

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZEL ORTAMDA ISLANMA VE KURUMA
DÖNGÜSÜNÜN CAM TAKVİYELİ PLASTİK
MALZEMENİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Halis Haluk BAYKAL

Eylül, 2016
İZMİR

**DENİZEL ORTAMDA ISLANMA VE KURUMA
DÖNGÜSÜNÜN CAM TAKVİYELİ PLASTİK
MALZEMENİN PERFORMANSINA ETKİSİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı Programı

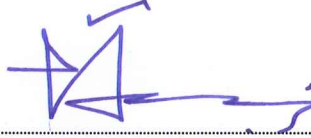
Halis Haluk BAYKAL

Eylül, 2016

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

HALİS HALUK BAYKAL, tarafından PROF. DR. GÖKDENİZ NEŞER yönetiminde hazırlanan “DENİZEL ORTAMDA ISLANMA VE KURUMA DÖNGÜSÜNÜN CAM TAKVİYELİ PLASTİK MALZEMENİN PERFORMANSINA ETKİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



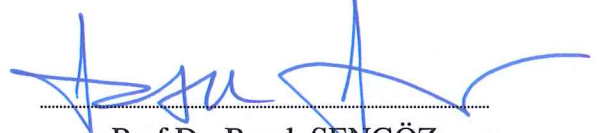
Prof. Dr. Gökdeniz NEŞER

Yönetici



Doç. Dr. M. Evren TOYGAR

Tez İzleme Komitesi Üyesi




Prof. Dr. Burak ŞENGÖZ

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Doç. Dr. İsmail BAYAR

Jüri Üyesi Jüri Üyesi



Prof. Dr. Aydoğan ÖZDAMAR

Jüri Üyesi Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans çalışmalarından itibaren ve doktora çalışmam boyunca bana zamanını ayırarak, bilgi ve tecrübelerini aktaran, değerli katkılarıyla bana destek veren, doktora çalışmamı kurgulayan ve yöneten değerli hocam Prof. Dr. Gökdeniz Neşer'e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Numune üretiminde malzeme desteği veren Duratek Epoksi ve Poliüretan Sistemleri A.Ő.'ye, yapıcı eleştirileriyle beni cesaretlendiren hocalarım Doç. Dr. Evren Toygar ve Prof. Dr. Burak Şengöz'e ve DEÜ Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik ve Kompozit Laboratuvarı'ndan sorumlu hocalarım ve değerli araştırmacı arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi eğitim hayatımda da benden desteklerini esirgemeyen aileme ayrıca teşekkür ederim.

Halis Haluk BAYKAL

DENİZEL ORTAMDA ISLANMA VE KURUMA DÖNGÜSÜNÜN CAM TAKVİYELİ PLASTİK MALZEMENİN PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada alt ve üst kısmı cam takviyeli epoksi kompozit, ortası gemi çeliğinden oluşan çift karşılıklı bağlantının performansını öngörebilmek için, deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Programlanabilir korozyon test kabini içinde ıslanma ve kuruma döngüsünde üç yaşlandırma (30, 60 ve 90 gün) süreci, farklı iki üstüste bindirme (kısa ve uzun) uzunluğu, farklı iki yüzey pürüzlülüğü (50 and 90 mikrometre) ve çelik parçaların yüzey hazırlama (epoksi astarla boyanan ve boyanmayan) alternatifleri, performans kriterleri olarak kabul edilmiştir. Bahsedilen parametrelerin tekil ve tümleşik etkileri değerlendirilerek, denizel tasarımcılara öneriler sunulmuştur. Çift karşılıklı bağlantının kompozit parçaları, yaşlanma sürecinde kürlenmeye devam etmişler ve mekanik özellikleri iyileşmiştir. Astar kaplanması yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip numunelerin, düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olanlara göre, daha iyi mekanik değerlere ulaşmasıyla sonuçlanmıştır. Astar kaplamasız bağlantılarda, düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olanlar, yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olanlara göre daha yüksek performans göstermiştir. Bindirme uzunluğunun bağlantının performansına pozitif etkisi vardır. Bindirme uzunluğu daha fazla olan bağlantılar, yaşlandırma kabini içindeki yüksek sıcaklığa bağlı olarak, kürlenmesini tamamlamaları nedeniyle daha dayanıklı olurlar. Bağ kuvveti daha yüksek bağlantı oluşturmak için ayrılma başlangıç bölgesine ilave civata bağlanabilir.

Bu çalışma bağlamında, iki farklı malzemenin birleştirilmesi için en iyi çözümün düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip astarsız çelik levha ile daha uzun üstüste bindirme boyunda cam elyaf takviyeli epoksi kompozitin, vakum altında birleştirilmesi olarak özetlenebilir.

Anahtar kelimeler: Denizel yapılar, çift bindirmeli bağlantı, yüzey pürüzlülüğü, hızlandırılmış yaşlanma, ıslanma kuruma döngüsü.

THE EFFECT OF WET- DRY CYCLE IN MARINE ENVIRONMENT ON THE PERFORMANCE GLASS REINFORCED METERIALS

ABSTRACT

In this study, an experimental study has been carried on to predict the performance of double lap joints with lower and upper parts which are made of e-glass fiber reinforced epoxy composites and with a middle part made of a ship grade steel. Three (30, 60 and 90 days) aging period under wet-dry cycle in a programmable corrosion chamber, two overlapping lengths (short and long), two surface roughness (50 and 90 micrometer) of steel parts and two surface preparation alternatives (coated and uncoated with epoxy primer) have been considered as performance criteria. Individual and integrated effects of mentioned parameters have been evaluated and suggestions to marine designers have been given. Composite parts of the joints continued to cure through the aging process and mechanical properties are improved. Primer coating resulted good mechanical values for the samples with higher surface roughness than the ones having lower roughness. For the uncoated joints, the samples with lower roughness exhibited higher performance than the ones with higher roughness. Overlapping length has a positive effect on the joint performance. longer overlapped joints gained more strength due to lasting curing period under the relatively high temperature of the aging chamber. To produce much more strong joint, an additional bolt could be replaced to separation initiation location.

In the context of this study, it can be concluded that the best solution for joining two different materials is to use uncoated steel part with lower surface roughness and composite parts with longer overlapping lengths which are joined with a vacuum assisted technique. In case of higher surface roughness of steel parts, using primer coating is highly advisable.

Keywords: Marine structures, double lap, surface rouhgness, accelerated aging, dry and wet cycle.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Kompozit Malzemelerin Denizel Kullanımı	1
1.2 Kompozit Malzemelerde Çevresel Yaşlanma	3
1.3 Denizel Yapılarda Kompozit Bağlantılar	17
1.4 Çalışmanın Amacı	21
BÖLÜM İKİ - MALZEME VE YÖNTEM	23
2.1 Yöntem	23
2.1.1 Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanlarının Çekme Deneyi Sonuçlarının Gruplara Göre Değerlendirilmesi	23
2.1.1.1 Hızlı Yaşlandırma Test Kabininin Özellikleri	23
2.1.1.2 Ascott Test Kabin Modelinin Çalışma Modları ve Performans Özellikleri	25
2.2 Deney Sistematiği.....	26
2.2.1 Numune Tasarım ve İmalatı.....	26
2.3 Malzemeler	29

2.3.1 Gemi İnşaa Çeliği	29
2.3.2 Epoksi	29
2.3.2.1 Epoksi Astar	30
2.3.3 Laminasyon Elyafı	31
2.4 Numune Üretimi	31
2.4.1 Numune Üretimi Öncesi Çeliğin Hazırlanması	32
2.4.2 Numune Çeliklerinin Epoksi Astarlanması.....	33
2.4.3 Numunelerin Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Üretimi.....	34
2.5 Deney Düzenegi	39
2.6 Denizel Ortamda İslanma ve Kuruma Döngüsünde Bağlantının Yaşlandırılması.....	40
2.6.1 Cam Takviyeli Plastik Plakaların Yaşlandırılması ve Çekme Testine Hazırlanması	41
2.6.2 Çelik - CTP Hibrit Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanlarının Yaşlandırılması ve Çekme Testine Hazırlanması	43

BÖLÜM ÜÇ – DENEYSEL SONUÇLAR..... 51

3.1 Tuz Sisi ve Çevrimsel Korozyon Test Kabininde Programlanan İslanma Kuruma Döngüsü.....	51
3.2 Cam Takviyeli Plastik Numunelerin Deney Sonuçları	53
3.2.1 Cam Takviyeli Plastik Numunelerin İslanma - Kuruma Döngüsündeki Kütle Artışı.....	53
3.2.2 Cam Takviyeli Epoksi Numunelerin Çekme Testi	56
3.3 Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları	60
3.3.1 Yaşlandırılmamış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları	60

3.3.2 30 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları	64
3.3.3 60 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları	67
3.3.4 90 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numunelerin Deney Sonuçları.....	70
3.3.5 Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanlarının Çekme Deneyi Sonuçlarının Gruplara Göre Değerlendirilmesi	74
BÖLÜM DÖRT –SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	92
KAYNAKLAR	97

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Ascott CC 1000 İP tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabin	24
Şekil 2.2 ÇKT kabinlerinin standart sıcaklık/nem aralığı kontrolünü ve bunun ek opsiyonel aksesuarları ile geliştirilmesini göstermektedir.....	26
Şekil 2.3 Tekne gövde- güverte bağlantı kesiti	27
Şekil 2.4 Sadeleştirilen formun çift karşılıklı bağlantısı	27
Şekil 2.5 Çift karşılıklı bağlantının ASTM 3528 standartına göre numune ölçüleri.....	27
Şekil 2.6 Üretilecek çift karşılıklı bağlantı	28
Şekil 2.7 1 mm çaplı çelikle raspalanmış çelik numune örnekleri.....	32
Şekil 2.8 Numunelerin yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SJ-301 cihazı ile yapılmıştır..	33
Şekil 2.9 Solda 1 mm çaplı metal çelikle raspalanmış numuneler. Sağda 2,5 mm çaplı metal çelikle raspalanmış numuneler.....	33
Şekil 2.10 Raspalandıktan sonra epoksi astar uygulanmış çelik numune.....	34
Şekil 2.11 Numune üretimi için kullanılacak pleksiglas ile birlikte numune ölçüleri, kesit resim	36
Şekil 2.12 Numune üretimi için kullanılacak pleksiglas ile birlikte numune ölçüleri, üst görünüş	36
Şekil 2.13 Vakum torbalama yöntemiyle laminasyonun yapım aşamaları	37
Şekil 2.14 Üretilen hibrit çift karşılıklı bağlantı elemanı numuneleri	38
Şekil 2.15 Numune dizisinin kesilmesinde kullanılan sulu dairesel testere ve kesilimiş numuneler	39
Şekil 2.16 Deney düzeneği.....	40
Şekil 2.17 Yaşlandırma kabininin 1 gün için kabin ve nemlendirici sıcaklık değerleri.....	41
Şekil 2.18 Hazırlanmış kompozit çekme numuneleri	42
Şekil 2.19 Kontrol grubunu oluşturacak olan ilk numuneler	44
Şekil 2.20 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini ve raflarına dizilmiş numuneler.....	45
Şekil 2.21 30 Günlük yaşlandırma sonrası numuneler.....	46

Şekil 2.22 60 günlük yaşlanma sonrasında sekiz farklı tipten oluşan toplam 40 adet numune	47
Şekil 2.23 60 gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi öncesi görünümü.....	48
Şekil 2.24 90 gün yaşlandırılmış numuneler.....	49
Şekil 2.25 90 gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi öncesi görünümü.....	50
Şekil 3.1 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinde bir günlük ıslanma ve kuruma döngüsü	52
Şekil 3.2 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinde gerçekleşen haftalık ıslanma ve kuruma döngüsü	53
Şekil 3.3 Çekme testinde kullanılacak kenarları epoksi kaplanmış, cam takviyeli plastik levhaların ağırlığının 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında yüzdesel değişim grafiği	54
Şekil 3.4 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında CTP levhaların ağırlığının; ağırlığın, çevre alanı oranının ve özkütlesinin yüzdesel değişim grafiği.....	54
Şekil 3.5 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında 8 farklı boyutta cam takviyeli plastik kenarları korozyona açık plakaların ağırlığının yüzdesel değişimi	55
Şekil 3.6 (a) 0, (b) 30, (c) 60, (d) 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında çekme deneyi yapılan cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin fotoğrafları .	56
Şekil 3.7 (Y0) 0, (Y1) 30, (Y2) 60, (Y3) 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında çekme deneyi yapılan cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin gerilme şekil değiştirme ilişkileri.....	57
Şekil 3.8 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre maksimum çekme gerilmesi (± 1 standart sapma).....	58
Şekil 3.9 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre, maksimum çekme kuvveti (± 1 standart sapma).....	58
Şekil 3.10 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre şekil değiştirme (± 1 standart sapma).....	59
Şekil 3.11 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre tokluk (± 1 standart sapma).....	59

Şekil 3.12 Yaşlandırılmamış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası fotoğrafları	62
Şekil 3.13 Yaşlandırma yapılmamış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değiştirme grafikleri.....	63
Şekil 3.14 Bir ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası hasarlanmaları	65
Şekil 3.15 Bir ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet şekil değiştirme grafikleri.....	66
Şekil 3.16 İki ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası hasar görünümleri.....	68
Şekil 3.17 İki ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değiştirme grafikleri.....	69
Şekil 3.18 Üç ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin dördünde tek bir kenardan içeri doğru korozyon ilerlediği alan gösterilmiştir.....	71
Şekil 3.19 Üç ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası hasarlanmaları	72
Şekil 3.20 Üç ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değiştirme grafikleri.....	73
Şekil 3.21 Numune gruplarına göre ortalama maksimum çekme kuvvetinin grafiği	78
Şekil 3.22 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre, maksimum çekme kuvvetinin (± 1 standart sapma) grafiği	79
Şekil 3.23 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre şekil değiştirmenin (± 1 standart sapma) grafiği	80
Şekil 3.24 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre tokluk (± 1 standart sapma) grafiği	87
Şekil 3.25 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin çekme testinde kopma süreci	91

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Test numune üretim tablosu.....	28
Tablo 2.2 Ereğli Demir Çelik Fabrikası T.A.Ş tarafından üretilen çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri	29
Tablo 2.3 DTS 1000 laminasyon epoksisinin üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri.....	30
Tablo 2.4 Epoksi astarın teknik ve mekanik özelliklerini gösteren tablo	31
Tablo 2.5 Bir günlük süreç.....	40
Tablo 2.6 Numunelerin kodlama tablosu	43
Tablo 3.1 Yaşlanma sürecinde maksimum kuvvetin ilk aya göre yüzdesel değişimi	74
Tablo 3.2 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum kuvvetlerinin astarlı numunelerin maksimum kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişimi	75
Tablo 3.3 Yaşlanma sürecinde, numunelerin maksimum çekme kuvvetlerinin sabit parametrelere göre Rz50/RZ90 yüzdesel değişimi	76
Tablo 3.4 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin maksimum kuvvetlerinin uzun numunelerin maksimum kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişimi....	77
Tablo 3.5 Yaşlanma sürecinde şekil değiştirmenin yüzdesel değişimi.....	81
Tablo 3.6 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin astarlı numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi.....	83
Tablo 3.7 Yaşlanma sürecinde, yüzey pürüzlülüğü Rz=50 µm olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin yüzey pürüzlülüğü Rz=90 µm olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi	83
Tablo 3.8 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin uzun numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi	84
Tablo 3.9 Yaşlanma sürecinde tokluk yüzdesel değişimi	84

Tablo 3.10 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin tokluklarının astarlı numunelerin tokluklarına oranlarının yüzdesel değişimi.....	88
Tablo 3.11 Yaşlanma sürecinde, yüzey pürüzlülüğü Rz=50 µm olan numunelerin tokluğunun yüzey pürüzlülüğü Rz=90 µm olan numunelerin tokluğuna oranlarının yüzdesel değişimi.....	88
Tablo 3.12 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin tokluğunun uzun numunelerin tokluğuna oranlarının yüzdesel değişimi.....	90



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Kompozit Malzemelerin Denizel Kullanımı

Gelişen gezi ve sportif amaçlı tekne, askeri tekne, iş tekneleri gibi küçük tekne endüstrisinde uzun erimli dayanım ve işlevselliği önemseyen araştırmalar hız kazanmıştır. İlerlemeler sayesinde elyaf takviyeli plastik kompozit malzemeler, anılan endüstrinin baskın yapı malzemeleridirler. Denizel yapılarda, güncel olarak teknenin sevk donanımları (yelken direği, pervane, vb.) dahil her elemanında polimer matris kompozitler, özel teknelerden denizaltılara kadar uzanan farklı uygulamalarda kullanılmaktadır (Davies ve Lemoine, 1992; Graner, 1982; Smith, 1990). Elyaf takviyeli polimer kompozitler esnek tasarımların üretimine imkan veren yapılarıyla, üstün rijitlik ve özgül mukavemetleriyle (mukavemet/yoğunluk), korozyon, sıcaklık değişimleri, ultraviyole gibi çevresel koşullara dayanımlarıyla denizel uygulamalar için neredeyse en uygun seçenek halindedir.

Denizel uygulamalarda genellikle E-cam elyaftan yararlanılmaktadır. Yüksek süratli sportif teknelerin haricinde çok az kullanılan karbon elyaf; günden güne iyileştirilen maliyetleri doğrultusunda, gelecekteki uygulamalarda daha fazla öne çıkacak malzeme seçeneği olarak görülmektedir. Denizel kompozitler hacimsel oranda düşük fiber oranlarında (%30 ile %60) el yatırması veya vakum destekli infüzyon yöntemleri tercih edilerek düşük sıcaklıklarda kürleşen reçinelerle üretilirler.

Polimer bazlı kompozit malzemeler, altyapı yapısal elemanların iyileştirme/rehabilitasyon uygulamalarında da sıkça kullanılmaktadır. Oluşan yapı hibrit yapı olarak adlandırılmakta ve yöreye, gereksinime özgü istenilen özelliklerde üretilebilmektedir. Bununla birlikte kullanım ömrü boyunca mikroyapısal ve morfolojik dönüşüm geçiren her malzemenin özellikleri de yaşlanmaya bağlı olarak değişir. Bu değişimlerin, başlangıçta iyileştirilme yapılan yapıların, istenilen kullanım süresini kısaltmaması gerekir.

Son yıllarda, mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılan elyaf takviyeli polimer (ETP) malzemeler çelik ve beton gibi alışlagelmiş malzemeler yanında geçerli bir seçenek olmuşlardır. Güçlendirilen yapısal elemanlar ile ETP malzeme arasındaki bağlantı bir güçlendirme sisteminin başarısı ve etkinliği üzerinde önemli bir role sahiptir. Yapısal epoksi yapıştırıcılar, güçlendirme malzemesi ve bunun uygulandığı zemin gibi her iki malzemenin arasındaki gerekli yük transferini sağladıklarından, yaygın bir şekilde bağlama aracı olarak kullanılmaktadır. Bir çok çalışma (dıştan bağlantılı ve kenar-yüzey montajlı gibi uygun güçlendirme teknikleriyle uygulanmış) anılan ETP malzemelerin güçlendirilmiş beton elemanların nihai yük taşıma kapasitelerini ve işlev şekillerini iyileştirdiklerini göstermektedir (Coelho, Sena-Cruz ve Neves, 2015; De Lorenzis ve Teng, 2007; Bakis ve diğer., 2002).

Elden geçirilmiş / yenilenmiş yapıların performansı (uzun süreli dayanımı / ömrü dahil) yapısal güvenliği anlamında, çevresel aşınmaya maruz kaldıkları ve böylelikle malzeme bileşenlerinin aşınmaları nedeniyle, performans kaybına uğrayacakları için kritik önemde bir konudur. Dahası, örneğin malzeme ya da yapısal eleman aynı anda sürekli bir yüke ve neme maruz kaldıklarında her birinin ayrı ayrı etkileri olan fiziksel ve çevresel etmenler arasında da bir sinerjinin olduğu görülür (Committee IE. ISIS, 2006).

Denizel çevrede gerek tekne üretimi, gerek kıyı ve açık deniz yapıları uygulamalarında, sağladığı avantajlarla polimer temelli kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır (Chauchot ve Guillermin, 1987; Gibson, 1993). Optimizasyona, farklı ve daha önce denenmemiş tasarımlara ulaşmaya imkan veren esneklikleriyle ve daha narin, hafif yapılara yol açan, daha az ve firesiz malzeme kullanımı anılan malzemelerin yaygınlaşmasının nedenleriyken, bu malzemelerin çevresel etmenler nedeniyle bozulma mekanizmalarının da açıklığa kavuşturulması beklenmektedir. Örneğin üretimin koşullarından ve denizel ortamda yıllar içinde gelişen osmoz gibi bir fenomen plastik kompozitlerin bozulmasına yol açmakta ve bunun neticesinde oluşan hidroliz kompozit malzemelerde geri dönüşü olmayan hasarlara neden olmaktadır. Bu anlamda, mikro çatlakların oluşması sonucu hızla

artan ve tekne gövdesinde baloncuklarla kendini gösteren osmoz, plastik kompozit tekne sektöründe, her yıl yüksek tamir masraflarına yol açmaktadır.

1.2 Kompozit Malzemelerde Çevresel Yaşlanma

Çevresel yaşlanma, nem, sıcaklık, korozyon etkileriyle birlikte yük altındaki malzemenin bozulmasını hızlandırıcı etkilere neden olmaktadır. Tasarımcı ve imalatçıların malzemenin etkin kullanım sürelerini yada herhangi bir zamanda mekanik özelliklerini tahmin etmek için, yaşlanma sürecinde özelliklerinin değişimini, yani çevresel etmenlerin etkisini daha iyi anlamaya ihtiyaçları vardır. Kaçınılmaz bir çevresel aşınma oluşumu söz konusu olsa dahi, aşınmayı zamanında farketme ve aşınmanın olası boyu üzerinde fikir sahibi olma malzemenin ve bu malzemeyle üretilmiş yapının güvenilirliğini arttıracaktır.

Deniz suyuna dalma, dalga çarpma bölgesi ve deniz sisi denizel çevre koşulları altında cisme etkiyen çevresel etmenlerden bazılarıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, işletme ömrüne eşdeğer uzun bir zaman sürecinde farklı malzemelerin denizel koşullara nasıl tepki vereceğini, deniz yapıları tasarımcısı bilmek isteyecektir.

Malzemenin yaşlanması konusunda yayımlanan çalışmalar, özellikle uzay endüstrisi için üretilen yüksek performanslı malzemeleri konu almışlardır (Springer, 1981; Wolff, 1993). Bu çalışmalar ilgi çekici olmakla birlikte, denizel kompozitler için birçok nedenden ötürü doğrudan uygulanabilir değildir. Denizel kompozitlerle uzay ve havacılık endüstrisinde yararlanılan kompozitler arasındaki en önemli fark çalışma ortamlarıdır. Uzay ve havacılık endüstrisi uygulamaları için sıklıkla uygulanan testlerde, çevresel koşullar %100 bağıl nem ve 93°C sıcaklıktır. Denizel uygulamalar göz önüne alındığında, cam geçiş sıcaklığı genel olarak 80°C altında olduğundan, sıcaklığı artırarak hızlandırılmış yaşlandırma yapma olasılığı kısıtlıdır.

Hızlandırılmış korozyon testinin birincil amacı test süresini kısaltmak olduğundan, sonuçlardaki bazı hatalar nedeniyle bu amaca ulaşmak her zaman kolay olmamaktadır. Bu probleme en iyi örneklerden biri, malzemelerin, kaplamaların ya

da diğerkoruyucu unsurların performansını ön görmek üzere tuz sisinin gelişi güzel kullanımınıdır. Gerçekte, test numunelerinin veya yapı bileşenlerinin, bir kabin içinde atomize hale getirilmiş NaCl çözeltisine maruz bırakılmaları, olumsuz çevre koşullarını oluşturmanın yaygın olarak başvurulan bir yaklaşımdır. Bununla birlikte gerçek uygulama sonuçlarıyla, bu yaklaşımdan elde edilen sonuçların karşılaştırılmasının her zaman uyumlu olmadığı görülmektedir. Bu uyumsuzluk kısmen buharlaşmadan kaynaklanan tuz konsantrasyonu, tuzun yağmurlarla arınmasının güneş ve ultraviyole ışınının, sıcaklığın, çığ oluşma halinin sürekli tuz sisi kabininde dikkate alınamamasından kaynaklanmaktadır. Son yıllarda, döngüsel korozyon testler olarak adlandırılan testler yardımıyla olumsuzluklar giderilmeye çalışılmıştır. Geçmişten bugüne bir çok ülkede, çeşitli test alanlarında açık hava atmosferik korozyon testleri yapılmaktadır (Ailor, 1982). Örneğin Amerika Birleşik Devletlerinde çok sayıda test alanı vardır ve bunlar kırsal, kentsel, endüstriyel ve denizel ortamlardan korozyon test verileri toplamak için oluşturulmuşlardır.

Evrensel olarak kabul görmüş, atmosferik çevreyi tanımlayan ve çevrenin bileşenleri arasında nicelikler, sınırlandırmalar yoktur. Böyle olunca ayrımlar çoğu zaman niteliksel ve yarı niceliksel etmenler temelinde yapılmaktadır. Örneğin denizel çevreler, denizden gelen havadaki tuzun temel korozif bileşen olarak varlığıyla karakterize edilirler. Bunun gibi bileşenleri HO_x, NH₃, Cl₂, O₃ ve H₂S'in düşük konsantrasyonlarda da varolmalarına karşın SO₂'de endüstriyel veya kentsel atmosferi karakterize etmektedir. Yaklaşık elli yıldır gündemde olan kirliliği azaltma teknolojilerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi endüstrileşmiş ülkelerdeki salınımları belirgin bir biçimde azaltılmıştır ki bu da nüfusun artışı ile birlikte, şimdiye dek kırsal alan olarak kalmış yerlerin kentleşmesi bir çok atmosfer koşulunun arasındaki farkları daha az belirgin kılmaktadır. Buna karşın, denizel çevre hâlâ temelde tuz içeriğine göre karakterize edilmeyi sürdürmektedir.

Ambler ve Bain'in öncü çalışmaları (Ambler ve Bain, 1955) deniz atmosferinin tuzluluğuyla yüksek karbonlu çeliklerin korozyona uğraması arasında, güçlü bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Çeliğin kütle kaybı, korozyon oranına göre tuzlulukla bir log-log ilişki olarak Nijerya ve Birleşik Krallık'ta test edilen gemi

temelinde ortaya konmuştur. Ayrıca deniz kıyısından kara içlerine doğru mesafenin tuz içeriğine ve dolayısıyla korozyona etkisi bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Ambler ve Bain, 1955; Duncan ve Ballance, 1988; King ve O'Brien, 1995; Morcillo, Chico, Otero ve Mariaca, 1999). Atmosferdeki tuz içeriğinin ilk kilometrede belirgin bir biçimde düşmekle birlikte, kıyı hattının şekillerinin, akıntıların dağılımlarının ve hava akımlarının zaman zaman havadaki tuzun 30 kilometreyi aşan uzaklıklara ulaşmasına neden oldukları bildirilmektedir (Ailor, 1982).

Havanın içerdiği tuz oranının önemine rağmen, korozyon oluşmasını etkileyen başka bir çok önemli etmen vardır. Diğer etmenlerin yanı sıra yüzeyde elektrik var olduğu zaman metaller ve alaşımlar, metal olmayan (grafit gibi bazı malzemelerde de) elektrokimyasal reaksiyonlar görüldüğünden, ıslanma zamanı korozyon üzerinde çok güçlü bir etki ortaya koymaktadır. Bununla birlikte korozyon, ıslanma zamanı, bağıl nem, tuz içeriğinin suyla ilişkisi, yüzey sıcaklığı ve çığ noktası gibi koşullara bağlıdır. Bundan dolayı, malzemenin üzerinde oluşan korozyonun etmenleri arasında karmaşık bir ilişkiler ağı söz konusudur. Yerel iklim dahi oldukça değişkendir. Günlük, mevsimsel, yıllık ve insana özgü değişimler yaşanmaktadır. Bu nedenle tek bir değişkenin katkısını ayırıştırabilmek güç bir işe dönüşmektedir. Buna rağmen; özellikle ekonominin imkan verdiği ölçüde çok sayıda etmeni ve sıklıkla izlemek önem taşımaktadır. Ancak böylelikle daha güvenilir ve anlamlı veri analizleri ve olası düzenlemelere ilişkin beklentileri karşılayabilecek veriler toplanabilir.

