımdaki yerine ilişkin.* Gemi ve Deniz Teknolojisi, Sayı:161, s.12.

Neşer, G, Songuler, S. ve Tacar, M.E., (2004b). *Contributions to the marine use of non-crimp reinforcement by means of strength tests.* Nav Eng J, s.116(4): 91-98.

Pauchard, V, Chateauminois, A., Grosjean, F. ve Odru, P., (2002). *In situ analysis of delayed fibre failure within water-aged GFRP under static fatigue conditions.* Int J Fatigue, s.24: 447 – 454.

Puccini, G., (1993). Environmental aspect. In: Shenoi RA, Wellicome JF, editors. *Composite materials in maritime structures, Volume 1.* Cambridge: Cambridge University Press.

Salkind, M.J., (1972). *Fatigue of composites.* Composite Materials: Testing and Design (Second Conference), ASTM STP 497, s.143-169.

Scott, R.J., (1996). *Fiberglas boat design and construction* (2nd ed.). New Jersey: SNAME.

Sims, D.F. ve Brogdon, V.H., (1977). *Fatigue behavior of composites under different loading modes.* Fatigue of Filamentary Composite Material, ASTM STP 636, K.L., Editörler:Reifsnider ve K.N. Lauraitis, ASTM, s. 185-205.

Smith, W.F., (2001). *Malzeme bilimi ve mühendisliği.* (N.G. Kınıkoğlı, Çev.). Literatür Yayınevi

Sumsion, H.T. ve Williams, D.P., (1975). *Effect of environment on the fatigue of graphite-epoxy composites.* Fatigue of composite materials, ASTM STP (569), American Society for Testing and Materials, s.226-47

Taby, J. ve Hoyning, B., (1992). *Application of multiaxial reinforcements in the marine industry.* In:Davies, P, Lemoin, L, editors. Proc. Conference Nautical Construction with Composite Materials, Brest. IFREMER, s.83-94.

Talreja, R., (1987). *Estimation of weibull parameters for composite material strength and fatigue life data.* Fatigue of Composite Materials, Technomic Publishing: Lancaster, PA.

Vauthier, E., Abry, J.C., Bailliez, T. ve Chateauminois, A., (1998). *Interactions between hygrothermal ageing and fatigue damage in unidirectional glass/epoxy composites.* Composite Science and Technology (58), 687-92.

the American Society for Metals (ASM), (1987). *Engineers' Guide to Composite Materials.* Metals Park, OH.

Türk Loydu, (1997). *Cilt C - Kısım 7 - Yüksek Hızlı Tekneler, Bölüm 3 - Tekne Yapısı*

Türk Loydu, (2004). *Cilt C - Kısım 9 - Yatların Yapımı ve Klaslanmasına İlişkin Kurallar, Bölüm 4 - Tekne Konstrüksiyonu - Elyaf Takviyeli Plastik Tekneler*

Dewester Genel Amaçlı Polyester, (bt.). 2004, (http://www.dyo.com.tr/tr/sektorler_urunler/pyr/urunler/urun_temp.jsp?urun_id=685), Web 1

Dewester Hızlandırıcı, (bt.). 2004, (http://www.dyo.com.tr), Web 2

Dewester Sertleştirici, (bt.). 2004, (http://www.dyo.com.tr), Web 3

Multiaxials, (bt.). 2004, (http://www.syncoglas.com/Multiaxials.htm), Web 4

SP Price List, (bt.). 2004, (http://www.spsystems.com/solutions/general_pdfs/SPUK_PL_2004_v7_2.pdf) Web 5