Denizde uzun zaman alan testleri yapabilmek nadiren mümkün olduğundan, hızlandırılmış laboratuvar simülasyonları ile birlikte daha önceki tasarımlardan edinilen bilgiler birleştirilerek, çevresel koşullara karşı davranışlara ilişkin tahminlerde kullanılmaktadır. Distile edilmiş su, laboratuvar ortamında üretilip ideal koşullar oluşturulabildiğinden, yapılan çalışmaların birçoğunda yaşlandırma ortamında distile su kullanılmıştır. Sadece bazı araştırmacılar, deniz suyunda yaşlandırma ile distile su ile yaşlandırılmış kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Lagrange, Melennec ve Jacquemet (1991), farklı cam takviyeli kompozit malzemeler için distile su ve deniz suyu ortamlarında,

difüzyon hızını karşılaştırmış ve distile su ortamı içinde su tutumunda artışın olduğunu ama ilk başlangıç difüzyon hızlarının benzerlik gösterdiğini saptamıştır. Vinilester kompozitler için ise üç aylık distile suda bekletildiklerinde yapay deniz suyuna göre daha fazla kütle artışı olduğu Grant (1991), tarafından belirtilmiştir. Vinilester, temelli kompozitleri çevreden nem almaya yatkın kılan, moleküllerin üzerinde çok sayıda hidroksil gruplara sahiptir. Bu tür nem alma matrisin hacimsel genişlemesine ve matris-elyaf arayüzeyinde ayrışmaya yol açar (Mallick, 1993; Liao, Schultheisz, Hunston ve Brinson, 1998; Selzer ve Friedrich, 1997; Shin ve diğer., 1996). Ayrıca yüksek sıcaklıklarda da matrisin termal ayrışımını hızlandırıcı etkisi vardır (Kelen, 1983; Xiao ve Shanahan, 1997). Bu etkiler malzemenin uzun süreye yayılı dayanımını ve hizmet performansını da azaltacaktır (Buck, Lischer ve Nemat-Nasser, 1997; Kelen, 1983; Liao ve diğer., 1998; Mallick, 1993; Selzer ve Friedrich, 1997; Shin ve diğer., 1996; Xiao ve Shanahan, 1997) ve tüm yapının beklenenden çok daha önce hasara uğramasına neden olacaktır. Dolayısıyla kompozitlerin nitelikleri üzerinde çevrenin etkisiyle birlikte, nem alma davranışları üzerinde çalışmak önem taşımaktadır.

Birçok yaşlandırma çalışmalarının, 70°C ve üstündeki sıcaklıklarda ve bir, iki gün veya birkaç hafta gibi kısa zaman periyotlarında daldırma işleminin uygulanması şeklinde, yürütüldüğü rapor edilmiştir. Örneğin Apicella, Migliaresi, Nicolais, Iaccarino ve Roccotelli (1983), polyester ve cam elyaf takviyeli kompozitleri 20°C ve 90°C sıcaklığında 50 gün incelemiştir. Uzunca yaşlandırma süreçleri için veriler bulunsa da 70°C'de laboratuvar koşullarında yaşlandırma ile 30 yıl doğal yaşlanma sonuçları arasındaki korelasyonun detaylı özetini sunan Gutierrez, LeLay ve Hoarau (1983), yaptığı sıradışı bir çalışmadır. Su içerisinde dört farklı sıcaklıkta (5°C, 20°C, 40°C ve 60 °C) ve 2 yıl süresince distile su içinde yaşlandırma çalışmasının detaylı sonuçları, Choqueuse, Davies, Mazeas ve Baizeau (1997), tarafından sunulmuştur.

Strait, Karasek ve Amateau (1992), iki farklı cam elyafı ile güçlendirilmiş epoksi kompozitin deniz suyunda bekletilmesinin, çarpma direnci üzerindeki etkisi incelemiştir. Bu çalışmada incelenen malzemelerden birincisi sürekli-dikişsiz E-cam elyafı ile güçlendirilmiş alışılagelmiş bir epoksi, ikincisi örgü E-cam elyaf ile

güçlendirilmiş (deniz uygulamaları için özel olarak üretilmiş) kauçuk ile toklaştırılmış epoksi reçinedir. Alışıl gelmiş epoksi sistemde, emilen nemin matris malzemesinde plastizasyon oluşturması nedeniyle, başlangıç hasarı için gereken enerji oluşmuş ve suyun içine daldırmayı takiben belirgin bir şekilde artmıştır. Her iki cam/epoksi sistemde taşıyabilecekleri en yüksek yük ve bu yükte sönmeyecekleri enerji; nemin endüklediği elyaflardaki ve elyaf/matris ara yüzündeki aşınma nedeniyle, zaafa uğramıştır. Alışıl gelmiş epoksi sisteminde en yüksek yükte sönmeyeceği enerji suya daldırılmayı takiben azalmıştır. Toplam sönmelenen enerji deniz suyuna daldırılmanın ardından, her iki cam elyafı/epoksi sistem için de belirgin bir şekilde azalmıştır. Elde edilen sonuçlar, nemin endüklediği aşınmanın cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin, çarpma direncini belirgin bir şekilde düşürdüğünü göstermektedir.

Weitsman (1995), kompozitlerin ıslak yaşlandırma çalışmalarını özetlemiştir ve bulunan öngörme metotlarının su emme mekanizmasını açıklamak için yeterli olduğunu fakat dayanımı ele alamadığının sonucuna varmıştır. Pritchard ve Speake (1987), su emme verileri ile polyester laminasyondaki özelliklerin değişimini deneysel verilere dayanarak öngörmeyi başarmışlardır. Bunlara göre, çekme ve eğilme modülü ve mukavemeti ile katmanlararası kesme mukavemeti genel olarak yaşlanmaya bağlı aşınmayı karakterize etmekte kullanılan mekanik parametrelerdir. Bu parametreler tasarımın farklı yönlerinde, emniyet faktörü olarak dikkate alınmaktadır. Kompozit yapılarda kullanılabilir gerilim aralığının tasarımda uygulanması, hasarın ortaya çıkmasını sınırlayan bir önlemdir. Yapıların denizde uzun süreli kullanımı / uzun işletme ömrü için, çevresel faktörlerin hasarı başlatma ve büyütme hızı belirlenmelidir. Malzeme seçiminde dikkate alınması gereken bu parametreler ile ilgili veriler henüz karşılaştırmaya temel olacak yeterlilikte değildir. Cam takviyeli kompozitlerin denizel yaşlanması sonucu oluşan aşınmaya ve delaminasyona, dayanımını anlamak için bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Kenig, Moshonov, Shucrun ve Marom (1989); Davies, Pomies ve Carlsson (1996), kesme kırılması tokluğu üzerinde çalışmışlardır. Delaminasyon, potansiyel hasar mekanizmalarından sadece biridir. Mikro çatlakların ve kırılma hasarlarının oluşum mekanizmalarını karakterize edebilmek için hasar mekanizmaları anlaşılmalı

çalışılmıştır. Hasar mekanizması parametrelerinden biri olarak açıklanan elastik modüldeki aşınma, ilgili termodinamik kuvvetlerin bir fonksiyondur. Mikro ölçekli hasar mekanizmasında, matris malzemedeki mikro çatlaklar, elyaf ile matrisin ayrışması ve elyaf kırılması ön plandadır. Orta ölçekli hasar modelinde ise etmenler daha karmaşık bir şekilde çalışır ve hasar oluşumu deneysel gerilme-gerinim eğrileriyle tanımlanır. Yükleme altında hasar oluştuğunda, kompozit malzeme rijitliğini kaybeder, doğrusal ve elastik olmayan cevap verir ve yük kalktığında ise kalıcı gerilmeler oluşur (Ladeveze, 1991).

Elyaf takviyeli polimerlerin mekanik özellikleri, çok iyi bilindiği gibi çevrelerindeki sudan (üretimleri, depolanmaları ve uzun süreç içinde işletilmeleri aşamalarında malzemenin giderek artan bir şekilde içine işleyen) çok etkilenir (Shen ve Springer, 1976; 1977).

Su emilimi genellikle deneysel olarak gravimetrik metotla saptanır. Bonniau ve Bunsell (1981); Dewimille ve Bunsell (1982), çeşitli difüzyon modelleri kullanılarak nem – su emme kinetiği tarif ettiler. Örneğin Fickian difüzyon modeli, nemli ortamlarda yaşlanma durumu gibi, geniş bir uygulama alanında kullanılır.

Bünyeye toplanmış suyun mekanik etkileri, genellikle göreceli olarak yüksek sıcaklıklardaki suyun içine daldırılmadan önce ve sonra yapılan kompozit üzerindeki kırılma dirençleri ve kırılma yüzeyleri analizleriyle değerlendirilmektedir. Bir çok deney sonuçları yardımıyla da işaret edildiği gibi mekanik performanstaki düşme temelde elyaf/matris ara yüzeyinin yük taşıma kapasitesindeki azalmadan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, (bir bütün olarak numuneyi ele alan) kırılma kesitleri temelindeki bu değerlendirmelerin, yüzeyler arası aşınma konusunda sadece dolaylı bilgi verebileceği söylenmektedir. Bunun için anılan aşınmayla ilgili doğrudan bilginin elde edilebileceği bir yöntem olarak, lazer Ramon mikrospektroskopinin kullanılmasını önermektedirler (Amer ve Koczak, 1995; Filiou, Galiotis ve Batchelder, 1992; Huang ve Young, 1996; Schadler, Laird, Melanitis, Galiotis ve Figueroa, 1992; Sato, Tatsuda ve Kurauchi, 1992; Melanitis, Galiotis, Tetlow ve Davies, 1993; Vlatta ve Galiotis, 1991; Wood, Huang, Young ve

Marom, 1995; Wu ve Colomban, 1997). Tekniğin ilkesi bir lazer ışını altında içteki cam kristallerinin titreşimi neticesinde oluşan güçlü Ramon saçılması temeline dayanmaktadır ve Ramon spektrumunun frekansı uygulanan gerilme ve gerinme ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Yaşlanmanın genel sonucu ise örnek olarak mekanik özelliklerde düşüştür (katılık, nihai mukavemet, vb.) (Bonniau ve Bunsell, 1981; Dewimille ve Bunsell, 1982; Ghorbel, 1990; L v que, Schieffer, Mavel, Chemineau ve Maire, 2002; Weitsman ve Guo, 2002). Bu aşınmanın nedeni, matristeki değişimler ve cam elyaf-matris ara yüzünde aşınma olarak açıklanabilir. Aşınmanın tersinir olup olmadığının tespiti de önem taşımaktadır. Kurutma işleminde su emiliminin etkileri ve ağırlık değişimi tersinir olabilecektir. Eğer kompozitin karakterinde belirgin değişimlerin olduğu yaşlanma sürecinde gözlemlenirse ve ağır yaşlanma koşullarında hasar meydana gelirse, tersinirlik kaybedebilir (Zhou ve Lucas, 1999).

Kompozit davranışını doğru olarak değerlendirmek için çapraz katlı laminasyonda mikro çatlakların değerlendirilmesi gereklidir (Renard, Favre ve Jeggy, 1993). Kompozit içine su yayınımı, su konsantrasyonunun dağılımı ve su yoğunluğu, malzemenin su içinde nemli hava içinde olmasına göre çok daha fazladır. Bu nedenle daldırmanın etkileri, %100 bağıl nem koşulundaki etkilerle aynı olması beklenemez.

Farklı bir çalışmada ise öncelikle su emilimi kadar tek yönlü örneklerin farklı nem koşullarında, su salma kinetiğinin saptanması anlatılmaktadır. Su emilimi fonksiyonunun farklı parametrelerinin değişimini saptamak amacıyla, mekanik testlerin yapıldığı bu çalışma, farklı koşullarda, çapraz katmanlı laminasyonların hasar kinetiği incelenmiştir. Sonuç olarak: yaşlanma sürecinde herhangi bir zamanda malzeme özelliklerini öngörecek bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir (Mercier, Bunsell, Castaing ve Renard, (2008).

Zhou ve Zhong (2004), çalışmalarında sıcak/nemli ve soğuk/kuru ortamlar döngüsü cam-vinilester kompozit numunelere uygulamışlardır. Bu higrotermal

döngülerin kullanımı, kompozitlerin karşılaşılabileceği sert sıcaklık ve nem koşullarını benzeştirebilmek içindir. Ortamlara maruz kalma sırasında kompozitin nem alma davranışları karakterize edilmiş ve higrotermal etkilerin kompozitin mekanik özellikleri, cam geçiş sıcaklığı ve ısı ayrışması üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Suyun, vinil ester ve polyester matrisli cam elyaf kompozitlerin davranışları üzerindeki etkilerini anlamak için yapılan çalışmada, anılan matrisli mat kompozitler için iki farklı sıcaklıkta çalışılmıştır. Cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve banyo sıcaklığı ve çözünebilir özütlerin plastikleşmesine olanak tanınması, malzeme davranışına bağlı olarak belirlenir. Zayıf elyaf matris arayüzeyleri SEM ile incelenmiştir. Matris durumundaki doymamış polyester, yüksek suya yatkın karakterdedir ve boş hacmi olduğundan daha fazla su emer. Su içinde ve yüksek sıcaklıklarda bekletilen kompozitin mekanik özellikleri (eğilme momenti ve arayüzey kesme mukavemeti) dikkate değer düşmektedir. Kauçuk durumundaki kompozitte ise daldırma sonrasında daha yüksek olası çapraz bağların yoğunluğu artması, bazı malzemelerin özütlendiğini gösterir (Fraga, Alvarez, Vazquez ve De la Osa, 2003).

Düşük moleküler ağırlıklı çözeltilerin polimerler ve kompozitler tarafından emilmesi, malzemenin bütün özellikleri üzerinde belirgin bir etki doğurur. Emilmiş nemin, cam geçiş sıcaklığını (T_g), polimer ağını plastikleştirerek düşürdüğü ve ayrıca mekanik performansı ve ömrü etkilediği bilinmektedir (Apicella, Nicolais, Astarita ve Drioli 1979; Apicella, Nicolais ve De Cataldis, 1985; Apicella ve Nicolais, 1981; Ashbee ve Wyatt, 1969; Browing, 1978; Hull, 1992; Koros ve Paul, 1980; Loos ve Springer, 1979; Mikols, Seferis, Apicella ve Nicolais, 1982; Moy ve Karasz, 1980). Basma mukavemeti ve katmanlar arası kesme mukavemeti özellikle yüksek sıcaklıklarda, bünyeye alınan nemden belirgin bir şekilde etkilenir. Dahası bu nem, hidrojen bağlarının kuvvetini azaltarak, kırılmanın oluşması ve ilerlemesi için çekirdek oluşma alanı oluşturur. Epoksi kompozit sistemler özelinde ise, bu malzemelerin yüksek mekanik özellikleri yüksek nemli ortamlardan bünyeye alınan nemden güçlü bir şekilde etkilenmektedir.

Sıcaklık arttığında, kompozit numunenin bünyesine daha yüksek su alımı olacak ve dengeye ulaşmak daha kısa sürede gerçekleşecektir (Apicella ve diğer., 1979 ve 1981; Apicella ve Nicolais, 1981;1984). Bununla birlikte, ilki dengeye ulaştıktan sonra numuneler tekrar farklı sıcaklıklara maruz kalırlarsa, anormal bir higrotermal davranış göstereceklerdir. Başka bir deyişle, su alımı dengesi, isotermler sıcaklıklarda su alınımında oransal bir olgu ile basitçe açıklamak mümkün değildir. Örneğin, numune iki sıcaklık arasında bir ısı döngüsüne maruz kaldığında, sıcaklığın artmasına rağmen, bünyeye alınan suyun miktarı düşebilir ve numune daha önceki su alımı denge değerlerine geri döner, veya bunun tam tersi de yaşanabilir. Buna ilaveten, bu sıcaklıktaki su alımı dengesi, görüldüğü kadarıyla polimer matrisin çapraz bağlı ağ yapısında geri dönülmez hasar nedeniyle, higrotermal döngüyle birlikte gittikçe artan su alımı göstermektedir (Mikols ve diğer., 1982). Polimer matrisin fiziksel gevşemesi kendine özgü eş ısı sıcaklıklarda gerçekleşmektedir ve bunun sonucunda ikincil bir denge ya da suyu bünyeye alma davranışlarında anormal bir geçiş sergiler.

Polimer malzemelerin bünyesine aldığı suyun, kuramsal olarak ikiye ayrılmış farklı fiziksel durumda olduğu göz önüne alınabilir. Çapraz bağlı sucul (hidrofilik) polimer jeller için "serbest su" formunda bulunan su, genellikle donma noktasında donar ve 'bağlı su' olarak anılan diğer su da hidrojen-bağ etkileşimiyle yakın ilişki içindedir. Bağlı suyun miktarının sıcaklıkla ters orantılı olduğu ve T_g 'nin düşürülmesiyle orantılı olduğu raporlanmıştır (Moy ve Karasz, 1980; Zhang, Britt ve Tung, 1999). Polimerlerin ters-osmosis uygulamasında geçirgenlik, bağlı suyun kısmi ayrışmasına bağlıdır (Chang, Chen ve Tobolsky, 1974).

Özelde içeriye sızan eğer su ise, suyun yüksek tutunma enerjisi polimerlerin kümeleşmesine ve bunu takiben mikro boşlukların geri döndürülerek mikro hasarına yol açacaktır (Zimm, 1953; Zimm ve Lundberg, 1956). Bundan dolayı, bünyeye alınan su epoksiler için plastikleştirici ve bozucu (mikrokavitasyon) ajan olarak göz önüne alınır (Apicella ve diğer., 1979; Apicella ve diğer., 1985; Apicella ve Nicolais, 1985; Mikols ve diğer., 1982). Plastikleştirme etkisi suyu bünyeye alma / bünyeden salma aşamalarıyla geri dönüştürülebilir bir etki gibi görülse de mikroboşluklar

çatlak oluşturma gibi geri dönüşsüz hasarlara yol açmaları, başlangıçtaki malzeme özelliklerinden önemli sapmalar anlamına gelir.

Suh ve diğer (2001), çalışmasının amacı epoksi/karbon elyaf kompozitlerin farklı higrotermal döngü koşullarındaki suyu, bünyeye alma dengesi davranışlarını araştırmaktır. Araştırdıkları epoksi/kompozit sistemlerin serbest ve bağlı suları higrotermal deneyler yardımıyla, sıcaklığın bir bağlamı olarak sayısal anlamda ifade edilebilmişlerdir ve çift modlu bünyeye su alma kuramı, su alımı dengesini sıcaklığa bağımlı analiz etmek için kullanılmıştır.

De la Osa, Alvarez, Fraga, Mammone ve Vazquez (2006), farklı elyaf katmanlarının vinilester kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkileri konusunda deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Mat, tek yönlü ve çift yönlü cam elyaflar kullanarak 80°C’ de yaşlandırma deneyleri yapılmıştır. Suda bekleme zamanının bir fonksiyonu olarak, eğilme mukavemetindeki değişim gözlenmiş bu anlamda mukavemet ve cam geçiş sıcaklığı (Tg) azalması arasında ilişki kurulabileceği anlaşılmıştır. Elyafın tek yönlü olması, arayüzey direncinde ve mata göre kesme direncinde de belirgin bir iyileşme görülmektedir.

Weitsman ve Guo (2002), yaptıkları çalışmada, elyafın ve matrisin su emme sürecinden etkilenmedikleri ama katmanların yapışmasındaki etkinliğin kaybına neden oldukları gösterilmiştir. Deneyler 20°C, 40°C ve 60°C’de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve ıslanma-kuruma döngüsü ile su emmenin artışının görüldüğü çalışmada, SEM incelemelerinde elyaf-matris tutunmasının yükselen sıcaklıkla azaldığını göstermiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan kompozitler, döngülerden daha fazla etkilenmişler ve matris- elyaf arayüzeyinde yapışmanın azaldığı gözlemlenmiştir. Sıvıların su emme, su salma ve yeniden su emmedeki davranışlarının birbirinden farklı olduğunu gözlemlenmiştir. Bu anlamda önerdikleri mekanizmada; elyaf-matris arayüzeyinde gözlemlenen mikrokırıkların varlığı, hidrotermal ve/veya mekanik kalıcı gerilmelere bağlanmaktadır. Bu mikro kırıklar ilk olarak numunenin merkezinde absorpsiyonun başlamasından sonra tespit edilebilmiştir. Numunenin

sınırlarına yakın bölgelerdeki mikro çatlakların su salımının başlangıcında oluştuğu saptanmıştır.

Epoksi reçinelerin içine, nemin girmesinin kompozitin mekanik özelliklerine zararlı etkileri olduğu bilinmektedir (Boinard ve Pethrick, 2005; Lekatou, Faidi, Ghidaoui, Lyon ve Newman, 1997). Epoksi reçinenin içine su nüfuz etmesi matrisin elastisite modülünün düşmesine neden olur. T_g sıcaklığının altındaki taşınım olayında öncelikle, polimer ağ içine su difüzyon eder. Vakuollerin (içi sıvı dolu boşlukların) yüzeyindeki nemin absorpsiyonunu, camsı yapıdaki boş hacimler belirler. Hidrofil grupların arasındaki hidrojen bağ oluşumu hidroksil ve amin grupların polimer zincirine ve su moleküllerine tutunmasıyla ilgilidir. Reçine içindeki uygun boş hacimler ve buna ilave olarak yüzeysel hatalar ve mikro boşluklar suyun denge konsantrasyonunu etkiler. Epoksi reçinede dağılan su molekülleri hidrofil gruplarına, özellikle hidrosil ve amin gruplarına güçlü H bağı ile bağlanırlar.

Pavlidou ve Papaspyrides (2003), kompozitlerde arayüzey mukavemetiyle birlikte, cam elyaf ve polysterin su emme ve yeniden emme davranışları üzerinde çalışmışlardır. Su emmenin etkilerini ve bu malzemelerin bozulma davranışlarını kısa kırış deneyleri yardımıyla analiz etmişlerdir. Güçlü bir arayüzeyin, matris-egemen emme davranışına öncülük etiği sonucuna varmışlardır. Diğer bir yandan, daha önceki su emme döngülerinin neden olduğu matris hasarlarına bağılı olarak, her başarılı emme adımı daha fazla su tutmaya neden olmaktadır. Eğer arayüzey zayıfsa, su penetrasyonu kolaylaşmakta ve kompozit içinde arayüz-egemen su emme gerçekleşmektedir. Bu tersinir bir olaydır. Belirgin farklılıklar göstermeden başarılı su emme ve yeniden emmenin biçimlendirdiği arayüzeyin, mekanik güçlenme gösterdiği görülmüştür.

Ivanova, Pethrick ve Affrossman (2000), dinamik mekanik termal analiz ve dielektrik spektropi kullanılarak, kauçuk dolgulu sertleştirilmiş epoksi reçinenin hidrotermal yaşlanması çalışmışlar ve hidrotermal geçmişinden bağımsız olarak, numunelerin su emme doyunluğunun su salmaya ve kütlenin denge değerine bağılı olduğunu ispat etmişlerdir.

Bao ve Yee (2002), başarılı absorpsiyon ve reabsorpsiyon ve suyun plastikleştirme etkileri ile bismaleimid reçinelerin davranışlarını çalıştılar.

De la Osa, Alvarez, Fraga, Mammone ve Vazquez (2007), yaptıkları bu çalışmada döngüsel absorpsiyonun, cam matı elyaflardan oluşan polimer matrislerin mekanik özelliklerine etkisini incelediler. Döngüsel absorpsiyonun, kimyasal yapılara etkilerini analiz etmek için, iki farklı matris olarak vinil ester ve epoksi kullanılmıştır.

Kürlenme, üç boyutlu çapraz bağlı termoset yapıdaki sertleştirici ile epoksi reçinenin tepkimeye girmesiyle sıvı halden jelleşmesi ve takiben katılaşma sürecidir. Epoksi reçinelerde kürlenme, sertleştirici, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Kompozit malzemenin matrisini oluşturan epoksi reçinenin, nihai sertlik ve mekanik özelliklerine kavuşması polimer zincirin tamamlanmasıyla oluşur. Post kürlenme, katılaşma sonrası üç boyutlu polimer zincir oluşumunun kısa sürede tamamlanması ve mekanik özelliklerin iyileşmesi için uygulanır (Eliss, 1993). Post kürlenme yapılması kullanılan epoksinin mekanik özellikleri geliştirdiği görülmüştür Post kürlenme sürecinde sıcaklık ve zaman, numunelerin mekanik özellikleri değiştiren faktörlerdir.

Sıcaklık, yapısal epoksi yapıştırıcıların uygulama sınırlarını belirleyen temel çevresel etmenlerden biridir. Malzeme, cam geçiş sıcaklığına (T_g) eşit veya üstünde bir sıcaklığa ulaştığında niteliklerinde ani değişiklikler oluşur; sert ve görece olarak gevrek bir halden kauçuk benzeri bir hale geçer. Bununla birlikte, bu değer sadece uygulanabilirliği sınırlandırır çünkü, katı bir halden viskos bir hale geçiş belli bir (10-20°C arasında değişen) sıcaklık aralığında devam eden bir süreçtir (Michels, Widmann, Czaderski, Allahvirdizadeh ve Motavalli, 2015).

Epoksi yapıştırıcıların mukavemet ve katılık gibi mekanik özellikleri kürlenme koşullarından doğrudan etkilenmekte ve bu süreçte polimer zincirlerinin karşılıklı bağlanması gerçekleşmektedir. Kürlenme ısı bu anlamda önemli bir rol oynamaktadır (Michels ve diğer., 2015; Moussa, Vassilopoulos ve Keller, 2012).

Dahası, epoksi yapıştırıcıların tipine bağlı olarak malzeme ilk k rlenmesinden daha yüksek bir sıcaklığa maruz kaldığında, genellikle kürlenme sonrası bir işleyiş (post-curing) gözlenmektedir. Kürlenme sonrası bu aşamada, malzemenin mekanik değerleri artabilir (Moussa, Vassilopoulos, de Castro ve Keller, 2012; Silva, Fernandes, Sena-Cruz, Azenha ve Barros, 2014). Aynı süre epoksinin maruz kaldığı sıcaklıkların geçici bir süre T_g 'yi aşması halinde olur, aynı zamanda T_g değerinin kendisi de yükselebilir. Ayrıca, yapıştırıcının T_g üzerindeki sıcaklıktan T_g altındaki bir sıcaklığa soğuması, kendi mekanik özelliklerine tekrar kavuşmasına yardımcı olacaktır (Moussa, de Castro ve diğer., 2012).

Nem, tuzluluk ve UV işını gibi diğer çevresel etmenler yaşlanmaya ve bunu takiben de mekanik özelliklerinin azalmasıyla yapıştırıcının uzun vadedeki performansının düşmesine yol açarlar (Frigione, Naddeo ve Acierno, 2001). Nem ve su emilimi fiziksel ve kimyasal dönüşümlerin bir sonucu olarak, niteliklerde değişimlere yol açabilirler (El Yagoubi, Lubineau, Saghir, Verdu ve Askari, 2014; Lettieri ve Frigione, 2012). Epoksi yapıştırıcılar, su moleküllerini cezbedici kutupsal gruplar içerdikleri için suyu emerler. Bunun sonucunda, su plastikleştirme yoluyla polimer niteliklerini değiştirebilir. Bu olgu, katılık ve mukavemette dikkate değer bir düşmeye neden olur dahası (eğer hidroliz ya da kırık varsa) su termoset reçinelerin tersinmez bir şekilde mekanik davranışlarını değiştirir (Cabral-Fonseca, Correia, Rodrigues ve Branco, 2012; El Yagoubi ve diğer., 2014; Lettieri ve Frigione, 2012; Merdas, Thominette, Tcharkhtchi ve Verdu, 2002). Epoksilerin hidrolizi, zincir ayrılmasını da içeren moleküler düzeyde kimyasal tepkimeleri de içerir. Su emmenin etkisinin nem düzeyinin %75'i geçtiği hallerde, zararlı olacağı konusunda bir değerlendirme yapılabilir (Lettieri ve Frigione, 2012). El Yagoubi ve diğer., (2014) bir ısıl döngü içindeki anhidrid k rlenmeli epoksi konusunda, deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmadaki döngü, 12 saat 70  C'de %90 bağıl neme maruziyeti takiben 15 dakika -40  C bir sıcaklık şeklinindedir ve döngü sayısı en fazla 3000'dir. Araştırmacılar su alınıminin, epoksinin suya daldırılmasını takiben kütlenin hızla % 1 oranında arttığı gözlemlenmiştir. İlk 200 döngüde T_g 'de % 13'l k bir azalmaya ve ardından 250 ve 1000 döngülerinde yavaş bir şekilde tekrardan artışa yol açmıştır. Bundan sonra T_g yaşlandırma eyleminin sonuna dek sabit kalmıştır. Bu çalışmanın

araştırmacıları, yaşlandırma işlemi sũresince elastisite modũlũ ile T_g arasında bir ilişki olduğunu gũzlemlemiřlerdir.

Cabral-Fonseca, Nunes, Rodrigue ve Eusébiob (2009), tarafından yapılan çalışmada bazı epoksi yapıştırıcı numuneleri, aşağıda belirtilen farklı çevresel koşullarda 18 ay bekletilmişlerdir:

- Sũrekli yoğunlaştırma (%100 bağıl nem)
- Mineralleri giderilmiş suya daldırma
- Tuzlu suya daldırma
- Alkali çözeltiye daldırma

Anılan evresel koşullarda 40 °C ve 60 °C sıcaklıklara tabi tutuldular. Sonuçlar her tũrlũ yukardaki daldırma çeşitlerinin mekanik özelliklerde dũřuře neden olduğu ve yũksek sıcaklıkların da ayrıca aşınmaya neden olduğunu gũstermiřtir. Alkali çözeltiye daldırmanın, çekme mukavemetinde yaklaşık %14'lũk bir azalmaya yol açan en olumsuz koşula karşılık geldiği de gũrũlmũřtũr.

Yang, Xian ve Karbhari (2008), Cabral-Fonseca ve diğer., (2009) tarafından yapılan aynı deneyleri 24 aylık bir sũrece yaymışlardır. Araştırmacılar, 60°C'deki deiyonize edilmiş suya numunelerin daldırılmasının, ilk altı aylık sũrecin sonunda mukavemetlerinde (%69) ve elastisite modũllerinde (%68) belirgin bir dũřuře neden olduğunu gũrmũřlerdir. Belirtilen bu durum, diğer koşullardan (deiyonize edilmiş suda 23°C ve 38°C'de; tuzlu suda ve alkali bir özeltide 23°C'de) daha olumsuz bir olguya işaret etmektedir. Bu dũřuřũn temel nedeni olarak, numunelerin maruz kaldığı sıcaklık gũsterilmektedir. Diğer araştırmacılar gibi (Cabral-Fonseca ve diğer., 2009; Nogueira ve diğer., 2001; Yang ve diğer., 2008) yayılma, ie işleme oranını arttıran ve aşınmayı arttıran etmenin sıcaklık olduğunu belirtmişlerdir.

Lin ve Chen (2005), ise (bir epoksi sisteminin) nem alma, kaybetme ve tekrar alma karakteristiklerini (mekanik değerler ũzerindeki etkisini), incelemek ũzere

hidrotermal bir yaşlandırma araştırması yapmışlardır. Aşağıdaki koşullarda numuneler üzerinde, eş eksenli çekme testleri uygulamışlardır.

- Yaşlandırılmamış
- Doygun (85° C ve % 85 bağıl nem) olarak hidrotermal koşullarda ön-koşullandırılmış
- Nemi tamamen giderilmiş (85° C'deki sıcaklık koşullarında kurutulmuş)
- Tekrar doyunlaştırılmış (85° C/ %85 bağıl nem hidrotermal koşullarda tekrar ön-koşullandırılmış)

Araştırmacılar, elastisite modülünün ve çekme mukavemetinin sırasıyla %42 ve %54 oranında, tekrar nem alma koşullarında düştüğünü göstermişlerdir. Ayrıca görüntüleme çalışmalarında, yaşlandırılmamış ve doyun numunelerin nem alması gevrekten süneğe doğru polimer hasarına yol açtığı görülmüştür.

1.3 Denizel Yapılarda Kompozit Bağlantılar

Kompozit bağlantıların, yapıların tasarımında kritik bir öneme sahip olmasının nedeni, malzemenin özelliklerinde daha da önemlisi yapının geometrisinde farklılık yaratarak yüksek yerel gerilmeler oluşturmalarıdır. Tasarımda ilk adım, yüzey hazırlığı ve yüzeylerin bağlantı biçiminin seçilmesidir. Adams ve Wake (1984), çalışmalarında bir çok farklı bağlantı tipini, tasarımcıların kullanımına sunmuşlardır. Sıklıkla kullanılan bağlantılar:

- Tek karşılıklı
- Çift karşılıklı
- Çift eğimli
- Kademeli karşılıklı

Sıcak ve ıslak çalışma ortamında, statik ve dinamik yüklere maruz kalabilecek kompozit yapıştırılmalı bir bağlantının ön dizayn süreci, Chamis ve Murthy (1991), tarafından tanımlanmıştır.

Yapıştırma ile birleştirilen bindirmeli bağlantılar, farklı yöntemler kullanan birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmalar, sıyırma ve kesme gerilmelerinin üst üste binme boyunca düzgün dağılmadığını ve bağlantının sonlarına yaklaştıkça, değişimlerinin hızla yükseldiğini göstermektedir. Tahmin edilebilecek bu durumu deneysel olarak doğrulamak için farklı araştırmacılar tarafından çeşitli teknikler kullanılmıştır (Anderson, Robertson, Peterson ve Dillard, 1994; Dillard, Anderson ve Davis, 1989; Tsai ve Morton, 1993; Tong, Sheppard ve Kelly (1996). Dillard ve diğer., (1989) ile Anderson ve diğer., (1994) piezoelektrik sensör geliştirerek bunu yapışkan tabakaya, tek bindirmeli bir bağlantı ve uç uca bir bağlantının sensör alanı üzerindeki ortalama sıyırma gerilmesini ölçmek için, gömmüşlerdir. Bu tekniğin dinamik bir yükleme gereksinmesi ve sıcaklık sınırlamaları olmasına rağmen ölçülen ve hesaplanan sıyırma gerilmeleri arasında noktasal temelde, uygun örtüşmelerin olduğu gözlenmiştir. Tsai ve Morton (1993), ise bir tek bindirmeli bağlantının bir yan görünüşünden, deplasman alanlarını ölçmek için Moire saçak tekniğini kullanmıştır. Bu çalışmayla, deneysel ve kuramsal kestirimler arasında sadece yapıştırıcıdaki kesme gerilmelerinin bir doğrulaması olabilmıştır, bindirme ucuna yaklaştıkça sıyırma gerilmelerinde uyum yoktur.

Bağlantının geometrisi, bağlantıyı oluşturan parçaların ve yapıştırıcısının mekanik özellikleri, bağlantının gerilme dağılımını etkilemekte, bağlantının yük altındaki mukavemetini belirlemektedir. Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde, üst üste binmiş karşılıkların uçlarındaki kalınlık boyunca doğan gerilmeler önemli bir olgudur. Uçlarda kompozit malzeme zayıf olduğundan yüksek mukavemetli bağlantılar yapıldığında hasar, yapıştırıcıdan önce kompozit yapıda oluşur. Gerilme yığılmasını minimuma indirerek bağlantılar tasarlanmalıdır. Kesme ve basma gerilmeleri artırılırken sıyırma ve yarıma gerilmeleri azaltılmalıdır.

Yapıştırma ile birleştirilmiş çift bindirmeli bir bağlantı için sıyırma gerilmesini doğrulayabilmek için kullanılacak bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, dıştaki yapıştırılan parçanın yüzeye normal deplasmanının holografik çatışma ölçeri tekniği ile ölçülebileceği öngörülmüştür (Baird, Williamson, Clark ve Brown, 1991; Gregory, 1979) Ayrıca, iki dış yapıştırılan parçanın tam anlamıyla örtüştüğü,

hizalandığı ve uçlarda ise örtüşmenin tam olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, uygulamada uzunluklar sıkı bir toleransla birbirlerine yakın tutulsa da, birleştirme işlemi sırasında yapıştırılan iki dış parçanın tam anlamıyla hizalanamayacağı ortadadır.

Tong ve diğer., (1996) yapıştırma ile birleştirilmiş çift bindirmeli bağlantıların mekanik davranışlarıyla ilgili, uçlardaki oturma uyumsuzluklarının etkisini ortaya koyacak sayısal bir çalışma yapmışlardır. Parametrik sonuçlar; uç uyumsuzluğunun yapıştırıcı sıyırılma ve kesme gerilmeleri dikkate değer etkisinin olduğunu (ve yüzeyin normalini doğrultusundaki yer değiştirmesi) göstermektedir. Sıyırma gerilmesi denkleminde uçlardaki uyumsuzluğun etkisi eklenmiştir.

Tong (1997), metal kompozit yapıştırılmalı bağlantılarda kompozitin katmanlı yapısında ve kalınlığı doğrultusunda olan, zayıflık görülen karmaşık hasar mekanizmasını, çalışmıştır. Tasarımcılar bağlantının mukavemetindeki belirsizlikler yüzünden, emniyet katsayılarını yüksek seçerler ve tasarımlarda malzemeyi optimum kullanamazlar. Örnek olarak; bağlantı tasarımında yapılan küçük değişikliklerin, sıyırılma gerilmelerini etkilemesidir. Sıyırılma gerilmelerini azaltmak için yapıştırılacak parçalara farklı şekiller verilerek, farklı bağlantı tiplerinin karşılaştırılması yapılır.

Basit ve etkin olduğu için en yaygın kullanılan tek karşılıklı bağlantının, parça uçlarında ortaya çıkan gerilme yığılımları, en çok karşılaşılan problemlerden biridir. Tek karşılıklı bağlantının parça geometrisi üzerinde çalışmalar (Kim, Kim ve Hong, 2001; Da Silva ve Adams, 2007a; Kaye ve Heller, 2002) ve yapıştırıcı geometrisi üzerinde çalışmalar (Mazumder ve Mallick, 1998; Lang ve Mallick, 1999) ve taşıntı (taşıntı imalat sırasında bağlantı bölgesindeki yapıştırıcının taşan kısımlarını ifade eder) geometrisi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bağlantıyı oluşturan parçaların geometrisini değiştirerek, bağ mukavemetini yükseltmeyi amaçlayan çalışmalar, yapıştırılan parçaların uçlarının açısı ve uçlarının sonundaki kalınlığı bir tasarım parametresi olarak belirlemişlerdir.

Karşılıklı parçaların arasındaki yapıştırıcı katmanından, bir parçayı ayırarak yapılan bağlantı tekniğinde, ortalama mukavemetin arttığı görülmüştür. Ayrışma nedeniyle ağırlığın ve maliyetin azalması sağlanırken, oluşan etkin bağlantı uzunluğunun kısalığı, yorulma hasarını olumsuz etkilemiştir (Lang ve Mallick 1999).

Gerilme yığılmalarının azaltılmasında, taşıntının şekli ve boyutu bir tasarım parametresi olarak çalışılmıştır (Lang ve Mallick, 1999; Wang, Heller ve Rose, 1998; Rispler, Tong, Steven ve Wisnom, 2000; Belingardi, Goglio ve Tarditi, 2002).

Tekdüze gerilme dağılımı düzenlemek, uç bölgelerde gerilme yığılmasını azaltmak için bağlantının yapıştırılmasında birden fazla yapıştırıcı kullanılmış ve değişken modüllürlere sahip yapıştırıcı bölgesi elde edilmiştir (Da Silva ve Adams 2007a ve 2007b; Fitton ve Broughton 2005; Patrick, 1976). Farklı yapıştırıcıların kullanıldığı teknikte, rijit ve gevrek yapıştırıcı orta kesimde bulunurken, esnek ve sünek yapıştırıcı parçaların üst üste binen uçlarında bulunur. Patrick, 1976 bu uygulamanın, deneysel çalışma ile bağlantının performansında dikkate değer iyileşme sağladığını göstermiştir.

Da Silva ve Adams (2007a ve 2007b), teorik ve deneysel olarak farklı iki yapıştırıcı kullanarak üretilen, metal kompozit bağlantıları çalışmışlardır. Yapıştırıcıların ısıl genleşme katsayıları arasında fark büyük olduğunda, bağlantı performansının arttığını göstermişlerdir.

Bağlantı performansının iyileştirilmesi ve karşılıklı bağlantı bölgesindeki yapıştırılan malzemenin modülüsünü değiştirmek için Ganesh, Ramakrishna ve Lee (1998), kompoziti oluşturan elyafı farklı şekillerde yerleştirmiştir. Tek karşılıklı yapıştırıcı bağlantının, yapıştırılan parçasının elastik modülünün yükseltilmesi, maksimum kesme kuvvetinin azalmasına ve yapıştırıcı katmanda gerilmelerin düzgün yayılmasını sağlamıştır. Bu çalışmaya ilave olarak yapıştırılan parçanın biçimsel değişim uygulanarak daha yüksek bağlantı performansına ulaşılmıştır. (Boss, Ganesh ve Lim, 2003).

Isıl yüklere maruz kalan bağlantılarda, yapışan kompozitlerin ve yapıştırıcının ısı ve mekanik özelliklerinin uyumsuzluğu, tüm bağlantı elemanlarında ve özellikle de yapıştırıcı tabakasındaki farklı ısı alanlar, nedeniyle gerilme ve deformasyonlar oluşmaktadır. Yüksek kürlenme sıcaklığında kürlenmiş yapıştırıcılarda, soğurken oluşan yüksek ısı gerilmeleri nedeniyle, düşük sıcaklık uygulamaları için ilk tercih olmamalıdır. Rastogi, Soni ve Nagar (1998), alüminyum – kompozit simetrik çift karşılıklı bağlantının düzgün ısı yüklem uygulanmasıyla oluşan üç boyutlu ısı gerilme dağılımını çalışmışlardır. Ayrışmanın, bağlantı köşelerinden başladığını gözlemlemişlerdir.

Owens ve Lee-Sullivan (2000), kompozit alüminyum bağlantılardaki kırık ilerlemesiyle oluşan rijitlik düşüşünü incelemişlerdir. Tek karşılıklı bağlantılar oda sıcaklığı ve -40°C 'de test edilerek bağlantı rijitliğinin, özellikle yapıştırılan parçaların test sıcaklığında gösterdiği davranıştan, etkilendiği sonucuna varmışlardır.

1.4 Çalışmanın Amacı

Denizel ortamda ıslanma ve kuruma döngüsünün cam takviyeli plastik malzemelerin performansına etkisinin deneysel olarak araştırılmasında; ıslanma ve kuruma döngüsünün oluşturulması ve hazırlanacak numunelerin bu döngüde hızlandırılarak yaşlandırılması çalışmanın genel yöntemini teşkil etmektedir. Çalışılacak malzeme seçilirken öncelikle, metal gövdeli bir teknenin kompozit güverte birleşimi için form geliştirilmiştir. Bu formun kolay uygulanabilir olması için çift karşılıklı bağlantı sistemi kullanılmıştır. Böylece, tekne gövdesine kolaylıkla dikey olarak güverte duvarlarını oluşturacak laminasyonların yapıştırılabilmesi sağlanmıştır. Çift karşılıklı bağlantı numunelerinde; üstüste yapışma uzunluğu, epoksi astar, çelik yüzey pürüzlülüğü ve çift karşılıklı bağlantı numunesinin 24 saatlik ıslanma - kuruma döngüsünde 30, 60, 90 gün yaşlandırılması performans parametresi olarak seçilmiştir. Yaşlandırma için test düzeneği seçiminde denizel ortam koşullarına en uygun olan ortamı, simüle edebilecek test düzenekleri ve cihazları araştırılması yapılmış ve hızlı yaşlandırma yapabilecek bir çevrimsel korozyon test kabini temin edilmiştir. Kabinin programı, birinci fazda ilk 8 saatte

kabin sıcaklığı 45°C'den 60°C'ye çıkartılırken tuz sisi yapılması, ikinci fazda %100 bağıl nemde 8 saat bekleme yapılması, üçüncü fazda kabin sıcaklığının 60°C'den 45°C'ye düşerken 8 saat kurutma yapılması şeklinde, düzenlenmiştir.

Çift karşılıklı bağlantı numunelerinde, performans parametrelerini analiz edebilmek için sekiz adet numune grubu oluşturulmuştur. Her bir numune grubundan üç adet yaşlandırma süreci ve yaşlandırılmamış bir adet kontrol grubu için toplam dört set numune üretilmiştir. Deneysel hataları en aza indirmek için her bir numune grubunda beş adet numune kullanıldığından, toplamda 160 adet numune üretilmiştir.

Bağlantı sisteminin yaşlanmasını anlayabilmek için bağlantının kompozit bileşeni de ayrıca levha olarak üretilip aynı ıslanma - kuruma döngüsüne tabi tutulmuştur. Cam takviyeli epoksi levhaların üç aylık yaşlanma sürecinde kütle artışları ve mekanik performansı testlerle incelenmiştir.

Çift karşılıklı bağlantı numunelerin, 24 saatlik ıslanma döngüsünde 30, 60, 90 gün yaşlandırılmasından sonra, çekme testleri yapılmıştır. Deney sonrası numuneler incelenerek hasar mekanizmaları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Mekanik performansı incelenmiştir. Sonuçların ışığında, çelik – cam takviyeli epoksi çift karşılıklı bağlantı uygulamasında, yararlı olacağı düşünülen değerlendirmeler yapılmıştır.

BÖLÜM İKİ

MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Yöntem

2.1.1 Denizel Çevre Koşullarını Simüle Etmek için Tuzlu Sis ve Çevrimsel Korozyon Test Kabini

Deniz ve kıyı bölgelerinde yapıları etkileyen çevresel koşullar; deniz suyunun yüksek tuzluluğu ve düşük PH değeriyle kimyasal nitelikleri olduğu kadar, yapıya yerleşen deniz canlıları, ultraviyole ışınları, yüksek sıcaklık değerleridir. Bunlara ek olarak ıslanma - kuruma döngüsü de yapının niteliklerini bozan bir etmendir. Uzun bir zaman sürecinde yapıların, anılan bu koşullara nasıl tepki vereceğini, deniz yapıları tasarımcısı öngörme yetisine sahip olmalıdır. Denizde uzun zaman alan testleri yapabilmek nadiren mümkün olduğundan, hızlandırılmış laboratuvar simülasyonları ile birlikte daha önceki tasarımlardan edinilen bilgilerin birleşimiyle kullanılmalıdır. Denizel ortamda ıslanma ve kuruma döngüsünün cam takviyeli plastik malzemelerin performansına etkisinin deneysel olarak araştırılmasında; ıslanma ve kuruma döngüsünün oluşturulması ve hazırlanacak numunelerin, bu döngüde hızlandırılarak yaşlandırılması çalışmanın genel yöntemini teşkil etmektedir. Bu deneyler için test düzeneği seçiminde denizel ortam koşullarına en uygun olan, ortamı simüle edebilecek test düzenekleri ve cihazların araştırılması yapılmış ve hızlı yaşlandırma yapabilecek bir tuzlu su sis kabini alınmasında karar kılınmıştır. Ascot CC 1000ip'nin gereksinimlere yanıt verebilen bir seçenek olduğu görülmüştür.

2.1.1.1 Hızlı Yaşlandırma Test Kabininin Özellikleri

Testlerde kullanılan hızlı yaşlandırma kabininin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Dokunmatik ekran ile çalışan kontrol arayüzü; kolay açılır pnömatik kapak, sızdırmazlık, örnek yükleme ve çıkarma için düşük kabin eşiği; taşınabilir, yüksek kapasiteli tuzlu su çözeltisi rezervuarı; kalibrasyon sertifikası; örnek taşıyıcı raf seti; kabin içi gözlem penceresi; kolay ulaşılır, şeffaf dayanıklı akrilik tuz püskürtme atomizeri; test bitiminde kapak açılmadan önce kabinin içindeki havanın, dışarı atılması olanağı vardır.



Şekil 2.1 Ascott CC 1000ip tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini

Geniş test profilleri ve karmaşık çok adımlı test programları oluşturmak ve saklamak için yazılım; anlama ve kullanma kolaylığı sağlayan sembol temelli arayüz; RJ45 iletişim portu kabinin kablolu ya da kablosuz yerel ağ alanına (LAN) bağlanmasına ve uzaktan programlama için opsiyon yazılım çalıştırma imkanı; kullanıcı tarafından ayarlanabilir gerçek zamanlı saat ile farklı test örnekleri kümelenirilebilir, test süreleri ayrı olarak görüntülenebilir ve önceden ayarlanan test süresi dolduğunda alarm ile uyarı verir (Ascott, 2014). Şekil 2.1’de Ascott CC 1000ip tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininin fotoğrafları görülmektedir.

Yukarıdaki temel özelliklere ilave olarak yaşlandırma sürecinde kullanılan ve ASTM G85 Annex A4 standartının gereksinimlerini karşılamak için SO₂ dozajlama tertibatı ilave edilmiştir. Bu düzenek ile kabine monte edilmiş bir dağıtım tüpü ile ayarlanabilir oranda ve programlanabilir sürede SO₂ gazı verilir (ASTM, 2011).

2.1.1.2 Ascott Test Kabin Modelinin Çalışma Modları ve Performansı

Ascott ÇKT kabinleri olabildiğince farklı çevrimsel korozyon test gereksinimlerini karşılamak için esnek tasarlanmıştır. Standart olarak dört farklı iklimi sağlama kabiliyetine sahiptirler:

- Tuz sisi
- Yoğunlaştırılmış nem (yağmurlama)
- Hava kurutma
- Kontrollü nem

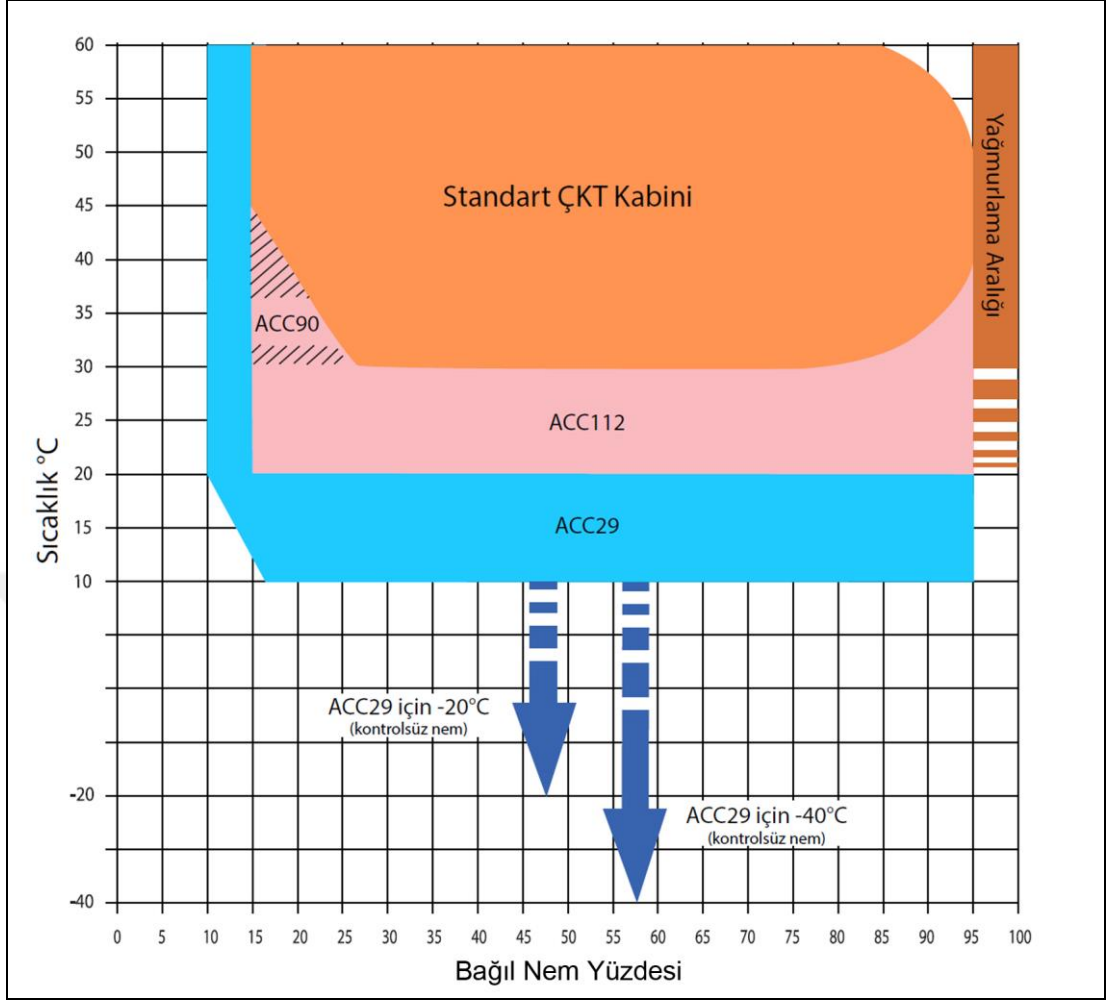
İklimler otomatik olarak sıralı ve tekrarlı olarak programlanabilmektedir.

Yağmurlama modunda sıcaklık aralığı, ortam sıcaklığı ile +60°C arasında ayarlanabilir. Nem aralığı %95 - %100 RH arasında sabitlenebilmektedir.

Tuz sisi modunda sıcaklık aralığı, ortam sıcaklığı ile +50°C arasında ayarlanabilir. Tuz sisi serpinti oranı 80 cm²'ye 0.5 ile 2.5 ml/dakika arasında ayarlanabilir.

Kurutma modu sıcaklık aralığı, ortam sıcaklığı ile +70°C arasında ayarlanabilir. Nem aralığı kurutma modunda kontrol edilmemektedir.

ÇKT kabinlerinin standart sıcaklık/nem aralığı kontrolünü ve bunun ek opsiyonel aksesuarları ile nasıl geliştirilebileceği Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Ascott 2014).

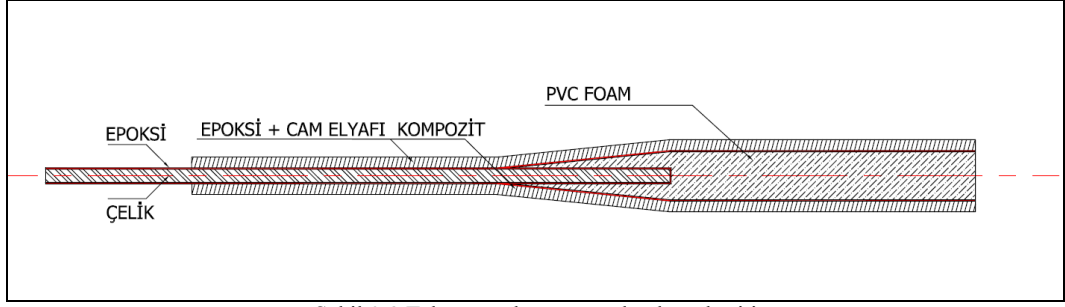


Şekil 2.2 ÇKT kabinlerinin standart sıcaklık/nem aralığı kontrolünü ve bunun ek opsiyonel aksesuarları ile geliştirilmesini göstermektedir.

2.2 Deney Sistematığı

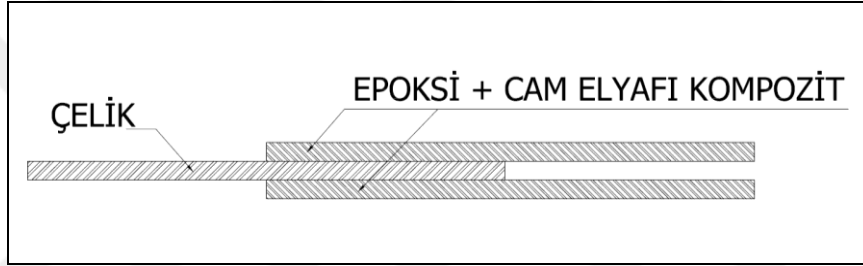
2.2.1 Numune Tasarım ve İmalatı

Çalışılacak malzeme seçilirken öncelikle, metal gövdeli bir teknenin kompozit güverte birleşimi için form geliştirildi (Şekil 2.3). Bu formun kolay uygulanabilir olması için çift karşılıklı bağlantı sistemi kullanılmıştır. Böylece, tekne gövdesine güverte duvarlarının oluşturacak laminasyonların ve kolaylıkla dikey olarak yapıştırılabilmesi sağlanmıştır.



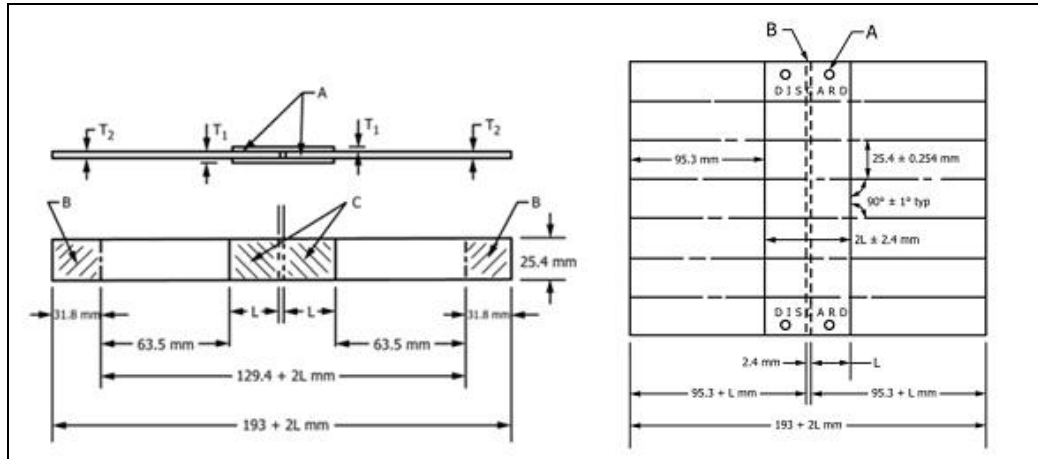
Şekil 2.3 Tekne gövde- güverte bağlantı kesiti

Şekil 2.3'te gösterilen formun taşıyacağı yükler göz önüne alındığında formun yapısal performansını anlamak için epoksi, cam elyafı ve çelik malzemenin imal edilmiş bileşenlerle sadeleştirilmesi gerekecektir. Sadeleştirilen çift karşılıklı bağlantı ise Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



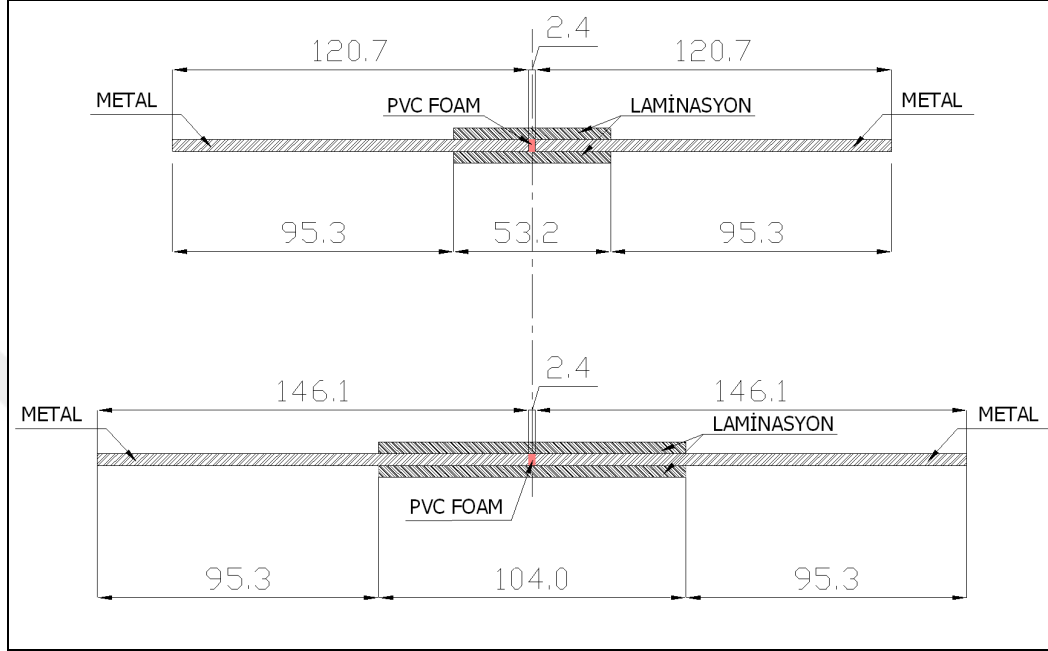
Şekil 2.4 Sadeleştirilen formun çift karşılıklı bağlantısı

Çift karşılıklı bağlantı numuneleri yukardaki sadeleştirme temelinde ASTM D 3528'e göre üretilmiştir (ASTM, 2016). Şekil 2.5'te ASTM standartına göre numune ölçüleri görülmektedir. Bağlantının çelik bileşeni olarak 4 mm kalınlığında St 37 gemi inşaa çeliği kullanılmıştır. Çelik yüzey pürüzlülüğü bir performans parametresi olarak ve iki farklı değerde ($R_z 50 \mu\text{m}$ ve $R_z 90 \mu\text{m}$) göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.5 Çift karşılıklı bağlantının ASTM 3528 standartına göre numune ölçüleri

Anılan standart uyarınca çift karşılıklı bağlantı numunelerinde üstüste yapışma uzunluğu da bir performans parametresi olarak seçilmiş ve $l=25,4$ mm alınmıştır. Bu uzunluğun iki katı bindirme değeri numune üretiminde kullanılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Üretilecek çift karşılıklı bağlantı

Bu sayede yapıştırma alanı ile yaşlandırma arasında bir korelasyon kurulmasına çalışılmıştır. Yaşlandırma süresi; kontrol grubu 0 gün, 30 gün, 60 gün, 90 gün olarak belirlenmiştir. Numune üretiminde dikkate alınan parametreler Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Test numune üretim tablosu

ÖZELLİKLER:		
ÇELİĞİN CAM ELYAF İÇİNDEKİ UZUNLUĞU	2	TİP
ÇİNKO BAZLI EPOKSİ ASTARLI VE ASTARSIZ	2	TİP
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ	2	TİP
ÇEKME DENEYİ	5	ADET
YAŞLANMA DÖNGÜ TİPİ (Kontrol grubu dahil)	4	TİP
TOPLAM ÜRETİLMESİ GEREKEN NUMUNE SAYISI:	160	ADET

2.3 Malzemeler

2.3.1 Gemi İnşaa Çeliği

Çift karşılıklı bağlantı numunelerinin bileşenlerinden, çelik malzeme St 37 A sınıfı gemi inşa çeliğidir ve kalınlığı 4 mm'dir. Ereğli Demir Çelik Fabrikası T.A.Ş. üretimi olan çeliğin üretici kodu 3701'dir. Çeliğin üreticisi tarafından yayınlanan mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir (Erdemir, 2015).

Tablo 2.2 Ereğli Demir Çelik Fabrikası T.A.Ş. tarafından üretilen çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri.

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	R _e N/mm ² (kg/mm ²) min.	R _m ⁽¹⁾ N/mm ² (kg/mm ²)	A ₂₀₀ ⁽²⁾ (%) min.
Standart	Kalite				
ABS-P2	A	3701	235 (24,0)	400-520 (40,8 -53,0)	22

Açıklamalar:

1) Çekme testi değerleri 'enine' test numunelerine uygulanır.

2) Tabloda belirtilen "% Uzama" değerleri, kalınlığı 40 < d ≤ 50 olan malzemeler içindir. 30 < d ≤ 40 mm için 21; 25 < d ≤ 30 mm için 20; 20 < d ≤ 25 mm için 19; 15 < d ≤ 20 mm için 18; 10 < d ≤ 15 mm için 17; 5 < d ≤ 10 mm için 16; d ≤ 5 mm için 14'tür.

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	C maks.	Mn min.	P maks.	S maks.	Si maks.	Al min.
Standart	Kalite							
ABS-P2	A	3701 ⁽¹⁾⁽²⁾	0,21	2,5xC	0,035	0,035	0,50	-

Açıklamalar:

1) C+(Mn/6) maks. %0.40 olmalıdır.

2) Bu kalite ürünler tam durgun olarak üretilmektedir. Bu nedenle Al/N minimum 2:1 oranındadır.

2.3.2 Epoksi

Bağlantının üretilmesinde reçine olarak, Duratek 1000 marka epoksi kullanılmıştır. Bu reçine, kompozit üretimi yöntemi olarak el yatırma, vakum torbalama ve vakum infüzyon tekniklerinin her üçü için de uygundur. Duratek 1000 Sistemi ile üretilmiş parçalar, sıcak kürleme işlemine tutulmadan kalıptan alınabilir. Bu özellik sayesinde, denizcilik sektöründe uygulamalarda kolaylık sağlandığı gibi, üretim kalıbının daha uzun süre kullanılmasına olanak vererek ekonomik fayda sağlar. Duratek Sistemi, DTE 1000 reçine, DTS 1100 serisi sertleştiriciden oluşur.

DTS 1100 en hızlı, DTS 1105 ise en yavaş sertleştiricidir (Duratek, 2015). Numune üretim çalışmalarında uygulamada kolaylık sağlaması ve üretimde reçinenin elyaf katmanlar arasında yayılması için gereken süreyi karşılamak amacıyla, aynı firmanın DTS 1105 sertleştiricisi seçilmiştir. Bu sertleştirici sayesinde, vakum torbalama yönteminde 10 kat elyafın ıslanmasında gerekli zaman sağlanmış olmaktadır. DTE 1000 laminasyon epoksisinin üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri Tablo 2.3'te sunulmaktadır.

Tablo 2.3 DTS 1000 laminasyon epoksisinin üretici firma tarafından verilen teknik özellikleri

REÇİNE		SERTLEŞTİRİCİ				
DTE 1000		DTS 1100		DTS 1105		
Karışım Oranı (Ağırlıkça)		100 + 35		100 + 35		
Yoğunluk (kg/lit) (DIN2811-1)		1,10 ± 0,05		1,10 ± 0,05		
Viskonize (mPas) (ASTM 1545)		900 ± 50		920 ± 50		
REÇİNE		SERTLEŞTİRİCİ				
DTE 1000	DTS 1100	%75 DTS 1100 %25 DTS 1105	%50 DTS 1100 %50 DTS 1105	%25 DTS 1100 %75 DTS 1105	DTS 1105	
Jel Süresi (dak.) (@ 23 °C, 100 ml) DIN 16945	30 - 45	45 - 60	75 - 90	120 - 150	350-400	
Kür. Şartları : 20 °C 48 saat + 50 °C 24 saat					DTE 1000 +	
Özellik		Birim	Test metodu		DTS 1100	DTS 1105
Çekme Dayanımı		N / mm ²	BS EN ISO 527 -2		75,30	67,50
%0,25 Gerilmeye Çekme Modülü		kN / mm ²	BS EN ISO 527 -2		3,20	2,90
%0,50 Gerilmeye Çekme Modülü		kN / mm ²	BS EN ISO 527 -2		3,30	2,90
Kopma Anındaki Uzama		%	BS EN ISO 527 -2		4,27	4,65
Maksimum Yük Anındaki Uzama		%	BS EN ISO 527 -2		3,56	3,90
Barcol Sertliği		-	BS 2782: Part 10:Metod 1001		28	22
Su Emme		mg	ISO 62		34	29

2.3.2.1 Epoksi Astar

Çift karşılıklı bağlantı yapılırken, epoksi astar kullanımının bağlantının mukavemetinin artabileceği öngörülerek, bu unsurda bir performans kriteri olarak çalışmaya eklenmiştir. Bu bağlamda, Duratek firmasının ürünü GR 4480 iki bileşenli, metal yüzeylere uygulanan, yüzey toleranslı, epoksi reçine esaslı bir astar kullanılmıştır (Duratek, 2012). Astarın teknik ve mekanik özellikleri Tablo 2.4'te verilmektedir.

Tablo 2.4 Epoksi astarın teknik ve mekanik özelliklerini gösteren tablo

Bileşen Sayısı	2
Karışım Oranı	A/B
Ağırlıkça	50/50
Karışım Yoğunluğu (g/cm ³ , 20°C) (TS EN ISO 2811-1)	1.40 – 1.60
Karışım Ömrü (saat, 23°C, 100 ml) (DIN 16945)	2 – 3
Karışım Viskozitesi (mPas, 25°C, DIN 53229)	1500 – 2000
Kuruma Süresi (23°C) (TS 4317)	
Dokunma (saat)	6 – 8
Tam Sertleşme (hafta)	1
Çizik Korozyonu (960 saat) (TS ISO 7253)	
Kabarcıklanma (ISO 46 28-2)	0
Paslanma Derecesi (ISO 4628-3)	Ri0
Çatlama Derecesi (ISO 4628-4)	0
Pullanma Derecesi (ISO 4628-5)	0
Darbe Dayanımı (cm) (ASTM D 2794)	~ 20
Bükülme (Silindrik Mandrel) (TS 4328)	2
Konig Sertliği (ASTM D 4366-95)	~90

2.3.3 Laminasyon Elyafı

Numune üretiminde kullanılmak üzere 850 gr/m² ağırlığa sahip multi aksiyel (çok yönlü) [0, -45, +45, 90], dikişli, e-glass elyaf kumaşı kullanılmıştır. Kullanılan elyaf, Metyx imali olup Q850E10B kodlu ürünüdür.

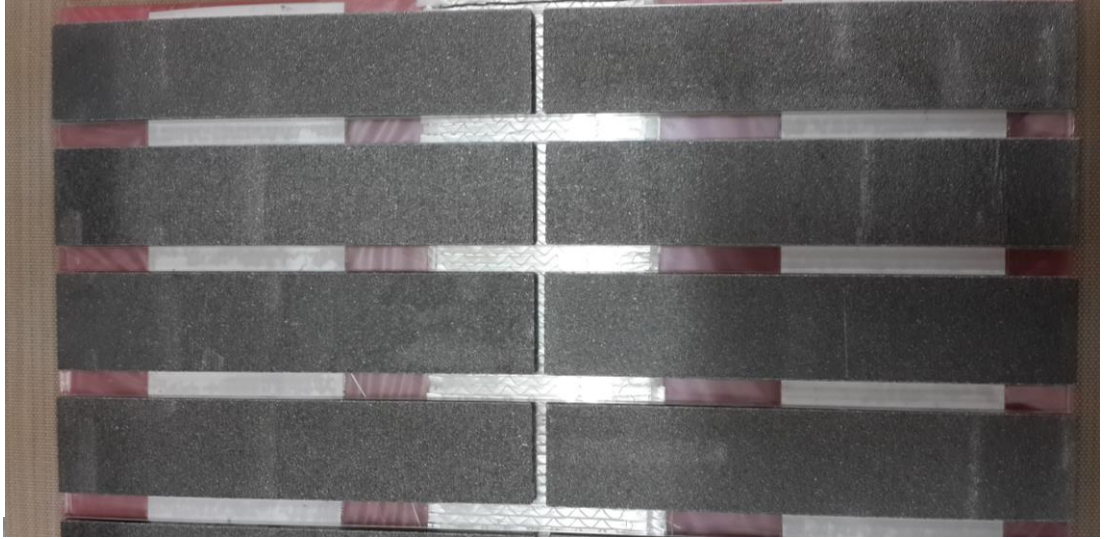
2.4 Numune Üretimi

Numuneler, ASTM D 3528’de verilen ölçülere göre şekillendirilmiştir. (ASTM, 2016). Standartta kompozit ve çelik levhalar birbirine yapıştırıldıktan sonra kesilerek çekme deneyi numuneleri oluşturulmaktadır. Çift karşılıklı bağlantı numuneleri, çelik ve kompozit malzemenin oluşan hibrit bir yapıdır. Bu nedenle malzeme üretimi yapıldıktan sonra, özellikle çelik ve kompozit yüzeylerin birleştiği noktalarda kesim yapılırken yapının ısınması istenmemiştir. Çelik levhanın kesimi sırasında ısı açığa çıkmasını önlemek ve oluşan ısı nedeniyle kompozit malzemenin çelikle oluşturduğu

ara yüzeyde ısı kaynaklı deformasyon oluşabileceği endişesi ile uygulanan üretim yöntemi aşağıda sunulmaktadır.

2.4.1 Numune Üretimi Öncesi Çeliğin Hazırlanması

Kalınlığı 4 mm olan Ereğli Demir Çelik Fabrikası imali 3701 kodlu St 37 A sınıfı gemi inşaa çeliği saç levhalar, nümerik kontrollü laser kesim makinalarında standartlarda belirtilen, iki farklı ölçüde kesilmiştir. 25,4 mm x 120,7 mm ve 25,4 mm x 146,1 mm. Numunelerin çelik plakalardan kesiminde Türk Loydu kuralları uyarınca plakanın kenarından 25 mm mesafesi korunmuştur (Türk Loydu, 2008). Kesilen levhaların kenarları taşlanarak düzeltilmiştir. Levhalara iki farklı yüzey pürüzlendirilmesi yapılmıştır.



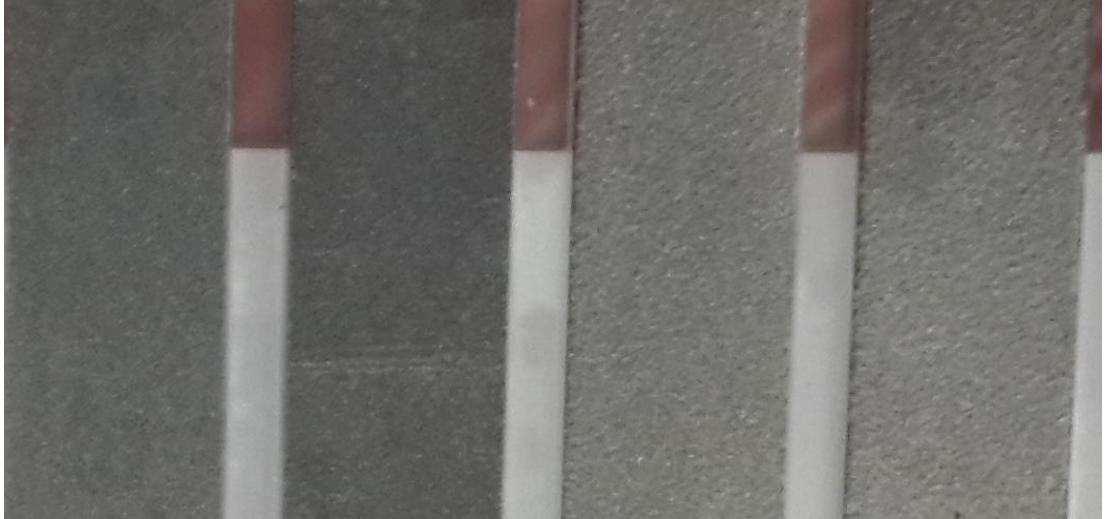
Şekil 2.7 1 mm çaplı çelikle raspalanmış çelik numune örnekleri

Yüzey aşındırma yöntemi uygulamak için ikiye ayrılan çelik numunelere raspa yapılmıştır. Bu bağlamda 1 mm çaplı metal çekirdekler kullanılarak yüzeyde Rz 50 µm pürüzlülük elde edilirken, diğer grupta 2,5 mm çaplı metal çekirdekler kullanılarak çelik yüzeyinde Rz 90 µm pürüzlülüğe ulaşılmıştır. Şekil 2.7’de 1 mm çaplı çelikle raspalanmış çelik numune örnekleri görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü Mitutoyo SJ-301 cihazı ile yapılmıştır Şekil 2.8’de Mitutoyo SJ-301 cihazı görülmektedir.



Şekil 2.8 Numunelerin yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo SJ-301 cihazı ile yapılmıştır

Şekil 2.9 Solda 1 mm çaplı metal çelikle raspanmış numuneler. Sağda 2,5 mm çaplı metal çelikle raspanmış numuneler görülmektedir. Laminasyon öncesinde çeliklerin paslanmasına yol açmadan, çift karşılıklı numunenin üretilmesi amaçlanmıştır. Raspanan numuneler alkol ile silinerek temizlenmiş ve hızlı bir şekilde laminasyona hazır hale getirilmiştir. Epoksi astar uygulanacak çeliklerde ise laminasyondan 24 saat öncesinde raspa işlemi tamamlanmıştır. Raspa yapılan numune çelikleri alkolle silinerek temizlendikten hemen sonra oksitlenme başlanmadan önce epoksi astar uygulanmasına dikkat edilmiştir.

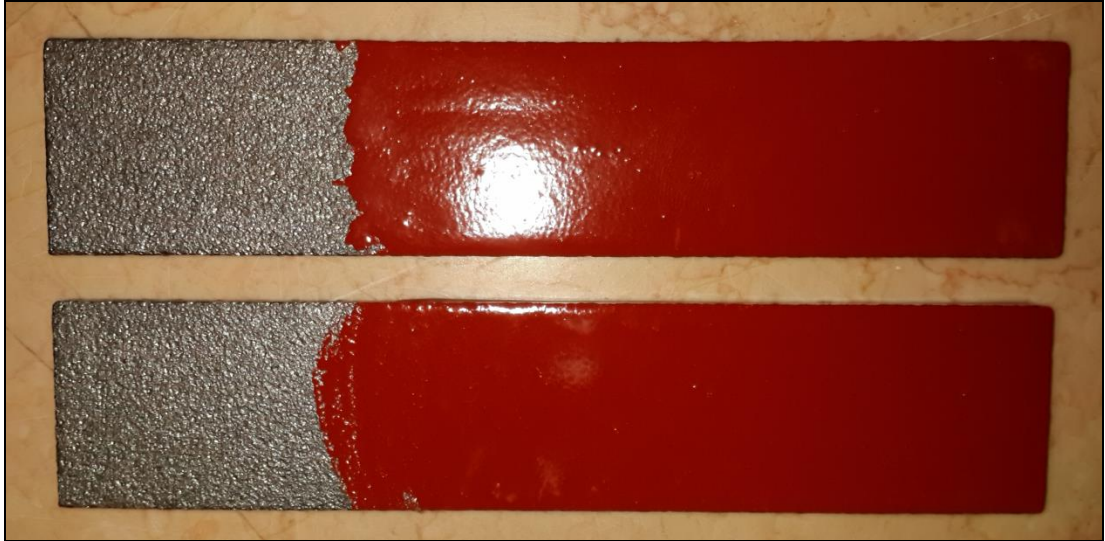


Şekil 2.9 Solda 1 mm çaplı metal çelikle raspanmış numuneler. Sağda 2,5 mm çaplı metal çelikle raspanmış numuneler.

2.4.2 Numune Çeliklerinin Epoksi Astarlanması

İki farklı yüzey temizliği yapılan çelik numunelere astarlama yapılmıştır. Bunlardan birinci grup; 1 mm çelik çekirdeklerle raspa yapılan numunelerdir. İkinci

grup, 2,5 mm çelik çekirdeklerle raspa yapılan numunelerdir. Her iki numune grubu, astar uygulanmasından hemen önce alkollü bez ile silinerek temizlenmiştir. Epoksi astarın A ve B bileşenleri bir elektrikli karıştırıcı ile önce kendi ambalaj kutularında karıştırıldıktan sonra epoksi astar uygulama talimatnamesine göre B kabı içeriği, A kabına ilave edilerek iki bileşen homojen bir karışım oluşturuncaya kadar, beş dakika boyunca karıştırılmıştır. Karıştırılırken hava kabarcığı olmamasına dikkat edilmiştir. Ortam sıcaklığı 26°C’de, epoksi astar yaklaşık olarak 300 dev/dakikada karıştırılmıştır. Hazırlanan astar, numunelere fırça ile uygulanmıştır. Şekil 2.10’da raspalandıktan sonra epoksi astar uygulanmış çelik numune görülmektedir. Uygulamadan 24 saat sonra, astarın sertleşmesi beklendikten sonra, numuneler laminasyonla birbirine birleştirilerek çift karşılıklı bağlantı oluşturulmuştur.



Şekil 2.10 Raspalandıktan sonra epoksi astar uygulanmış çelik numune.

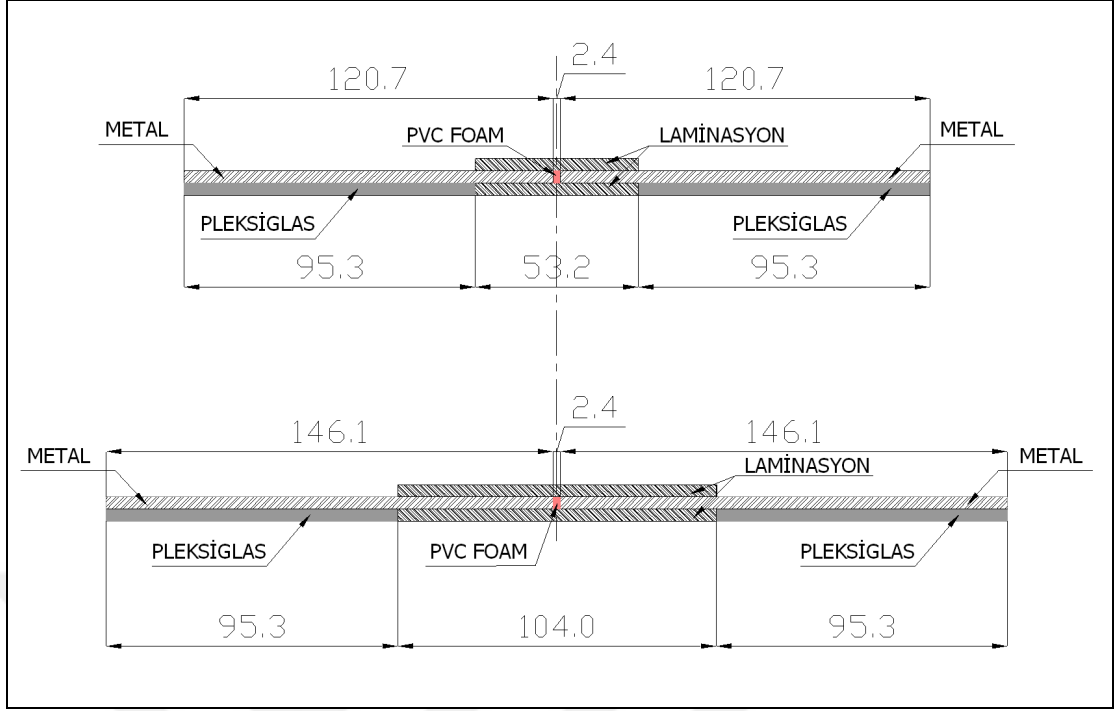
2.4.3 Numunelerin Vakum İnfüzyon Yöntemi İle Üretimi

Numuneler vakum altında infüzyon yöntemiyle üretilmişlerdir. Numuneler kesilirken oluşacak yüksek sıcaklığı önlemek için bütün çelik plaka kullanmak yerine yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

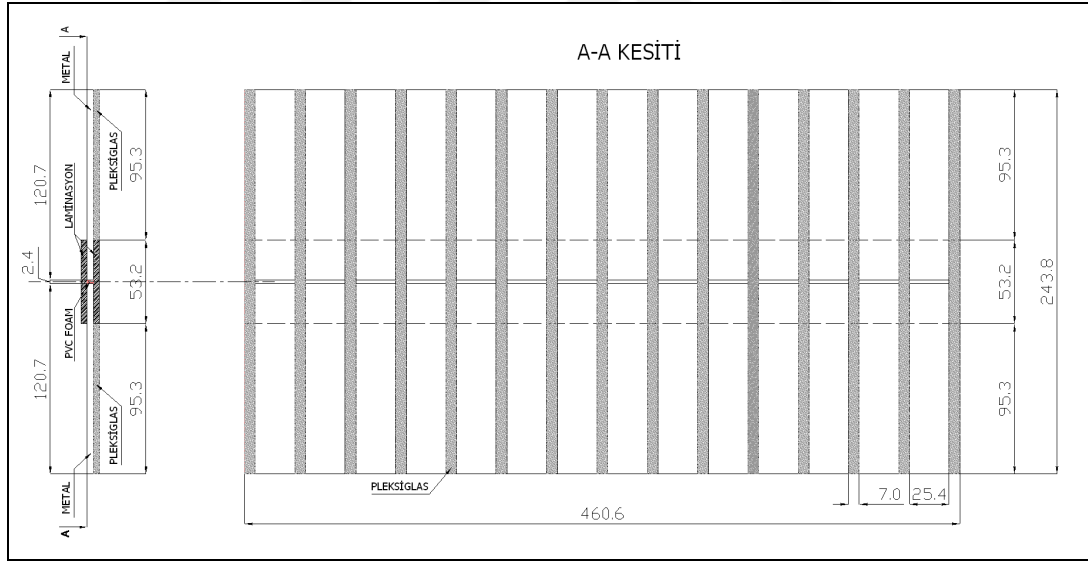
Standarta tarif edilen husus, iki levha çeliğin çift taraflı laminasyonla birleştirilmesinden sonra çekme numunesi boyutlarında kesilmesidir. Bununla

birlikte, özellikle çelik levhanın kesim işlemiyle çıkan ısının epoksi ve cam elyafı kompozit üzerinde olumsuz etkileri olabileceği düşünülmüştür. Ancak su jeti ile kesim yapılırsa ısı açığa çıkmasının engellenebileceği, bununla birlikte yüksek basınçla kesim yapılırken kompozit bileşen ile çelik arasındaki bağlantının zarar görebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, çelik numuneler önceden çekme numunesi ölçülerinde kesildikten sonra çift karşılıklı bağlantının yapılması uygun görülmüştür.

Numuneler vakum altında infüzyon yöntemiyle üretileceğinden, üretim tablası olarak ucuz, taşınabilir ve sızdırmaz olan cam levhalar seçilmiştir. Numunelerin yapışmasını önlemek için, cam teflon yapışmaz bantla kaplanmıştır. Bağlantının formsal olarak standarta uygun biçimde yapılması için çelik numunelerin aynı düzlemde olmaları ve hem alttan, hem de üstten kompozit bileşenlerle birbirine bağlanmaları gerekmektedir. Bu nedenle, hem çelik numunelerin altında laminasyon için boşluk kalması, hem de çelik numunelerin vakum torbalama yöntemiyle laminasyon yaparken sabitlenebilmeleri gerekmektedir. Bunun için 460.6 x 243.8 x 4 mm ölçülerinde kesilen pleksiglas çift taraflı bant ile yapıştırılmıştır. Pleksiglasın kalınlığı, oluşturulacak laminasyon kalınlığıyla aynıdır. Pleksiglastan numunelerin kolayca ayrılması için epoksi yapışmaz malzeme ile kaplanmıştır. Laminasyonda kullanılacak cam elyaflar alt ve üst laminasyonda beşer adet olacak şekilde kesimi yapılmıştır. Cam tabloya sabitlenen pleksiglasların arasına, beş kat elyaf doğrultuları aynı olacak şekilde konulmuştur. Çift karşılıklı bağlantıda kullanılacak çelik levhalar, çift taraflı bantla cam tabloya sabitlenmiş pleksiglasla, karşılıklı olarak dizilmişlerdir. Bu dizim işleminde çelik levhaların uçlarında birbirine 2,4 mm boşluk bırakılmıştır. Bu boşluğa pvc-foam yerleştirilmiştir. Çeliklerin üzerindeki laminasyon tabakasını keserken, çelik numunelere zarar vermemek için karşılıklı çelik levhaların herbirinin arasına, 243,8 x 7 x 4 mm ölçülerinde pleksiglas çubuklar yerleştirilmiştir. Şekil 2.11 Numune üretimi için kullanılacak pleksiglas ile birlikte numune ölçüleri, kesit resim ve Şekil 2.12'de pleksiglass çubukların yerleşimi görülmektedir. Bu çubuklar sayesinde, çeliklerin sıralamasında kolaylık sağlandığı gibi vakum altına alırken formsal düzeni korunmuştur. Dizilen çeliklerin üstüne; laminasyonu oluşturacak cam elyaflar Şekil 2.12'ye uygun olarak dizilmiştir. Uygulamanın bu safhasında çekilen fotoğraf Şekil 2.13(a)'da görülmektedir.



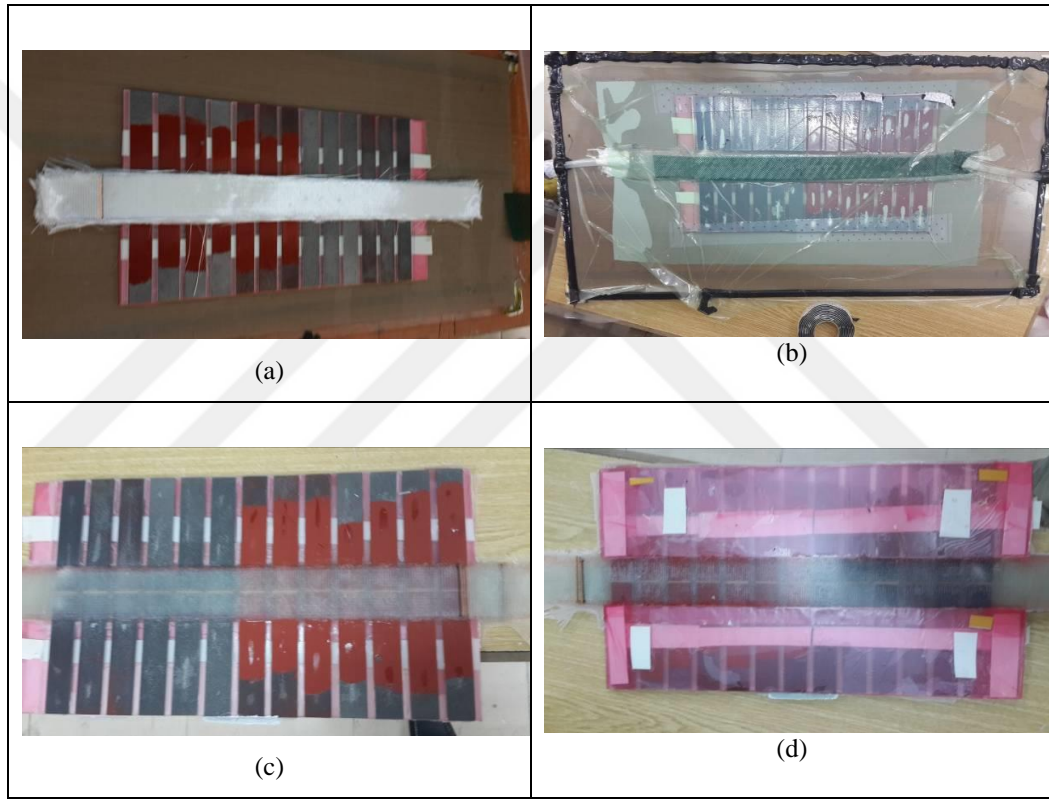
Şekil 2.11 Numune üretimi için kullanılacak pleksiglas ile birlikte numune ölçüleri, kesit resim



Şekil 2.12 Numune üretimi için kullanılacak pleksiglas ile birlikte numune ölçüleri, üst görünüş

Cam elyaflara reçinenin gönderileceği ve diğer taraftan vakum yapılacak borular elyafın içine uçları gelecek şekilde yerleştirilip sabitlenmiştir. Reçinenin düzgün bir biçimde ilerleyerek elyafa nüfuz etmesi için, elyafın üzerine Şekil 2.13(a)'da görülen yeşil file serilmiştir. Son olarak yapışmaz kumaş serildikten sonra tabloya vakum torbası, vakum macunu ile sabitlenmiştir. Vakum altına alınan sistem reçine

verilmeden bir gün bekleddikten sonra, DTS 1000 epoksi reçine ve DTS 1105 yavaş hızlandırıcı karışımı hazırlanmıştır. Karıştırıldıktan sonra reçinede oluşan hava kabarcıklarının tamamıyla çıkmasını sağlamak için, reçine kabı vakum altına alınmıştır. Hazır olan reçine vakum yardımıyla borudan emdirilerek sisteme gönderildikten sonra reçine ilerlemesi bittiğinde her iki boru da hava almaması için kürlenmiştir. Reçinenin kürlenmesi için beklenilmiştir. Reçine k rlenip katılaşma sağlandıktan sonra tabladan s k l p alınmıştır.  ıkan numune dizisinin  n ve arka fotoğrafları Şekil 2.13(c), (d)'de görülmektedir.



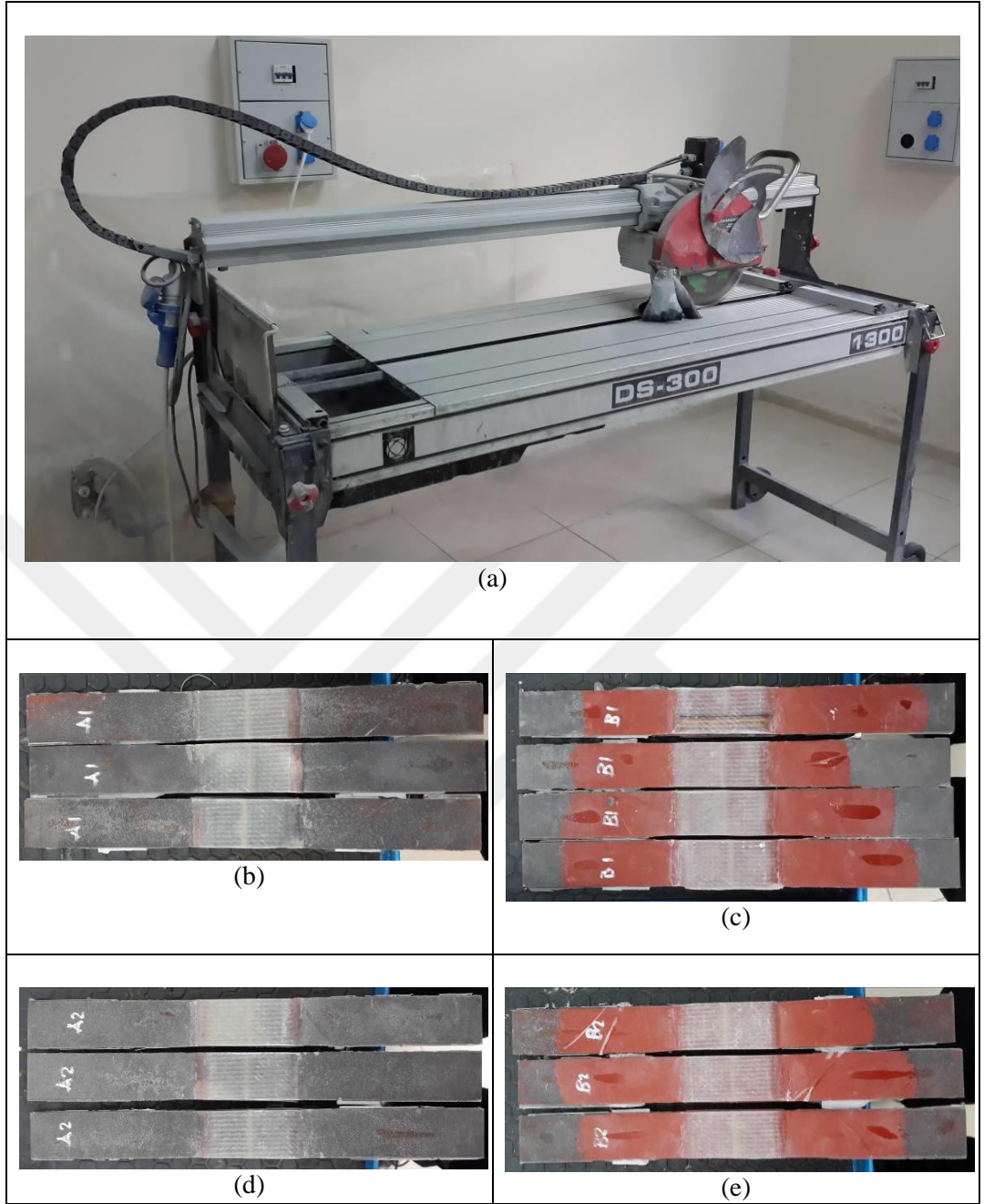
Şekil 2.13 Vakum torbalama yöntemiyle laminasyonun yapım aşamaları

Numuneler oda sıcaklığında kürlenmeye bırakılmıştır. Tekne  retim koşullarına en yakın numune üretimi amaçlandığından; kürlenmenin hızlandırılması için fırında yüksek sıcaklıkta,  n kürlenme yapılması tercih edilmemiŐtir. Şekil 2.14'de üretimi yapılan hibrit çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin tamamı görülmektedir.



Şekil 2.14 Üretilen hibrit çift karşılıklı bağlantı elemanı numuneleri.

Numune dizisi üretildikten sonra Şekil 2.15(a)'da görülen sulu dairesel testere ile pleksiglass çubukların olduğu bölümden kesilmiştir. Bu nedenle, dairesel testerenin bıçağı korunduğu gibi numunelerin kesim sırasında zarar görmesi de önlenmiştir. Numune grupları Şekil 2.15(b), (c), (d), (e)'de görülmektedir. Kesilen numunelerin kompozit uçları da daha sonra taşlanarak düzeltilmiştir.



Şekil 2.15 Numune dizisinin kesilmesinde kullanılan sulu dairesel testere ve kesilmiş numuneler.

2.5 Deney Düzenegi

Deneyler, Trapezium bilgisayar programıyla, veri toplanan ve kontrol edilen Shimadzu Autograph AG-IS serisi universal test cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.16). Çift karşılıklı bağlantının çekme deneyi ASTM D3528 standartına uygun olarak yapılmıştır. Numuneler 1,27 mm / dk'lık hızla çekme testine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.16 Deney düzeneği

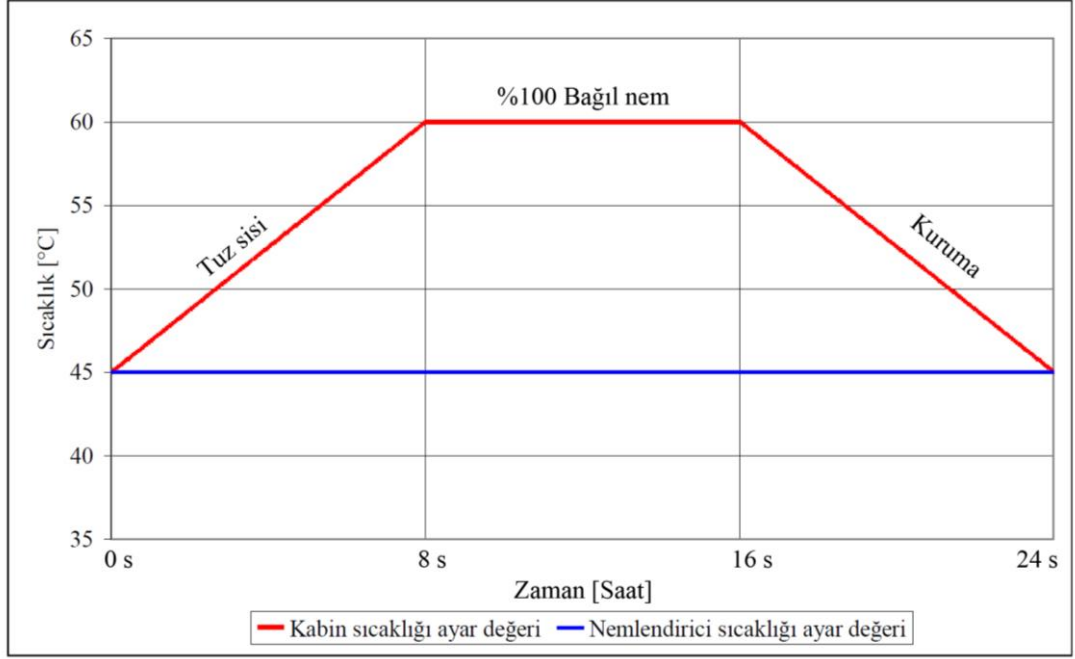
2.6 Denizel Ortamda Islanma ve Kuruma Döngüsünde Bağlantının Yaşlandırılması

Numuneler döngüsel bir yaşlandırma sürecine tabi tutulmuşlardır. Bir günlük yaşlandırma süreci Tablo 2.5’te verilmektedir.

Tablo 2.5 Bir günlük süreç

YAŞLANDIRMA TİPİ	SICAKLIK	SÜRE
TUZ SİSİ (ASTM B 117)	45-60 °C	8 SAAT
% 100 NEM	60 °C	8 SAAT
KURUMA	60-45 °C	8 SAAT

Anılan ıslanma-kuruma döngüsü 24 saatte tamamlanmış ve bu temelde, üç takım numunenin yaşlandırılması 30, 60 ve 90 günlük sürelerde yapılmıştır. Şekil 2.17’de yaşlandırma kabininin 1 gün için kabin ve nemlendirici sıcaklık değerlerinin grafiği görülmektedir.



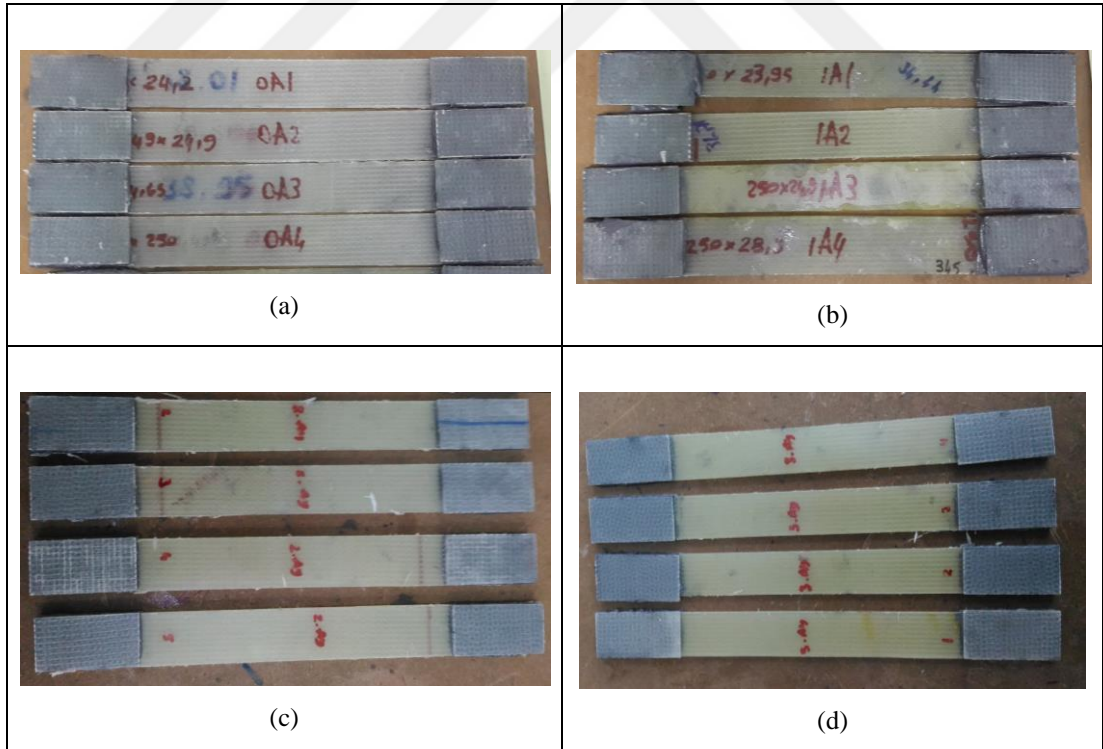
Şekil 2.17 Yaşlandırma kabininin 1 gün için kabin ve nemlendirici sıcaklık değerleri

Yukardaki grafikten de anlaşılacağı üzere 45°C sıcaklıkla başlayan tuz sisi (%2.5 sodyum klorür NaCl çözeltisi) süreci 8 saatlik süre boyunca devam ederken kabin sıcaklığı 60°C’ye çıkararak ‘%100 Nem sahfasına geçmektedir. Numuneler 8 saat boyunca 60°C sıcaklıkta %100 bağıl nemde beklemekte ve ardından iyice 8 saatlik kuruma evresine geçmektedir. Bu evrede, kabin sıcaklığı 8 saat içinde 60°C’den 45°C’ye düşmekte ve bu süre içinde nemlendirici çalışmayarak numuneler kurutulmaktadır.

2.6.1 Cam Takviyeli Plastik Plakaların Yaşlandırılması ve Çekme Testine Hazırlanması

Çift karşılıklı bağlantı elemanı oluşturulmasında kullanılan cam takviyeli epoksi kompozitin aynısı üç plaka halinde yine vakum altında aynı elyaf katları ve

kalınlığında üretimi yapılmıştır. Bu plakalar tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininde 30 gün süresince 24 saatlik ıslanma kuruma döngüsünde bekletilmişlerdir. Bu plakaların kesit kısmından laminasyonun içine tuz ve nemin girişini önlemek için fırça ile 10 kat epoksi sürülerek izole edilmiştir. 30 günlük periyodlar 3 kez tekrarlanmıştır. Her periyod sonunda plakalar hassas terazide ağırlık ölçümleri yapılarak, tuz sisi, nem ve kuruma döngüsü sonucunda plakalardaki kütle artışı belirlenmiştir. Her periyodun sonunda bir plaka mekanik özelliklerinde değişimi saptamak amacıyla çekme testine tabi tutulmuştur. Yaşlandırılmış numunelere ilave olarak mekanik özelliklerdeki değişimi saptamak amacıyla yaşlandırılmamış bir plakadan numuneler oluşturularak aynı testler bunlara da uygulanmıştır. Kenarları epoksi ile kaplı olan yaşlandırılmış plakalar kesilerek ASTM D3039 standartına uygun numune ölçülerine getirilmiştir (ASTM, 2014). Numunenin çekme çenelerine gelecek uç kısımlarının ezilmesini ve kaymasını önlemek amacıyla cam takviyeli plastik parçalar epoksi yapıştırıcıyla yapıştırılmıştır.



Şekil 2.18 Hazırlanmış kompozit çekme numuneleri

Şekil 2.18(a), (b), (c), (d)' de sırasıyla yaşlandırılmamış 0, 30, 60, 90 günlük ıslanma ve kuruma döngüsüne tabi tutulmuş plakalardan hazırlanmış çekme test

numuneleri görülmektedir. Çekme testinde kullanılan hız, çift karşılıklı bağlantı elemanının çekme testinde kullanılan hızın aynısı seçilmiştir. Bu sayede bağlantı elemanın her bir parçasının aynı hızda çekilerek tekil mekanik özelliği belirlenmiştir.

Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini içinde seçilen koşullarda yaşlandırma sürecinde cam takviyeli plastiğe etkileri saptanmaya çalışılarak, hibrit çift karşılıklı bağlantı elemanının yaşlanma sürecine katkısı çekme testlerinden elde edilen veriler ışığında 3. bölümde incelenmiştir.

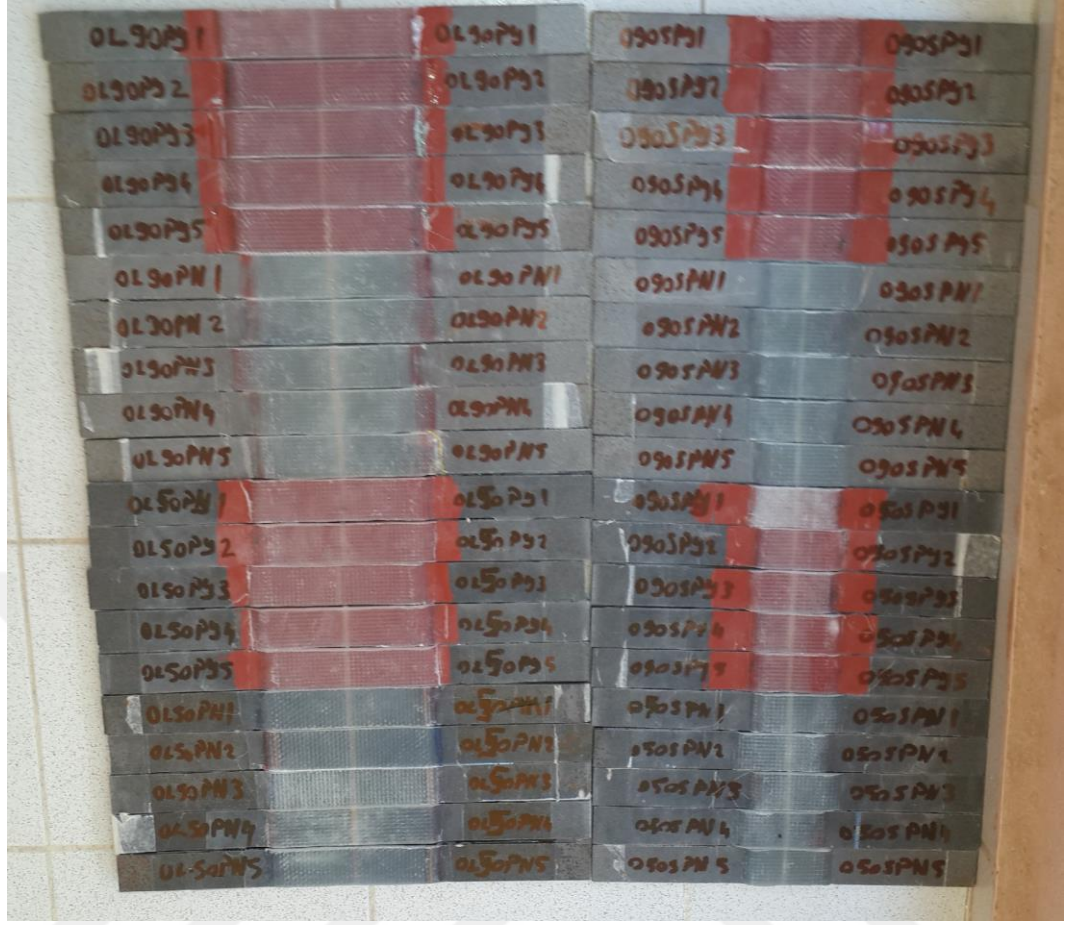
2.6.2 Çelik - CTP Hibrit Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanlarının Yaşlandırılması ve Çekme Testine Hazırlanması

Laminasyonu tamamlanan numune dizileri dairesel testere ile kesildikten sonra laminasyon fazlalıkları taşlanarak numuneler çekme testine hazırlanmıştır. Numuneler üçü yaşlandırma yapılacak gruplara, biri kontrol grubu olacak şekilde 4 gruba ayrılmıştır. Numunelerden yaşlandırılma yapılmayacak olan herbiri beşerli sekiz farklı tipten oluşan toplam 40 adet numune kontrol grubu olarak, ayrılarak çekme testine hazır hale getirilmiştir. Numuneler çekme deneyi öncesinde kodlanarak kolaylık sağlanmıştır. Kodlamaya ait tablo aşağıdadır.

Tablo 2.6 Numunelerin kodlama tablosu

ÖZELLİKLER:		Kod
YAŞLANMA DÖNGÜ TİPİ :	Yaşlandırma yok	0
YAŞLANMA DÖNGÜ TİPİ :	1 ay yaşlandırma	1
YAŞLANMA DÖNGÜ TİPİ :	2 ay yaşlandırma	2
YAŞLANMA DÖNGÜ TİPİ :	3 ay yaşlandırma	3
ÇELİĞİN CAM ELYAF İÇİNDEKİ UZUNLUĞU:	L=25,4mm	S
ÇELİĞİN CAM ELYAF İÇİNDEKİ UZUNLUĞU:	L=50,8mm	L
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ:	Rz=50µm	50
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ:	Rz=90 µm	90
ÇİNKO BAZLI EPOKSİ ASTAR	YOK	PN
ÇİNKO BAZLI EPOKSİ ASTAR	VAR	PY

Tablo 2.6'ya göre kodlaması yapılarak, çekme testine hazırlanan ve kontrol grubunu oluşturan numuneler Şekil 2.19'da görülmektedir.



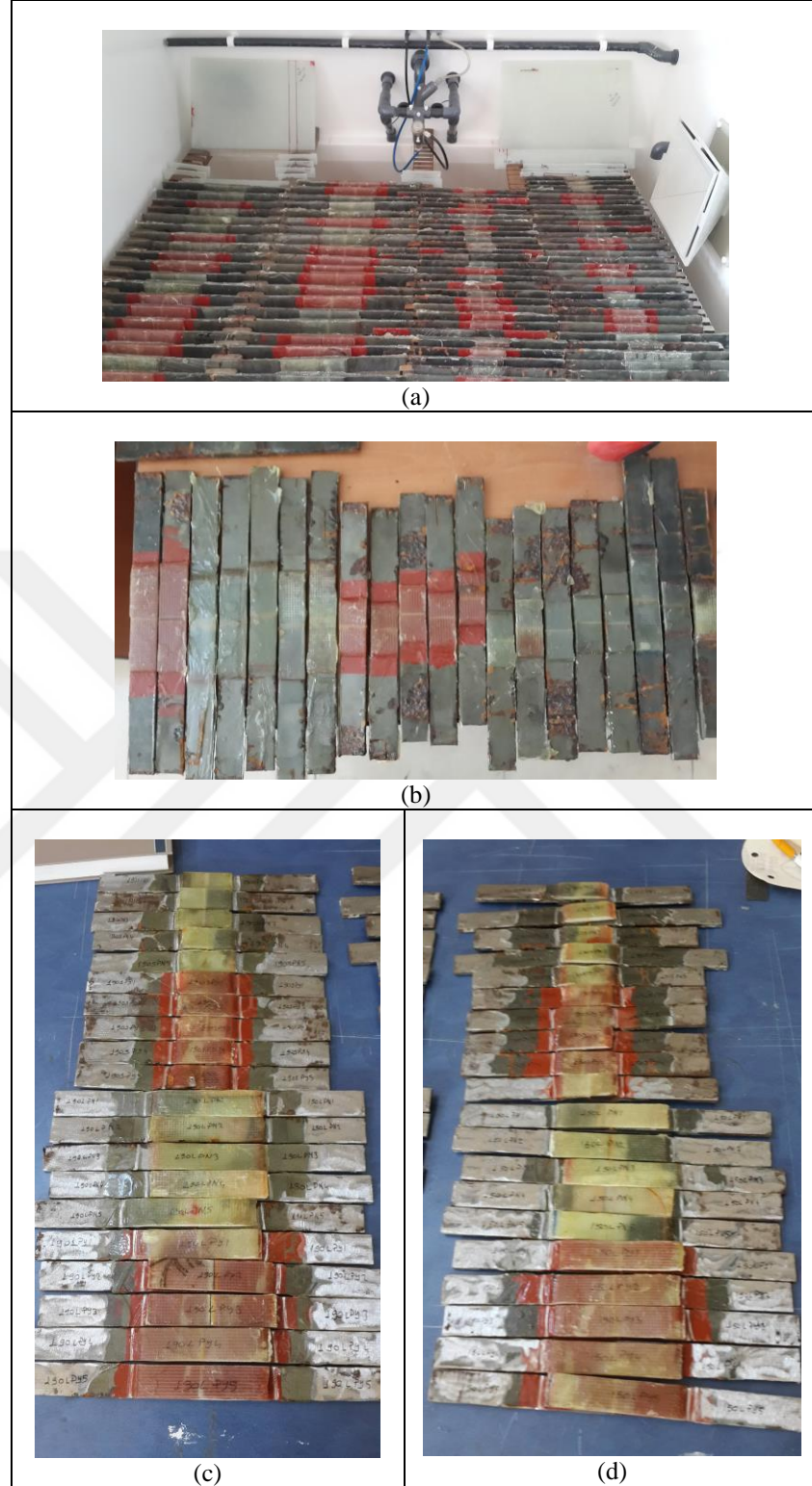
Şekil 2.19 Kontrol grubunu oluşturacak olan ilk numuneler

Yaşlandırma yapılacak hibrit çift karşılıklı bağlantı elemanın çevresel yaşlanmasında yan yüzeylerin ve çelik kısımların korozyondan etkilenmemesi için yalıtılman koruması gerekmektedir. Kullanılan gemi yapı çeliği korumasız bir biçimde tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabine konulduğunda planlanmış olan yaşlandırma çevrimine bir haftadan fazla dayanamayacağından çeliğin de, yalıtılman korunması gerekmektedir. Bu nedenle, tüm numunelerin çelik kısmına ve laminasyon kenarlarına tuz ve nemin girişini önlemek için fırça ile 10 kat epoksi sürülerek izole edilmeye çalışılmıştır. Bu yoğun işlik gerektiren süreçte her bir epoksi katı yeterince serleştikten sonra tekrar epoksi uygulanmıştır. Toplam 120 adet numuneye yukarıda anlatıldığı şekilde epoksi uygulandıktan sonra, üç hafta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sonrasında numuneler tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininin raflarına dizilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini ve raflarına dizilmiş numuneler

Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinde 30 gün süren ıslanma ve kuruma döngüsü sonucu yaşlanan numunelerden, birinci ay için çekme testi yapılmak üzere kabinden alınmıştır. Şekil 2.21(a)'da bir aylık yaşlandırılmış numuneler kabini içerisinde ve Şekil 2.21(b)'de ise korozyona uğramış numuneler görülmektedir. Çekme cihazının çenelerinin kaymaması ve çekme deneyinde yan yüzeylerde bulunan kenarların korozyonunu önlemek için sürülerek oluşturulan epoksi katmanı, çekme deneyinde sonuca tesir etmemesi için taşlanarak temizlenmiştir. Temizlenmiş numunelerin test sonrası görüntüsü Şekil 2.21(c) ve (d)'de görülmektedir.



Şekil 2.21 30 Günlük yaşlandırma sonrası numuneler

Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabinde 60 gün süren ıslanma ve kuruma döngüsü sonucu yaşanan numunelerden, ikinci ay için çekme testi yapılmak üzere kabinden alınmıştır. Şekil 2.22'de iki ay süresince yaşlandırılmış ve korozyona

uğramış numuneler görülmektedir. Numunelerin elik kısımları epoksi kaplı olmasına rağmen numunelerin, elik kısımlarının tamamında epoksi tabakasının altında kabarmalar ve paslanma gözlenmiştir.



şekil 2.22 60 günlük yaşlanma sonrasında sekiz farklı tipten oluşan toplam 40 adet numune

60 gün boyunca ıslanma - kuruma döngüsüne tabi tutulmuş bağlantı elemanlarının çelikleri taşlama yapılarak, üzerindeki epoksi ve pas katmanlarından temizlenmiştir. Çeliklerin yüzeyinde korozyon sonucu çukurlar meydana gelmiştir şekil 2.23. Numunenin yan yüzeylerinde korozyonu önlemek için fırça ile sürülerek oluşturulan epoksi katmanının çekme deneyinde sonuca tesir etmemesi için taşlanarak temizlenmiştir.



Şekil 2.23 60 gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi öncesi görünümü

Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinde 90 gün süren ıslanma ve kuruma döngüsü sonucu yaşlanan numunelerden üçüncü ay için çekme testi yapılmak üzere kabinden alınmıştır. Şekil 2.24(a)'da üç aylık yaşlandırılmış numuneler kabin içerisinde görülmektedir. Şekil 2.24(b), (c)'de korozyona uğramış numunelerin ön görünüşü, Şekil 2.24(d),(e)'de numunelerin yandan görünüşü yer almaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 2.24 90 gün yaşlandırılmış numuneler



Şekil 2.25 90 gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi öncesi görünümü

90 gün boyunca ıslanma - kuruma döngüsüne tabi tutulmuş numunelerin çelikleri taşlama yapılarak üzerindeki epoksi ve pas katmanlarından temizlenmiştir. Taşlama yapılırken özellikle numunelerin ısınmamasına ve cam takviyeli plastiğin ısıdan dolayı renk değiştirmemesine, yanmamasına dikkat edilmiştir. Çeliklerin yüzeyinde korozyon sonucu oluşan çukurların derinliği 60 günde yaşanan numunelere göre artmıştır. Numunenin yan yüzeylerinde korozyon oluşmuş ve bağlantının içine işlemeye başlamıştır. Yan yüzeyler de taşlanarak temizlenmiştir. Şekil 2.25'te 90 gün yaşlandırılmış numunelerin çekme testi öncesi görülmektedir.

BÖLÜM ÜÇ

DENEYSEL SONUÇLAR

Planlanan ıslanma ve kuruma döngüsü, tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininden dakikada iki kez veri alınarak izlenmiş ve Şekil 3.1 ve 3.2’de sunulmuştur.

Cam takviyeli epoksi-çelik çift karşılıklı bağlantı numunelerinin elde edeceği plakalar, kenarları izole edilerek sırasıyla 30, 60, 90 gün yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılan üç set ve bir de kontrol grubu olarak kabul edilen bir set olmak üzere dört setin ağırlık değişim verileri, çekme deneyi sonrası görüntüleri ve deney sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Buna ilave olarak bu CTP numune plakalarından kenarları korozyona açık ve farklı ölçülerde üretilen numunelerin 1, 2, 3 aylık yaşlandırma periyodunda ilk ağırlıklarına göre ağırlık değişim yüzdeleri de sunulmaktadır.

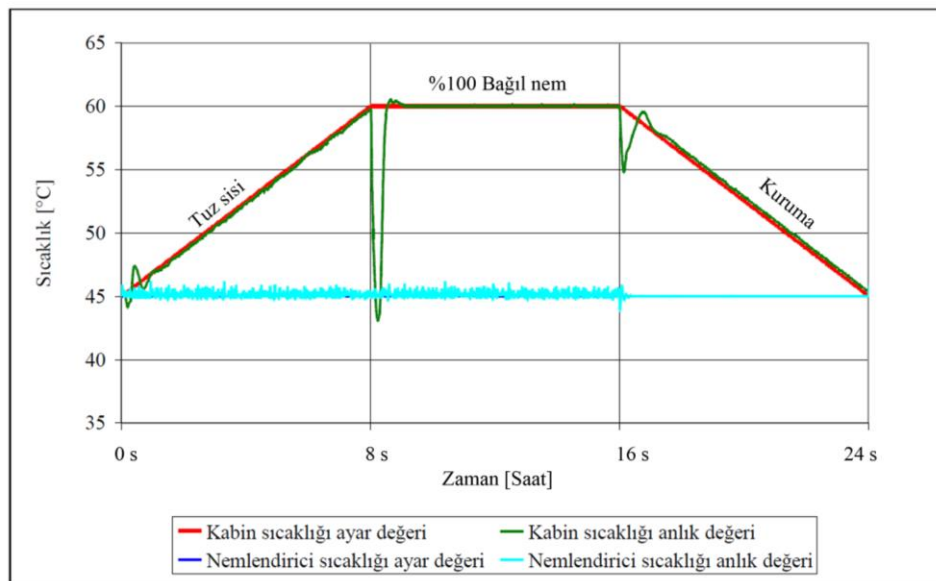
İmalat süreçleri ve tipleri önceki bölümde detaylı anlatılan, her biri farklı özellikler taşıyan bir set 8 grup çift karşılıklı bağlantı numunelerinin çekme deneyi sonrası hasarları anlatan görüntüleri ve deney sonuçları bu bölümde verilmektedir, ayrıca sırasıyla 30, 60, 90 gün yaşlandırılan üç set 8 grup çift karşılıklı bağlantı numunelerinin çekme deneyi sonrası benzer sonuçlar da bu bölümde sunulmaktadır.

Son olarak çift karşılıklı bağlantı elemanının çekme testinde hasarlanmasına ilişkin gözlemler irdelenmektedir.

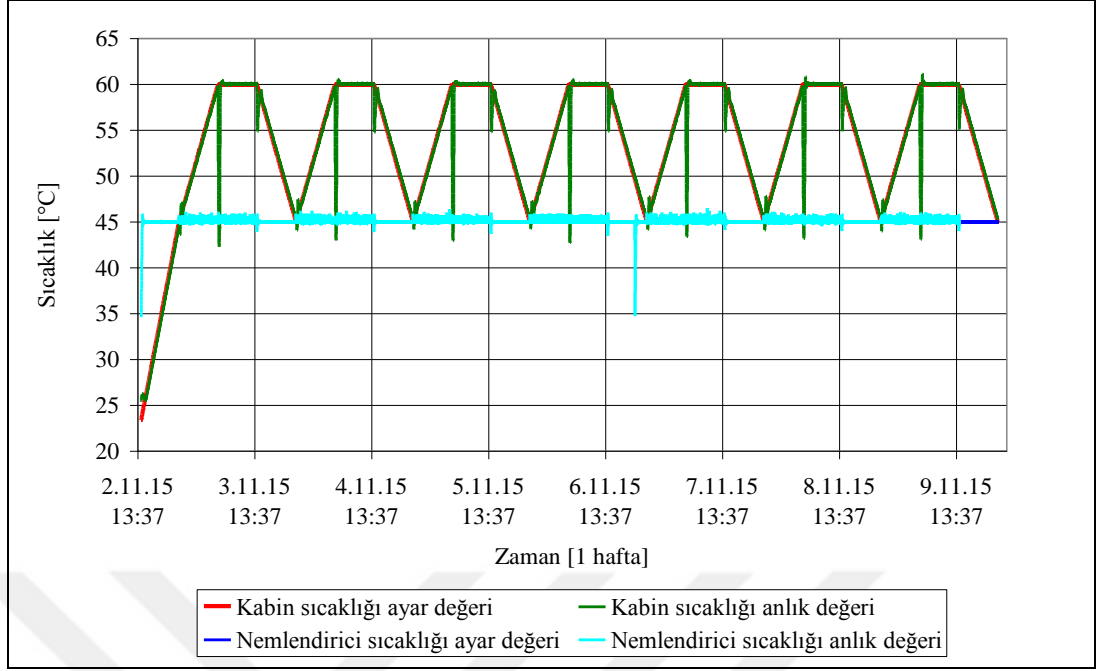
3.1 Tuz Sisi ve Çevrimsel Korozyon Test Kabininde Programlanan Islanma Kuruma Döngüsü

Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininin bir günlük ıslanma ve kuruma döngüsü incelendiğinde, ilk sekiz saatlik süreç olan tuz sisi modundaki kabin sıcaklığı 45°C’den takip eden sekiz saat içinde 60°C’ye çıkmaktadır. Bu süreçte tuz püskürtme nozulundan, tuz sisi püskürtülmesi süreklilik arz etmektedir. Anlık kabin

sıcaklığında ise, kabin içerisindeki havanın dışarı atılması sonucunda bir düşüş ve sonrasında yükselme gözlenmekte olup, kısa süre sonra kabin sıcaklığı belirlenen değer ile aynı eğimde paralel olarak devam etmiştir. İlk sekiz saatin sonunda, %100 bağıl nemde ve 60°C'de ikinci sekiz saatlik bekletme periyodu gerçekleşmiştir. Bu sekiz saatlik süreçte kabin sıcaklığı ayar değeri 60°C'de sabit olmakla birlikte, kabin içinde bulunan tuz sisinin kabin dışına atılması için kabinde ventilasyon yapılması sonucu kabin sıcaklığı kısa bir süre 60°C'nin altına düşmektedir. Ventilasyon sırasında ölçülen kabin sıcaklığı anlık değeri, 45°C altına ani olarak düşmekte ve ardından hızla yükselerek 60°C'ye ulaşmaktadır. İkinci 8 saatin sonuna kadar; diğer bir deyişle bir günlük ıslanma kuruma döngüsünün 8. saatinden 16. saatine kadar kabin sıcaklığı 60°C'de tutulmaktadır. Bu 16 saat süresince %100 bağıl nemi sağlamak için çalışan nemlendiricinin, sıcaklık ayar değeri 45°C olup ölçülen anlık değeri 44-46 °C arasında değişmektedir. 16 saatin sonunda, üçüncü sekiz saatlik periyod olan kuruma sürecine geçilmektedir. Bu süreçte kabin sıcaklığı ayar değeri 60°C'den 8 saat sonunda 45°C'ye doğrusal olarak düşecek şekilde ayarlanmıştır. Kabin içinde bulunan %100 nemin periyodun başlangıcında kabin içindeki hava ile dışarı atılması sırasında kabin içi sıcaklık değeri 55°C'ye ani bir düşüş yapıp sonrasında hızla yükselerek, kabin sıcaklığı ayar değerine uyum sağlamıştır. Son sekiz saatlik periyod, kuruma döngüsü olduğundan kabin içine nem verilmemiş olup nemlendirici sıcaklığı 45°C'de sabit kalmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininde bir günlük ıslanma ve kuruma döngüsü



Şekil 3.2 Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinde gerçekleşen haftalık ıslanma ve kuruma döngüsü

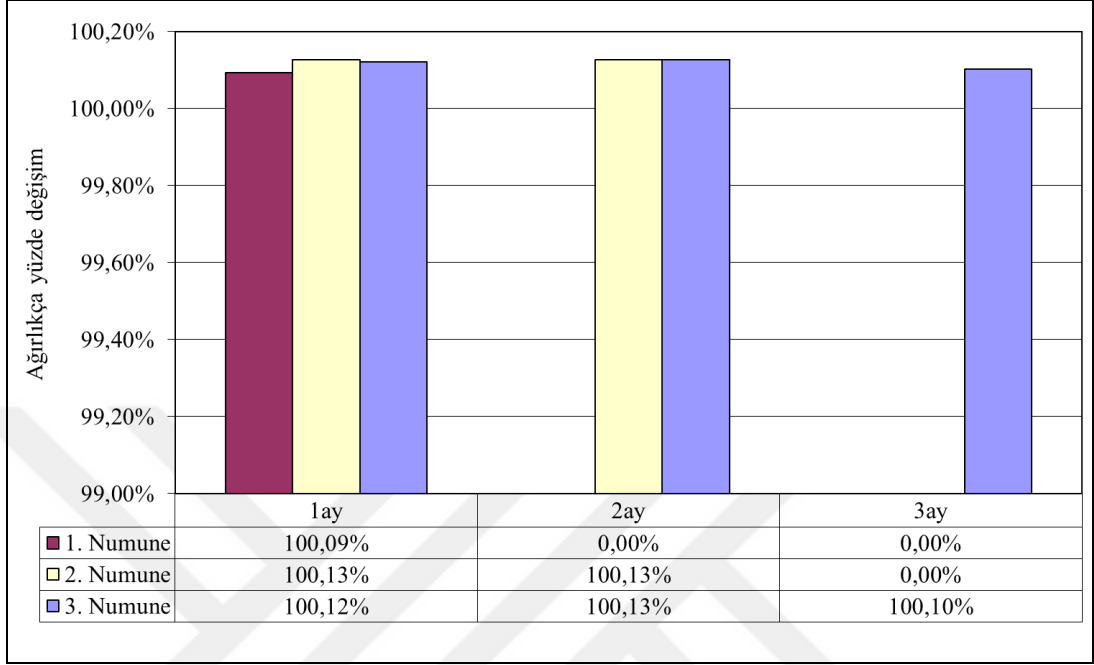
Tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabiniinin ilk bir haftalık ıslanma ve kuruma döngüsü incelendiğinde (Şekil 3.2), bir günlük sürecin birbirini tekrar ettiği görülür. Tek fark testin başlangıcında, kabin içindeki sıcaklığın oda sıcaklığından tuz sisi modunun başlangıçtaki sıcaklık değeri olan 45°C'ye getirilmesidir.

3.2 Cam Takviyeli Plastik Numunelerin Deney Sonuçları

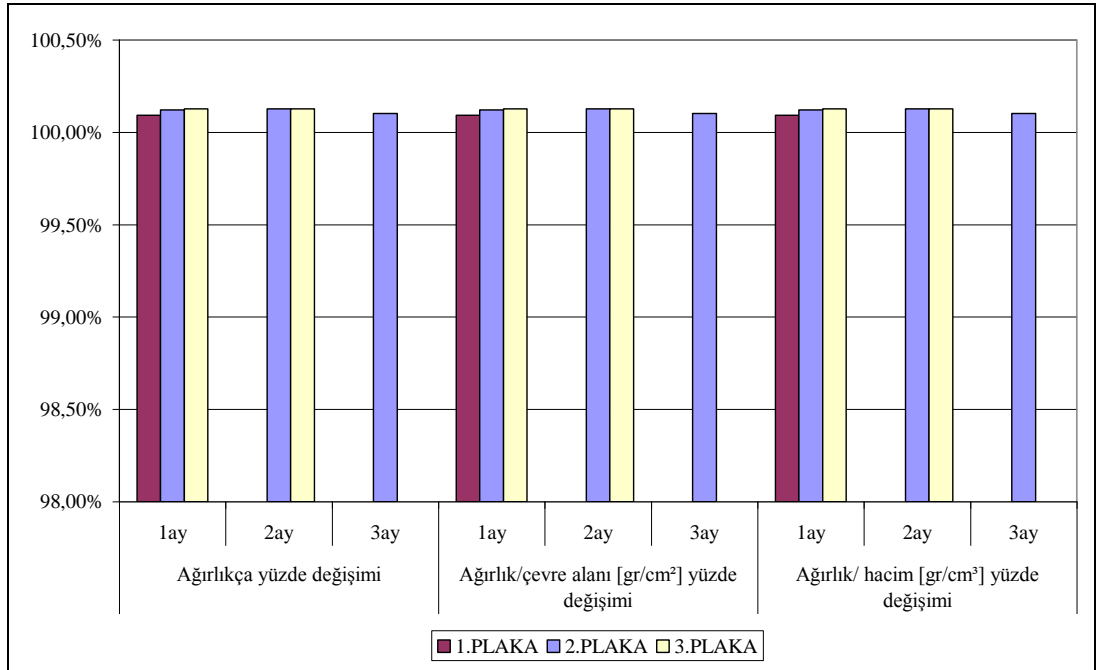
3.2.1 Cam Takviyeli Plastik Numunelerin Islanma- Kuruma Döngüsündeki Kütle Artışı

Cam takviyeli plastik - çelik çift karşılıklı numune bağlantılarının CTP özelliklerinde dört adet levha üretilmiştir. Çekme testinde kullanılacak bu levhaların kenarları epoksi ile kaplanarak, kenarlarından nem ve tuz sisi almaları engellenmeye çalışılmıştır. Levhalardan birincisi kontrol grubu olarak düşünülmüş, ikincisi 30 gün, üçüncüsü 60 gün, dördüncüsü 90 gün tuz sisi ve korozyon kabiniinde yaşlandırılmıştır. Bu levhalar her 30 günde bir hassas tartı ile tartılarak ağırlıkları

kaydedilmiştir. İlk tartıya göre ağırlıklarının yaşlanma sürecinde değişimi Şekil 3.3’de görülmektedir.

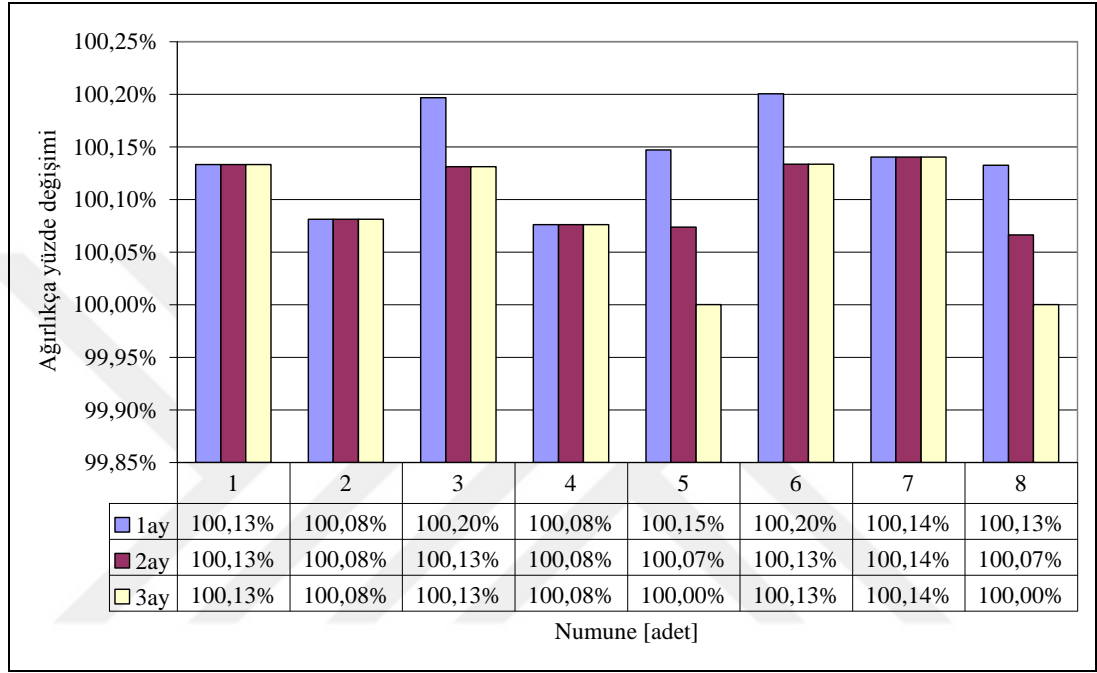


Şekil 3.3 Çekme testinde kullanılacak kenarları epoksi kaplanmış, cam takviyeli plastik levhaların ağırlığının 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında yüzdesel değişim grafiği



Şekil 3.4 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında CTP levhaların ağırlığının; ağırlığın, çevre alanının ve özkütlesinin yüzdesel değişim grafiği

Şekil 3.4'teki grafikte bu levhaların üretim sonrası ilk tartıma göre ağırlıkça yüzde değişimleri, levha ağırlığının levhanın çevre alanına bölümünün yüzde değişimleri, levhanın ağırlığının levha hacmine bölümünün (özkütle) yüzde değişimleri hesaplanarak grafikte gösterilmektedir. Yukarıdaki anlatılan yüzde değişimlerinin birbirinin aynı değerinde olduğu görülmüştür.

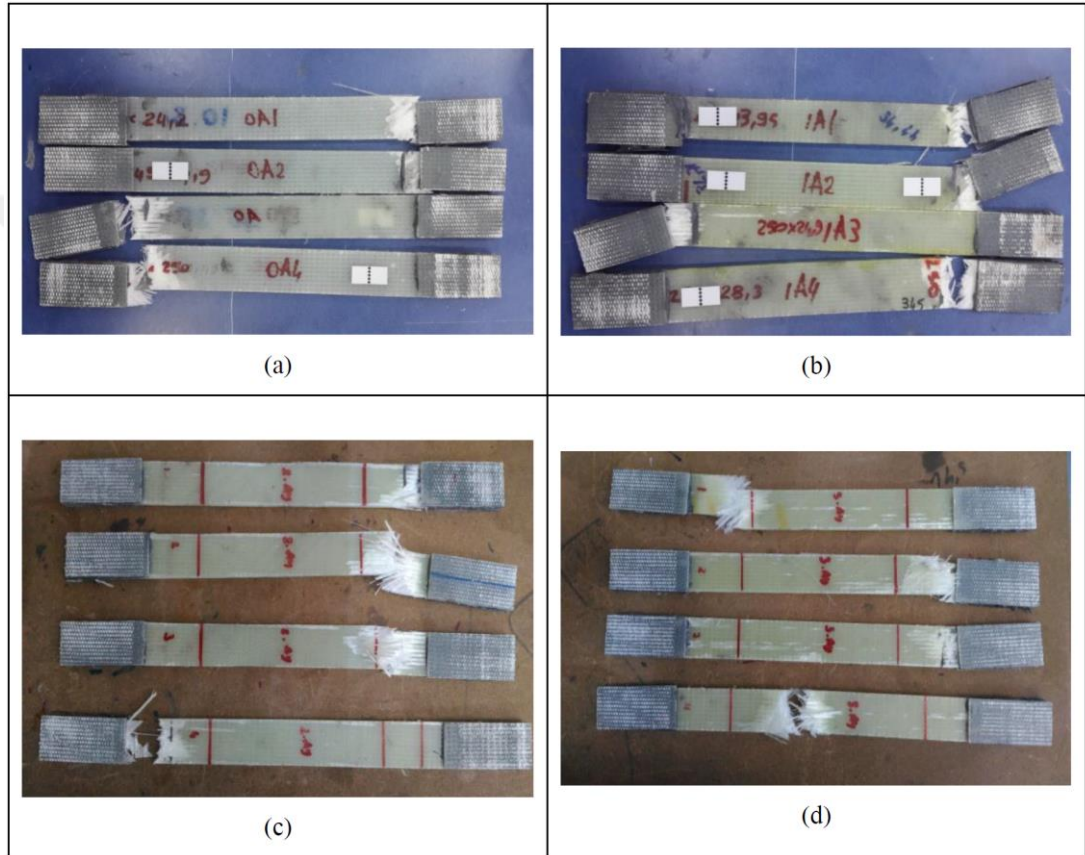


Şekil 3.5 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında 8 farklı boyutta cam takviyeli plastik kenarları korozyona açık plakaların ağırlığının yüzdesel değişimi

Ayrıca cam takviyeli plastik - çelik çift karşılıklı numune bağlantılarının CTP özellikleriyle aynı özellikte CTP levhalar üretilmiştir. Bu levhaların kenarları epoksi kaplamadan korozyona açık bir biçimde sırasıyla 30, 60 ve 90 gün ıslanma kuruma döngüsüne tabi tutulmuşlardır. Bu levhalar her 30 günde 0,01 gr hassasiyetindeki terazide tartılarak kaydedilmiştir. Şekil 3.5'te bu verilerin levhaların ilk ağırlıklarına oranı ile elde edilen ağırlıkça yüzde değişimi verilmektedir. Sekiz adet numunenin ağırlık verileri incelendiğinde ilk aydaki kütle artışı 1, 2, 4, 7 nolu numunelerde diğer aylarda korunarak değişmemiş, 3 ve 6 nolu numunelerde düşmüş, 5 ve 8 nolu numunelerde ise üçüncü ayın sonunda ilk ağırlığına geri dönmüştür.

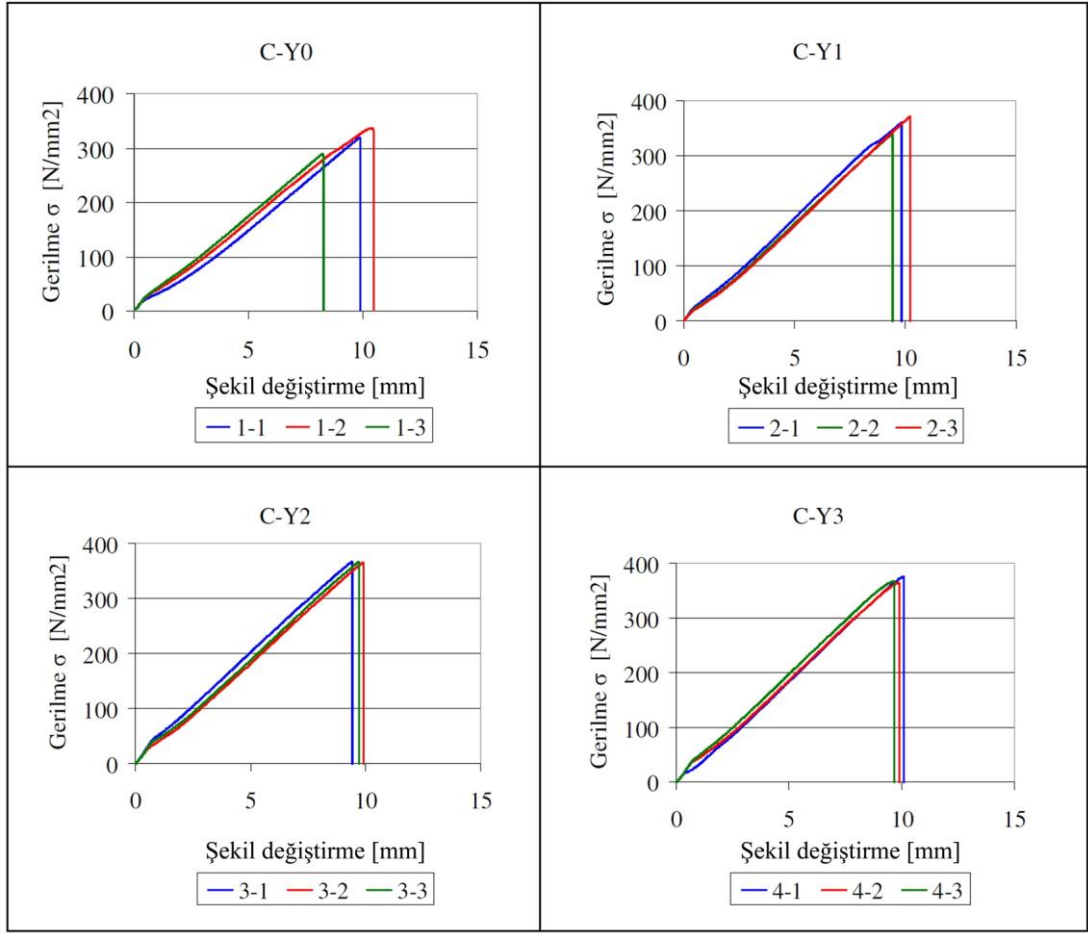
3.2.2 Cam Takviyeli Epoksi Numunelerin Çekme Testi

Cam takviyeli plastik-çelik çift karşılıklı numune bağlantılarının CTE özellikleriyle aynı özellikteki CTE levhalardan 0, 30, 60, 90 günlük yaşlanma süreleri sonrasında çekme numuneleri üretilmiştir. Çekme deneyleri yapılmış ve deney sonrası hasarlanan numuneler Şekil 3.6'da verilmiştir.



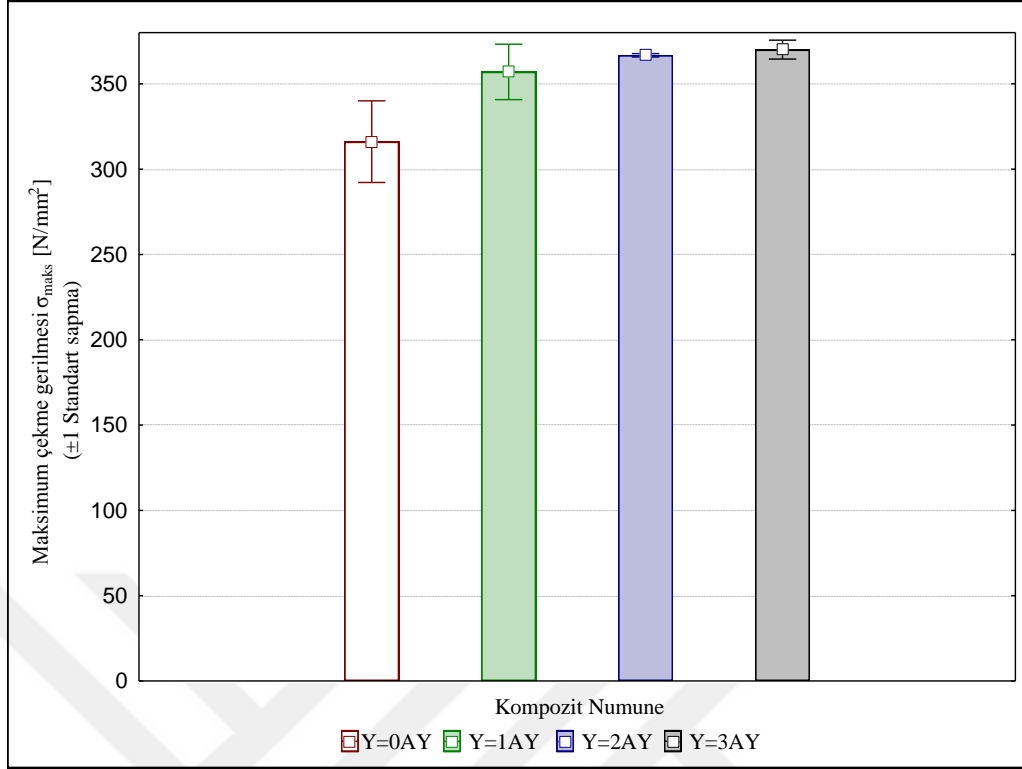
Şekil 3.6 (a) 0, (b) 30, (c) 60, (d) 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında çekme deneyi yapılan cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin fotoğrafları

Çekme numunerinin tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabininde kaldıkları süreyle orantılı sarardığı gözlemlenmiştir. Şekil 3.7'de sonuçları birbirine en yakın üç numunenin gerilme- şekil değiştirme ilişkileri görülmektedir. Bu şekilde numuneler yaşlandırılma yapılmamış Y0, bir ay yaşlandırılan Y1, iki ay yaşlandırılan Y2, üç ay yaşlandırılan Y3 olarak tanımlandırılmıştır.

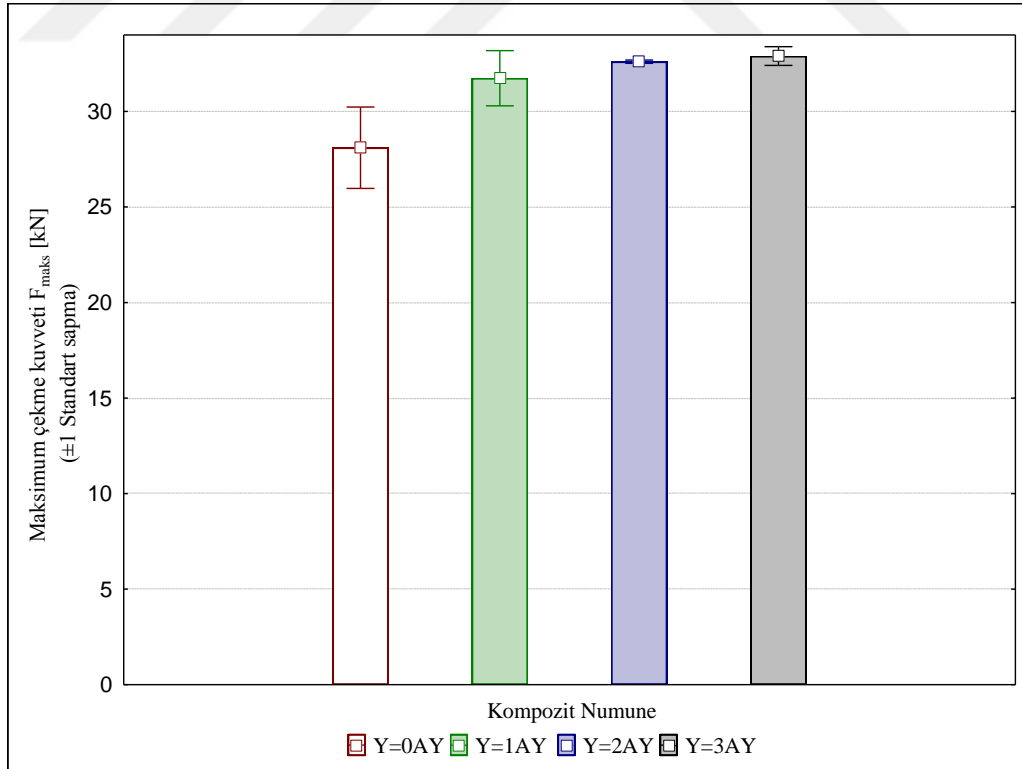


Şekil 3.7 (Y0) 0, (Y1) 30, (Y2) 60, (Y3) 90 günlük yaşlanma süreçleri sonrasında çekme deneyi yapılan cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin gerilme – şekil değiştirme ilişkileri

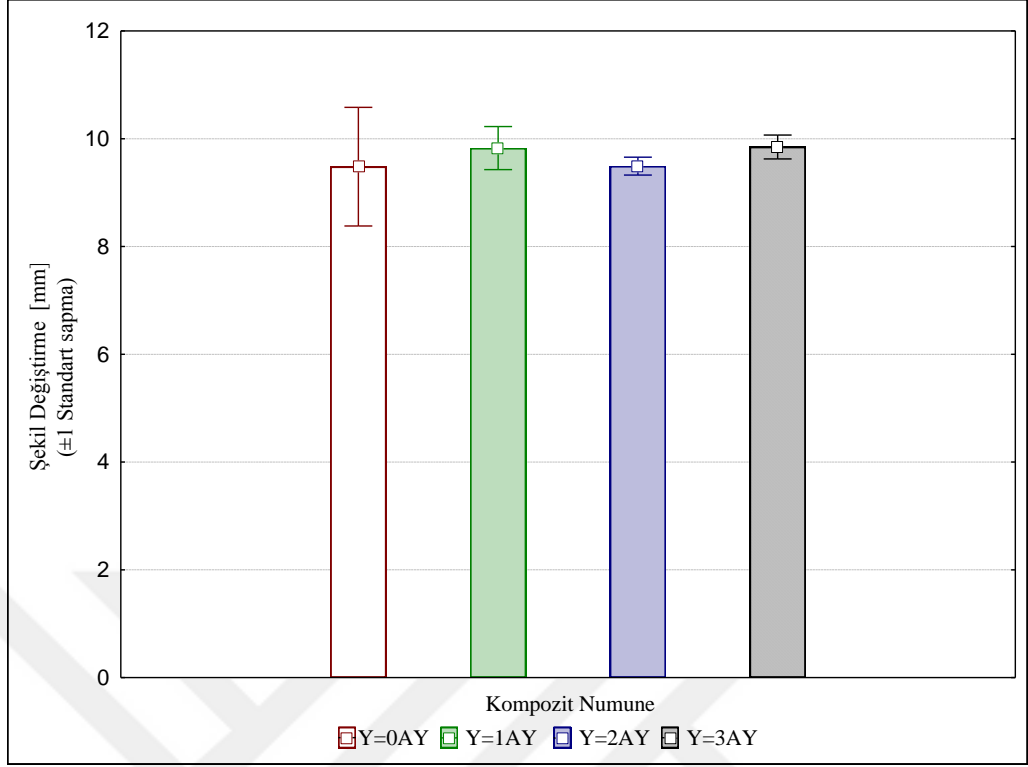
Numunelerin maksimum çekme gerilmesinin ortalaması alınarak yaşlanma sürecindeki değişimi Şekil 3.8'de verilmiştir. Buna göre çekme mukavemeti ilk hale göre yaşlanmanın birinci ayında %12,94 , ikinci ayında %16,02 , üçüncü ayında %17,07 kadar artmıştır. Yaşlanma sürecinde çekme gerilmesi ve çekme kuvvetinin aylar boyunca artarak devam etmesinin nedeni, cam takviyeli epoksi malzemenin kabinde maruz kaldığı sıcaklıkla birlikte kürlenmesini sürdürmesi ve ilerletmesidir. Oda sıcaklığında vakum torbalama yöntemiyle üretilen numunelere fırında kürlenme, bu malzemelerin denizel üretim koşullarında uygun olması için yapılmamıştır. Numuneler fırında kürlendirilmediği için hızlandırılmış tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabinindeki yaşlanma sürecinde; CTE'de kullanılan epoksinin Tg camsılaşıma sıcaklığından düşük, ama 45-60°C arasındaki sıcaklıkta ıslanma ve kuruma döngüsüne tabi tutulması numunelerin mukavemet değerlerinin artmasına neden olmuştur.



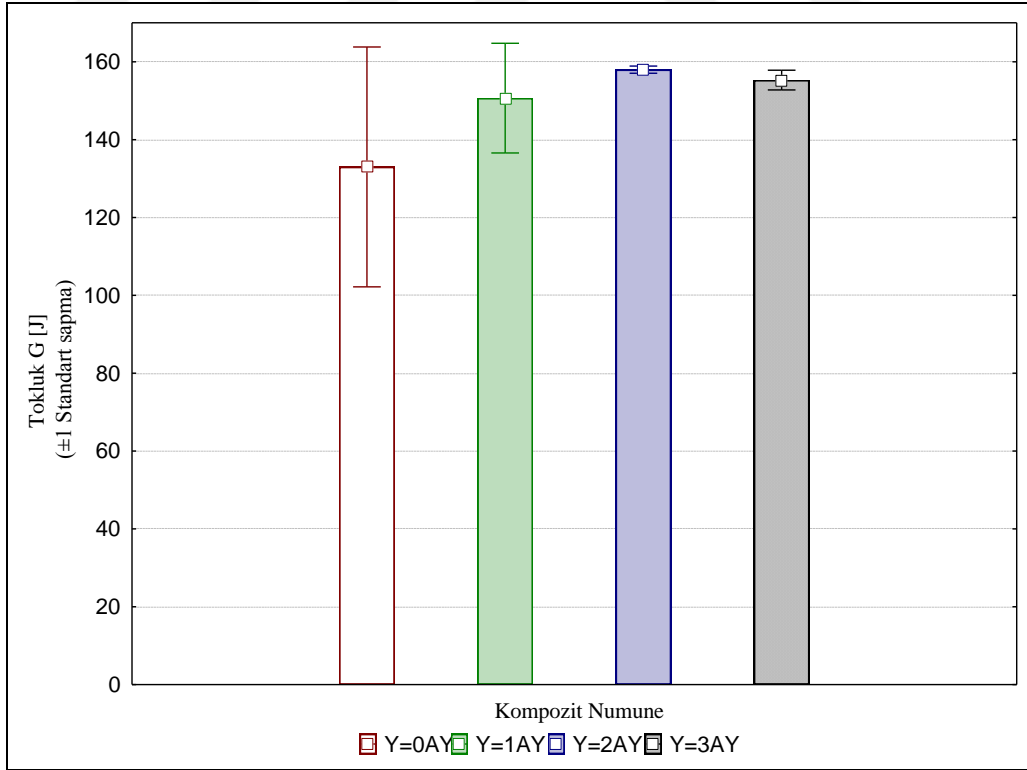
Şekil 3.8 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre maksimum çekme gerilmesi (± 1 standart sapma)



Şekil 3.9 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre, maksimum çekme kuvveti (± 1 standart sapma)



Şekil 3.10 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre şekil değişirme (± 1 standart sapma)



Şekil 3.11 Cam takviyeli epoksi kompozit numunelerin yaşlandırma sürecine göre tokluk (± 1 standart sapma)

Numunelerin çekme testinden elde edilen; maksimum çekme gerilmesinin ortalaması Şekil 3.8'de, maksimum çekme kuvvetinin ortalaması Şekil 3.9'da şekil değiştirmelerinin ortalaması Şekil 3.10'da, tokluğun ortalaması Şekil 3.11'de, yaşlanma süreci temelinde verilmiştir. Şekil değiştirme ve tokluk birbirine bağlı olmasına rağmen yaşlanmamış numunelere göre yaşlanmanın birinci ayında % 3,63 artan şekil değiştirme, ikinci ayda sadece %0,10 artmış ve üçüncü ayda %3,68 artarak birinci ayla yaklaşık aynı seviyeye çıkmıştır.

Cam takviyeli epoksi numunenin tokluğu yaşlanmamış numunelere (Y0) göre birinci ayda %13,28 , ikinci ayda %18,78 artarken, üçüncü ayda bu oran %16,77 olmuştur.

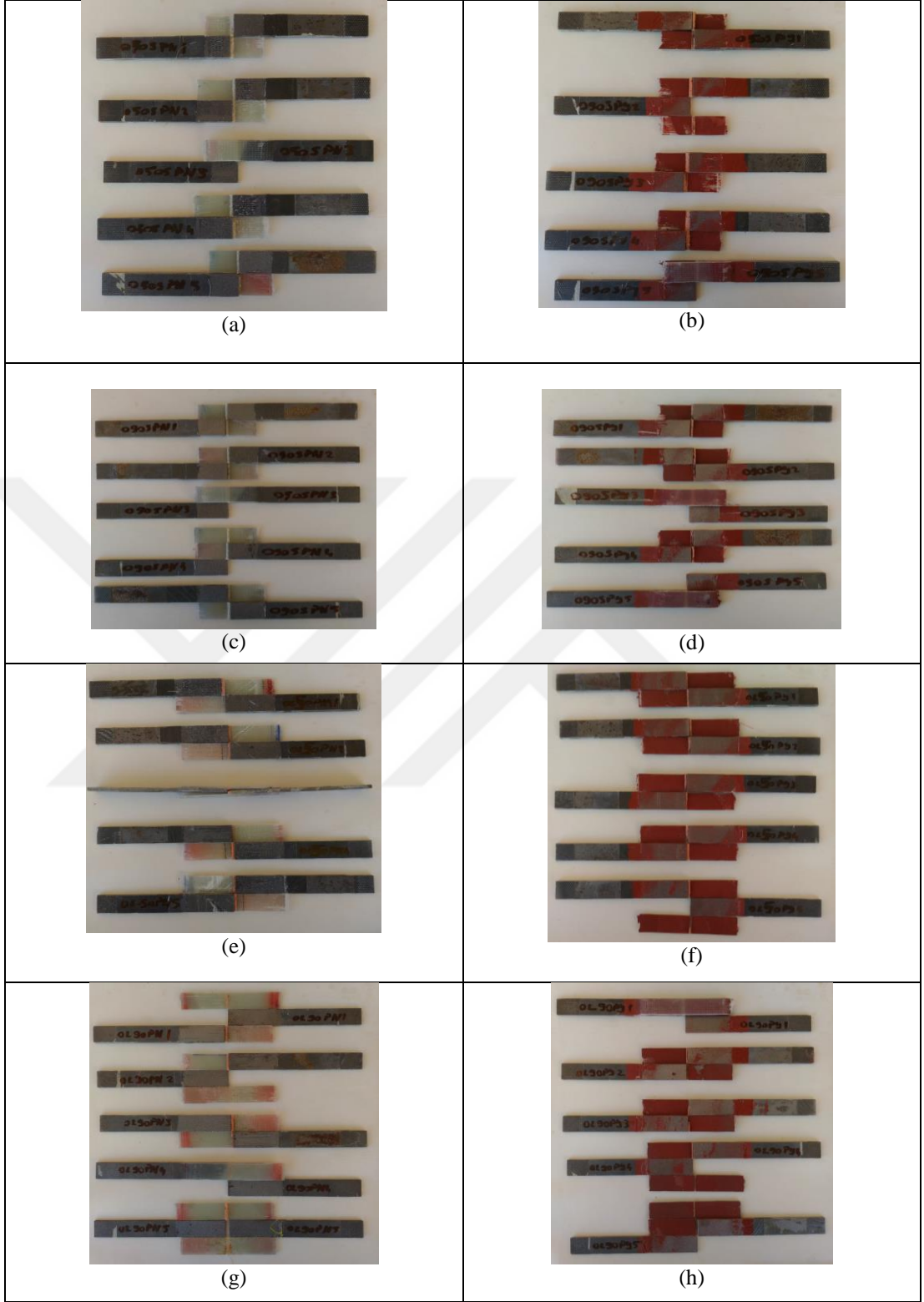
3.3 Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları

3.3.1 Yaşlandırılmamış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları

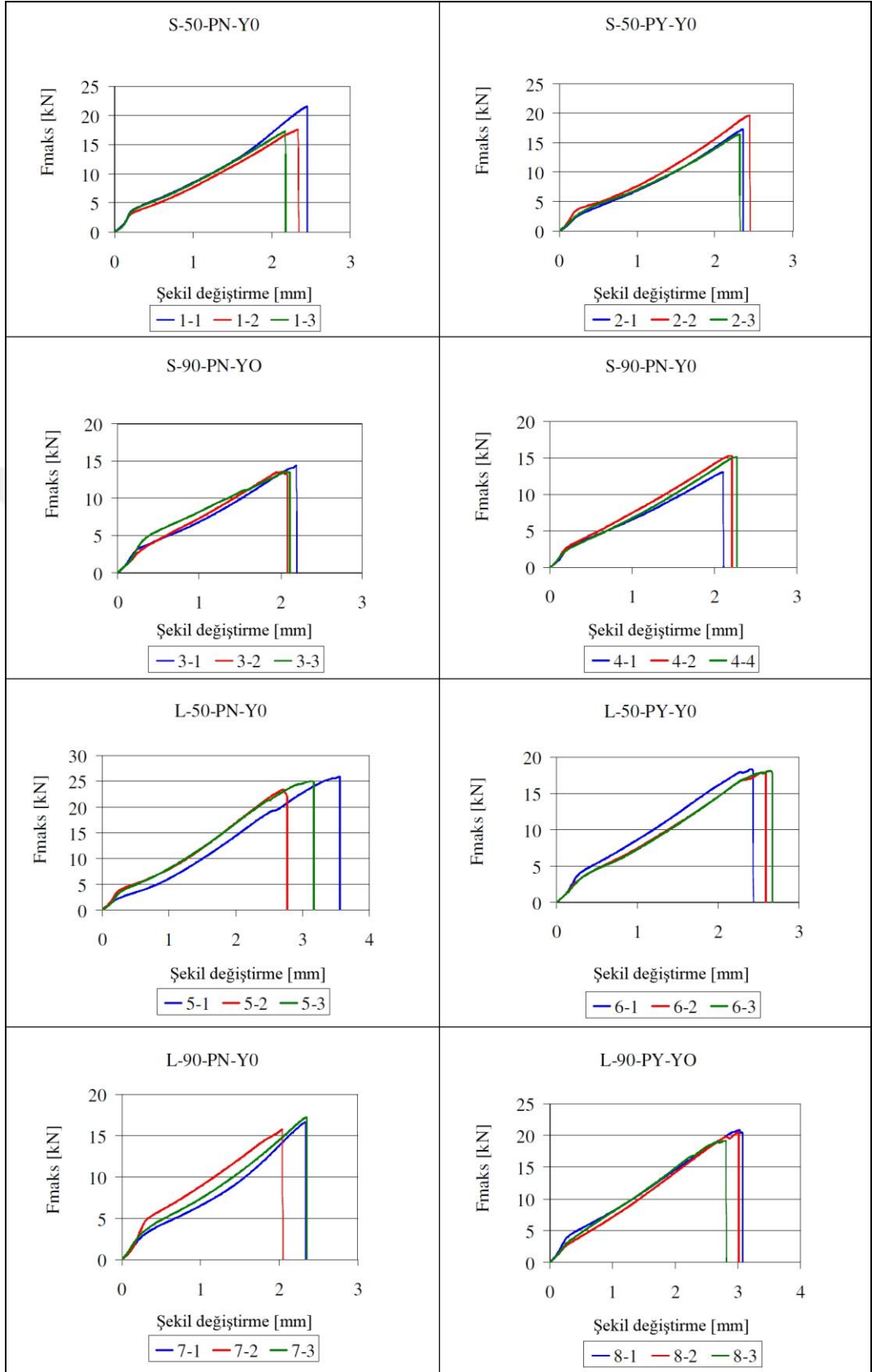
Numuneler üretildikten sonra herhangi bir hızlandırılmış yaşlandırmaya veya tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini içinde ıslanma ve kuruma döngüsüne tabi tutulmadan çekme testleri yapılmıştır. Şekil 3.12'de yaşlandırılmamış çift karşılıklı bağlantı elemanlarının, çekme testi sonrası hasarlı görünüşleri yer almaktadır. Şekil 3.12(a)'da kopan numunelerin çelik yüzeylerinde cam elyaf parçacıkları görülmektedir. Bağlantı elemanın kopması sırasında, çeliğe elyaf parçalarının yapıştığı görülmektedir. Şekil 3.12(b)'de ise numune üretiminde çinko bazlı epoksi astarı çelik yüzeyine uygulanmış olmasına rağmen, laminasyon sonrasında kompozit yüzeye daha iyi tutunup çekme deneyi sürecinde çelik yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Bununla birlikte, beş numunenin ikisinde çelik üzerinde cam elyaf parçaları görülmektedir. Şekil 3.12(c)'de çelik yüzeyinde fiber parçalara rastlanmamış olup, sadece bir numunede bir miktar epoksi gözlemlenmiştir. Şekil 3.12(d)'de 5 adet numunenin tamamında çeliklerde çinko bazlı astar görülmüştür. Bunların ikisinde çinko astarla birlikte fiber parçaları çeliğin üzerinde bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü yüksek ($R_z=90\mu\text{m}$) olan numunelerin astarsız çeliklerinde fiber

parçaları görülmezken, astar uygulanmış numunelerin çeliği üzerinde fiber parçaları görülmüştür. Bu durum, astarın bozuk yüzeylerde daha iyi yapışma sağladığını göstermiştir. Şekil 3.12(e)'de beş numunenin tamamında bağlantı elemanının kompozit kısmında delaminasyon görülmüştür. Çelik parçaların üzerinde epoksi ve fiber izleri vardır. Şekil 3.12(f)'de numunelerin üçünde kompozit parçacık çelik malzeme üzerinde görülmüştür. Çelik malzeme üzerinde az miktarda astar görülmekte olup, astar kompozit laminasyon yüzeyinde toplanmıştır. Şekil 3.12(g)'de beş numunenin sadece birinde çelik üzerinde fiber iplikleri görülmüş olup, sadece iki çelikte epoksi parçaları yapışma alanında görülmüştür. Şekil 3.12(h)'de numunelerin tamamında astar parçacıkları çelik yapışma alanında gözlemlenmekte olup, bunların birinde çeliğin üzerine yapışmış astarda fiber parçaları görülmüştür.

Şekil 3.13'te çekme deneyi yapılan beş numuneden birbirine en yakın olan üç numunenin değeri alınarak, hazırlanan kuvvet – şekil değiştirme grafikleri yer almaktadır.



Şekil 3.12 Yaşlandırılmamış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası fotoğrafları



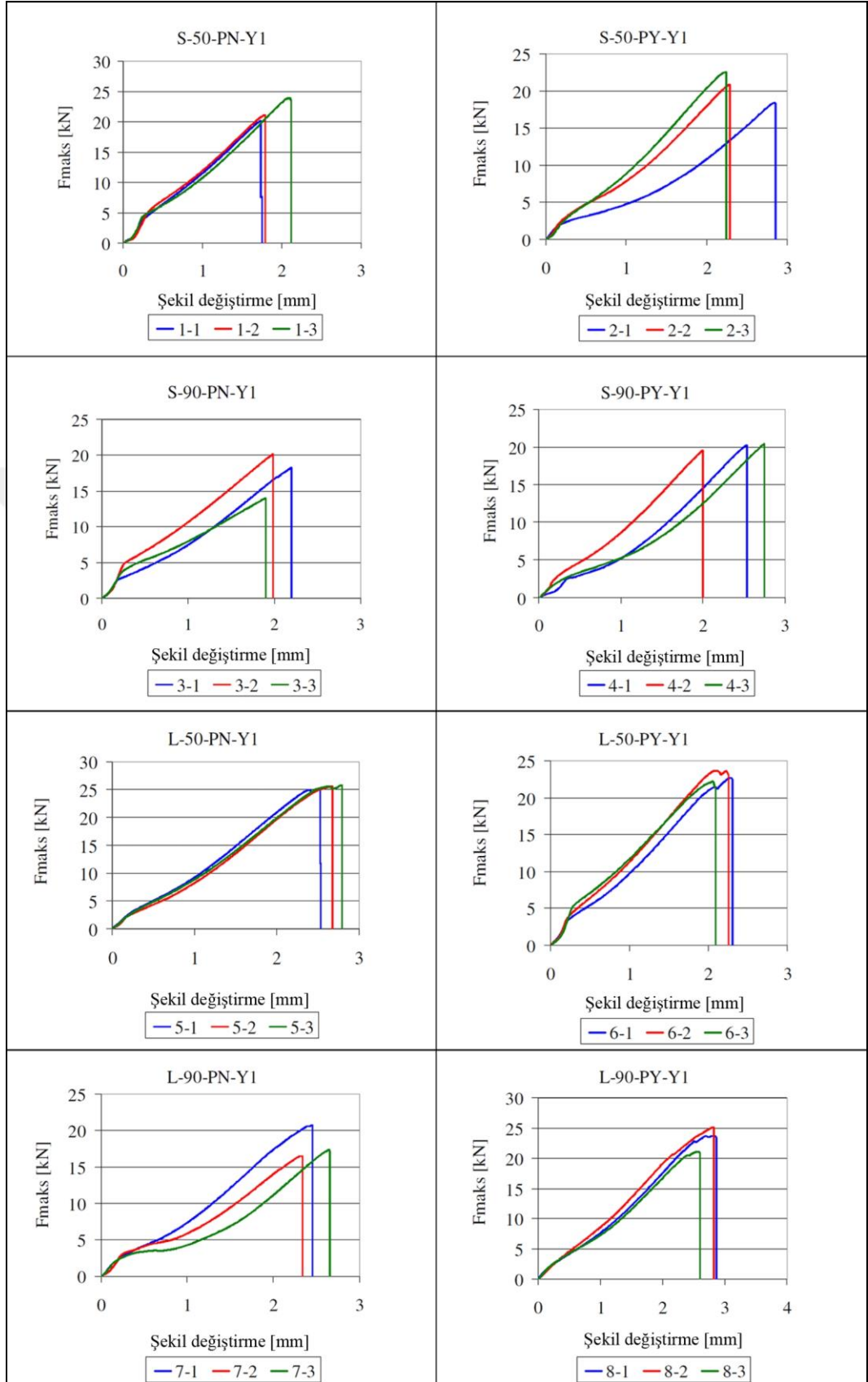
Şekil 3.13 Yaşlandırma yapılmamış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değişimi grafikleri

3.3.2 30 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları

Bu kapsamdaki numuneler üretildikten sonra 30 gün süresince tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini içinde ıslanma ve kuruma döngüsünde yaşlandırıldıktan sonra çekme testi yapılmıştır. Şekil 3.14'te 30 gün yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanlarının, çekme testi sonrası hasarlanmaları sunulmaktadır. Şekil 3.14(a)'daki beş numunenin dördünde çelik yüzeylerde epoksi görülmektedir. Bunların iki tanesinde fiber parçacıklar da bulunmaktadır. Birinde korozyon tam ortada yer alan köpüğün olduğu noktadan oluşmaya başlamıştır. Çinko astarlı numunelerde yaşlandırma süreci ilerledikçe, çekme numunesi koptuktan sonra çelikte tutunmasının arttığı gözlemlenmektedir. Çinko astarların yüzey pürüzlülüğü Rz 90 µm oranlarında, yaşlandıkça daha iyi sonuçlar alınmıştır. Şekil 3.14(b)'de yaşlandırma sonrasında çelik yapışma alanlarında çinko astar, ince bir tabaka halinde kısmi boşluklarla birlikte gözlemlenmiştir. Beş numunenin dördünde çelik yüzeylerin üstünde çinko astar ve elyaf parçaları görülmüştür. Korozyon iki numunenin sadece bir kenarında görülmektedir. Şekil 3.14(c)'de beş adet numunenin üçünde fiber delaminasyonu görülmüştür. Bir numunede korozyon yapışma alanının tam ortasından ilerleyerek nüfuz etmiştir. Şekil 3.14(d)'de kenarlardan gelen nem sonrasında numunelerden bir tanesinde çeliğin korozyona uğradığı ve yapışma alanında bozulma olduğu gözlemlenmiştir. İki numunede, çelik yüzeylerde astar ve fiber parçaları gözlemlenmiştir. Şekil 3.14(e)'de beş numunenin tamamında fiber parçalarda delaminasyon ve çelik parçalarda epoksi ve fiber gözlemlenmiştir. Şekil 3.14(f)'de beş adet numunenin tamamında çelik yüzeylerde astar varlığı gözlemlenmiş olup, üçünde kompozit malzemede delaminasyon sonucu fiber parçaları görülmektedir. Şekil 3.14(g)'de beş adet numunenin ikisinde fiber ve epoksi parçalarına rastlanmış olup, numunelerin üçünde kenar bölgelerde korozyon tespit edilmiştir. Şekil 3.14(h)'de numunelerin üçünde astarın çelik yüzeye yayıldığı görülmüş olup, diğer bir numunede de astar ve fiber parçacıkları görülmüştür. Şekil 3.15'te çekme deneyi yapılan 30 gün yaşlandırılmış beş numuneden birbirine yakın olan üç numunenin değerleri alınarak sunulan kuvvet – şekil değiştirme ilişkisi yer almaktadır.



Şekil 3.14 Bir ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası hasarlanmaları



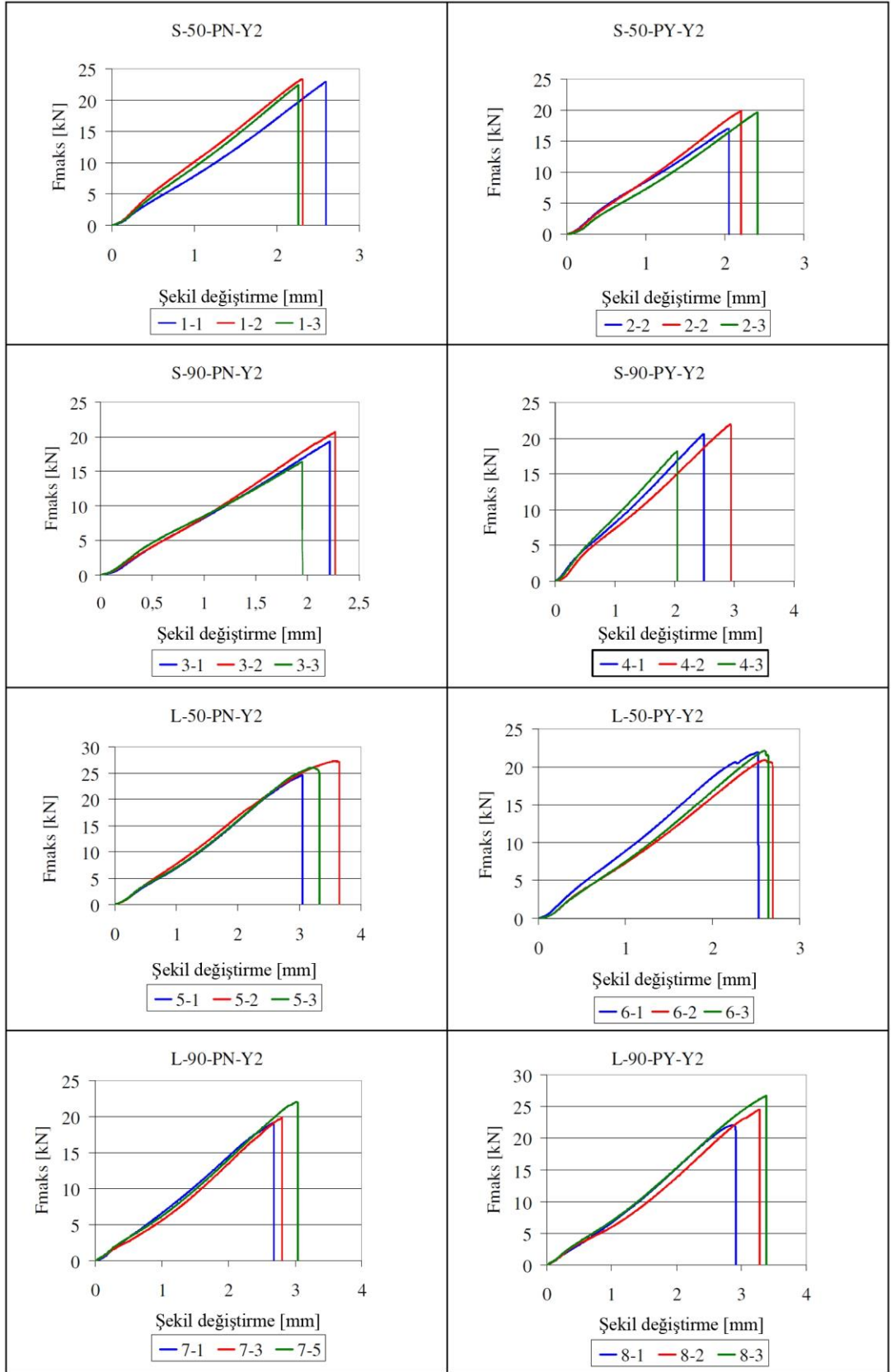
Şekil 3.15 Bir ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değişimi grafikleri

3.3.3 60 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numuneleri Deney Sonuçları

Numuneler üretildikten sonra 60 gün süresince tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini içinde ıslanma ve kuruma döngüsünde yaşlandırıldıktan sonra çekme testi yapılmıştır. Şekil 3.16'da 60 gün yaşlandırılıp çift karşılıklı bağlantı elemanlarının, çekme testi sonrası hasarlanmalarını anlatan görüntüler yer almaktadır. Şekil 3.16(a)'da iki aylık yaşlandırma sonucunda, çift karşılıklı bağlantı numunelerinde çelikler üzerinde epoksi kalıntıları görülmekle birlikte, bunların üç adedinde fiber parçalarına rastlanmıştır. Şekil 3.16(b)'deki numuneler incelendiğinde; çelikler üzerinde yaşlandırılmamış numuneye oranla daha fazla astarın bulunduğu gözlemlenmiştir. Numunelerin hiçbirinde fiber delaminasyonu olmayıp, üç numunenin bağlantı yapışma alanı kenarlarında korozyon başlangıcının olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.16(c)'deki dört adet numunede çeliğin yapıştırma alanının üzerinde epoksi parçaları görülmüş olup, iki adet numunede, kompozit parçada fiber delaminasyonu tespit edilmiştir. Üç numunenin yapıştırma alanlarının kenarlarında korozyon başlangıcı tespit edilmiştir. Şekil 3.16(d)'deki beş numunenin üçünde çelik elemanlarda kalın astar parçacıkları görülmekte olup, üç tanesinde ise korozyon, yapışma alanının kenarlarından başlamış ve iki tanesinde de malzeme içine doğru ilerlemiştir. Şekil 3.16(e)'deki beş numunenin ikisinde, kompozit parçada delaminasyon görülmüş ve bunlarda korozyon gözlenmemiştir. Beş numunenin dördünde çeliklerin kenarlarında renk değişimi görülmüştür. Şekil 3.16(f)'deki numunelerin tümünde astarın varlığı çelik ve kompozit yapıştırma alanlarında görülmekte olup, üç adedinde cam elyaf delaminasyonu görülmüştür. Bunlarda korozyon kenarlardan ilerlemiştir. Şekil 3.16(g)'deki beş numunenin birinde epoksi parçacıkları ve çok az miktarda fiber parçası görülmüştür. Bir numunenin ise çelik yüzeyinde korozyon ilerlemiştir. İkisinin kenarlarında, diğer birinde ise malzeme ortalarına doğru ilerlemiştir. Şekil 3.16(h)'deki numunelerin birinde, kompozit delaminasyon görülmüş olup diğer bir tanesinde korozyon, çeliğin yapıştırma alanının yüzde ellisini, diğerinin yüzde yirmi beşini, sonuncusunun ise tamamını kaplamıştır.



Şekil 3.16 İki ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin çekme testi sonrası hasar görünümleri

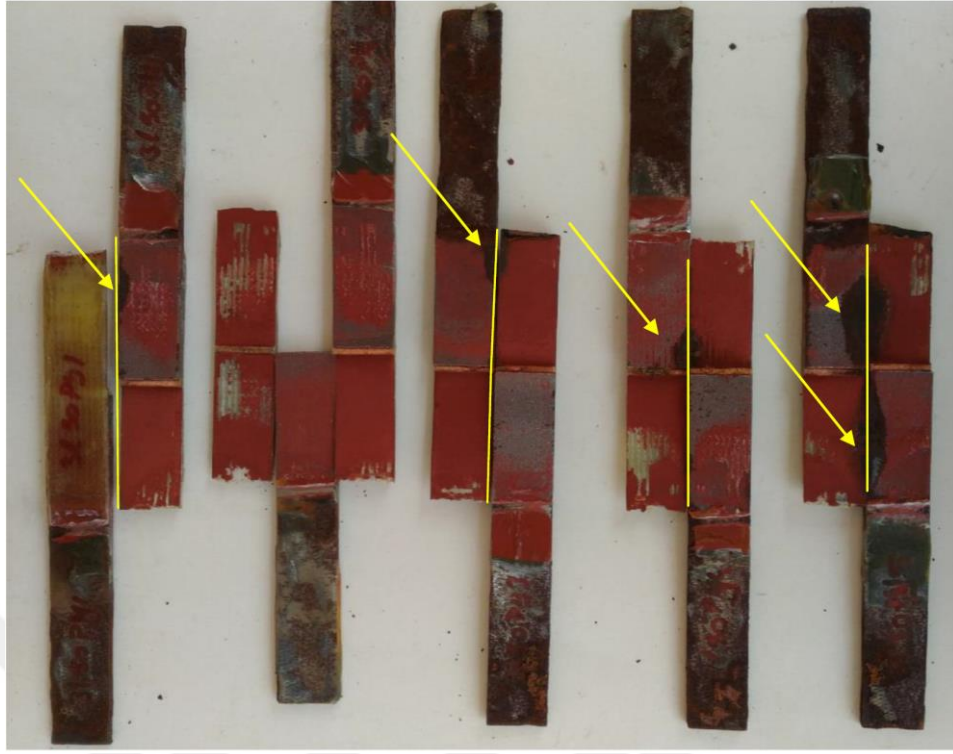


Şekil 3.17 İki ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değişimi grafikleri

Şekil 3.17'de çekme deneyi yapılan, 60 gün yaşlandırılmış beş numuneden birbirine yakın olan üç numunenin değeri alınarak oluşturulan kuvvet – şekil değiştirme ilişkileri sunulmaktadır.

3.3.4 90 Gün Yaşlandırılmış Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanı Numunelerin Deney Sonuçları

---Numuneler üretildikten sonra 90 gün süresince tuz sisi ve çevrimsel korozyon test kabini içinde ıslanma ve kuruma döngüsünde yaşlandırıldıktan sonra çekme yapılmıştır. Yaşlanma sonucunda korozyonun numunelerin (sarı çizgi ile belirlenen) tek bir kenardan içeri doğru (sarı okların işaretlediği alanlarda) ilerlemesi Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Şekil 3.19'da 90 gün yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanlarının, çekme testi sonrası hasarlanmış görüntüleri yer almaktadır. Şekil 3.19(a)'daki bağlantı numunelerinin hepsinde epoksi ve fiber parçacıkları görülmekte olup, ayrıca kompozit malzemelerin kenarlarında delaminasyon görülmüştür. Numunelerin birinde sağ üst köşeden başlayarak genişliğin üçte birine kadar korozyon oluşmuştur. Şekil 3.19(b)'deki numunelerin ikisinde fiber delaminasyonu görülmüş olup, beş numunenin dördünde korozyon, numunelerin köşelerinden içeri doğru ilerleme göstermiştir. Diğerinde ise korozyon tüm yapıştırma alanına dağılmıştır. Şekil 3.19(c)'deki numunelerin ikisinde, çeliğin üzerinde epoksi ve fiber görülmektedir. Üç numunede köşeden başlayan korozyon, ortaya doğru ilerleme eğilimi göstermiştir. Şekil 3.19(d)'de çelik yüzeylerde astar görülmekle birlikte, beş adet numunenin üç tanesi yaklaşık % 50 oranında korozyona uğramıştır. Korozyona uğrayan bölgelerde çinko astar görülmemektedir. Şekil 3.19(e)'deki beş numunenin dördünde epoksi ve fiber parçaları çelik yüzeyinin üzerinde görülmektedir. Birinde ise çeliğe yapışık delamine olmuş elyaf katmanı görülmektedir. Şekil 3.19(f)'deki çinko astar katmanı çelik yüzeylerde hafif dağılmış olarak görülmekte olup, dördünde çinko astar katmanı ve üzerinde elyaf görülmüştür. Numunelerin dördünde tek bir kenardan içeri doğru korozyon ilerlemesi görülmüştür.

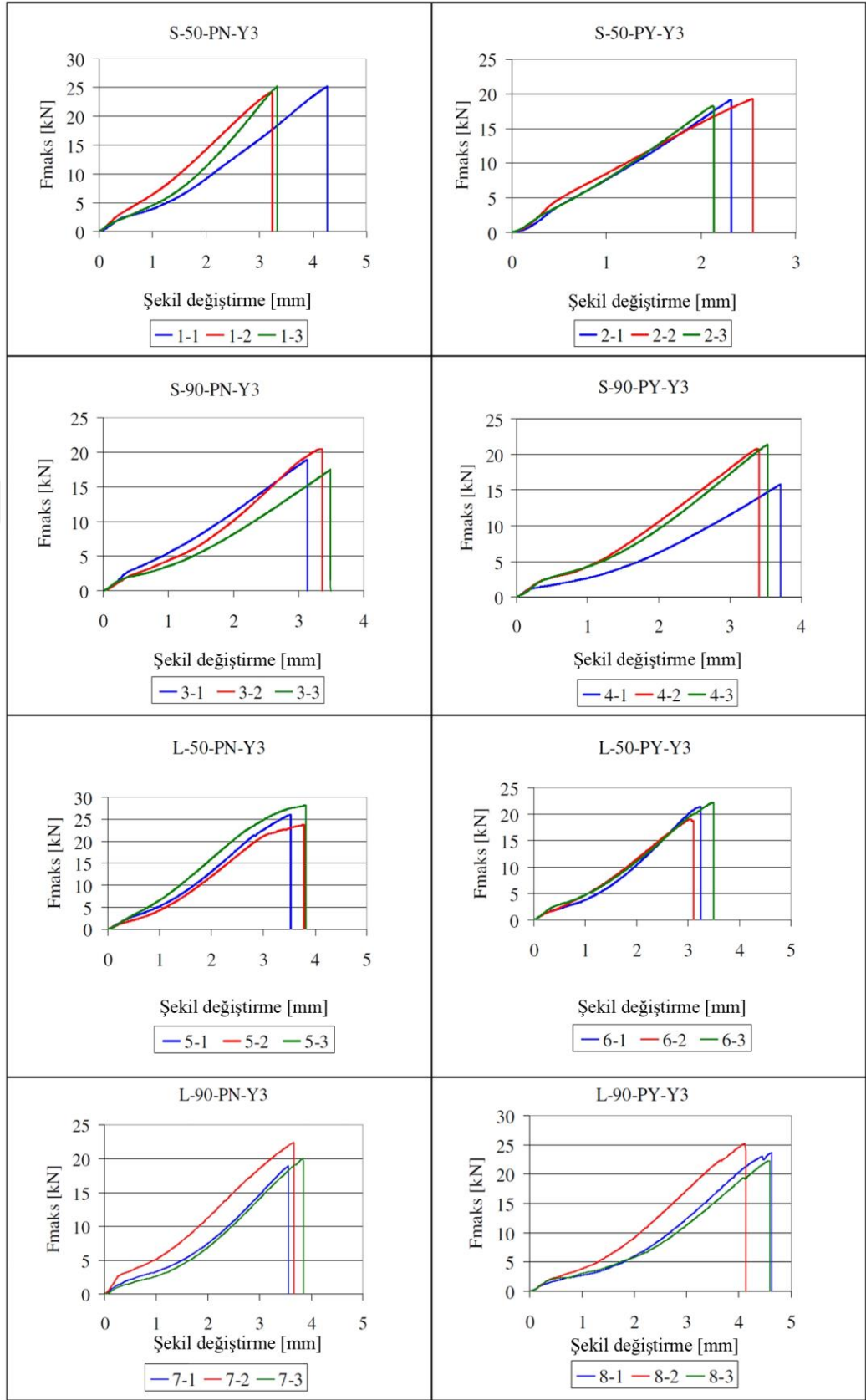


Şekil 3.18 Üç ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin dördünde tek bir kenardan (sarı çizgi) içeri doğru korozyon ilerlediği alan (sarı oklar) gösterilmiştir.

Şekil 3.19(g)'deki beş numuneden üçünde çelik yapıştırma yüzeyinde epoksi ve fiber parçaları görülmüş olup iki numunede köşelerden başlayan ve kenara doğru ilerleyen korozyon görülmüştür. Diğerinde ise bir adet korozyon kısa kenardan başlayarak yaklaşık alanın yarısına kadar ilerlemiştir. Şekil 3.19(h)'deki beş adet numunenin üçünde, çelik kısmında çinko astar ve fiber parçaları görülmüş olup, üç tanesinin kenarlarında korozyon başlangıcı görülmüştür, diğerinde ise köşeden korozyonun ilerlediği gözlemlenmiştir. Şekil 3.20'de çekme deneyi yapılan, 90 gün yaşlandırılmış beş numuneden birbirine yakın olan üç numunenin değeri alınarak sunulan, kuvvet – şekil değiştirme grafikleri yer almaktadır. Çift karşılıklı bağlantının çelik plakaları epoksi ile kaplanmış olmasına rağmen çelikte korozyon ilerlemiş ve üçüncü ayın sonunda, çelik numunelerde lokal korozyonlar oluşmuş ve 4mm olan et kalınlığı bazı numunelerde 2,7 mm'ye kadar düşmüştür. Üç ay yaşlanmış tüm numunelerde, korozyon olduğu ve et kalınlığında %13 - %32,5 oranında bölgesel azalmalar görülmüştür. Türk Loydu'na göre lokal korozyonlar 0,1 et kalınlığından fazla olmaması gerektiğinden çift karşılıklı bağlantı üç aylık yaşlanma sürecinde ömrünü tamamlamıştır (Türk Loydu, 2013).



Şekil 3.19 Üç ay yaşlandırılmış çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerin çekme testi sonrası hasarlanmaları



Şekil 3.20 Üç ay yaşlandırma yapılmış numunelerin çekme deneyinden elde edilen kuvvet – şekil değişimi grafikleri

3.3.5 Çift Karşılıklı Bağlantı Elemanlarının Çekme Deneyi Sonuçlarının Gruplara Göre Değerlendirilmesi

Yaşlanma sürecinde maksimum kuvvetin kontrol grubuna göre yüzdesel değişimi (Y0/Y0, Y1/Y0, Y2/ Y0 Y3/Y0) Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1 Yaşlanma sürecinde maksimum kuvvetin ilk aya göre yüzdesel değişimi

F maks'ın Yaşlanma Sürecinde Yüzdesel Değişimi					
Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
1	S-50-PN	%100,00	%115,48	%121,72	%132,27
2	S-50-PY	%100,00	%116,13	%107,08	%106,22
3	S-90-PN	%100,00	%126,16	%135,57	%136,89
4	S-90-PY	%100,00	%138,34	%139,57	%133,36
5	L-50-PN	%100,00	%102,90	%104,78	%104,85
6	L-50-PY	%100,00	%126,37	%120,18	%115,50
7	L-90-PN	%100,00	%110,15	%123,32	%123,61
8	L-90-PY	%100,00	%115,47	%121,26	%117,45

Birinci grupta [S-50-PN] ilk ay yaşlandırıldıktan sonra numune %15,48 oranında kuvvet artışı görülmüştür. İkinci ayda yaşlanma devam ettiğinde hiç yaşlandırılmamış numuneye göre %21,72 oranında artmıştır. Üçüncü ayda ise %32,27 oranında artmıştır.

İkinci grupta [S-50-PY] yaşlandırılmanın ilk ayında %16,13 oranında artmıştır. İkinci ayda ise ilk aya göre %7,08 oranında artmıştır. Üçüncü ayda %6,22 oranında yaşlandırılmamış numuneye göre artmıştır.

Üçüncü grup [S-90-PN] numunede 13.858,54 N olan maksimum çekme kuvveti bir aylık yaşlandırma sonucunda %26,16 oranında artmış olup, iki aylık yaşlandırılmanın sonucunda %35,57 oranında artmıştır. Üçüncü ayda bu oran %36,89 oranına çıkmıştır.

Dördüncü grupta [S-90-PY] 14.510,81 N ile başlayan maksimum çekme kuvveti birinci aylık yaşlandırma sonucunda %38,34'e ikinci ayın sonunda ilk yaşlandırılmamışa göre %39,57'ye üçüncü ayda ise düşme göstererek %33,36 oranında artmıştır.

Beşinci grup [L-50-PN] numunede ilk kopma kuvveti olan 24.777,17'den birinci aydaki yaşlanma sürecinde %2,9 artmıştır. İkinci ayda ise %4,78 oranında artmıştır. Üçüncü ayın sonunda ise %4,85 oranında artarak yükselme grafiğini devam etmiştir.

Altıncı grup [L-50-PY] numune 18.105,67 maksimum çekme kuvvetiyle başlamıştır. Birinci aylık yaşlandırma sonucunda %26,37 oranında artmış olup, ikinci ayda bu oran düşerek %20,18'e üçüncü ayda %15,15'e düşmüştür.

Yedinci grup [L-90-PN] numunede 16.546,33 N ile başlamıştır. Birinci aylık yaşlanmada %10,15 artmıştır, ikinci aylık yaşlandırma sonunda %23,32'ye ve daha sonrasında ise %23,61 oranında yaşlandırma göstermiştir.

Sekizinci grup [L-90-PY] numunede ise 20.196,89 N'la başlamıştır. Birinci ayda %15,45 oranında artan maksimum kuvvet, ikinci ayın sonunda %21,26'ya ulaşmıştır. Üçüncü ayın sonunda ise biraz daha gerileme göstererek %17,45 oranında artı değerle maksimum kuvveti bitirmiştir.

Tablo 3.2 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum kuvvetlerinin astarlı numunelerin maksimum kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişimi

F maks'ın Yaşlanma Sürecinde Sabit parametrelere göre Astarsız /Astarlı (PN/PY) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%105,95	%105,37	%120,44	%131,93
	2	S-50-PY				
	3	S-90-PN	%95,50	%87,09	%92,77	%98,03
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%136,85	%111,42	%119,31	%124,23
	6	L-50-PY				
	7	L-90-PN	%81,93	%78,15	%83,32	%86,22
	8	L-90-PY				
Rz=50	1	S-50-PN	%105,95	%105,37	%120,44	%131,93
	2	S-50-PY				
	5	L-50-PN	%136,85	%111,42	%119,31	%124,23
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	%95,50	%87,09	%92,77	%98,03
	4	S-90-PY				
	7	L-90-PN	%81,93	%78,15	%83,32	%86,22
	8	L-90-PY				

Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum kuvvetlerinin, astarlı numunelerin maksimum kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişimi sabit

parametrelere göre gruplandırılmıştır Tablo 3.2'de verilmektedir. Tablo 3.2'de ilk satırı oluşturan değerler; grup no1/group no2 ($F_{maks[S-50-PN-Y0]}/F_{maks[S-50-PY-Y0]}$; $F_{maks[S-50-PN-Y1]}/F_{maks[S-50-PY-Y1]}$; $F_{maks[S-50-PN-Y2]}/F_{maks[S-50-PY-Y2]}$; $F_{maks[S-50-PN-Y3]}/F_{maks[S-50-PY-Y3]}$) oranının yüzdesi alınarak hesaplanmıştır.

Yüzey pürüzlülüğü $R_z=50 \mu m$ olan numunelerin maksimum çekme kuvvetlerinin yüzey pürüzlülüğü $R_z=90 \mu m$ olan numunelerin maksimum çekme kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişim tablosu Tablo 3.3'te verilmektedir. Maksimum çekme kuvvetinin yaşlanma sürecinde sabit parametrelere göre kısa/uzun (S/L) yüzdesel değişimi Tablo 3.4'te sunulmaktadır.

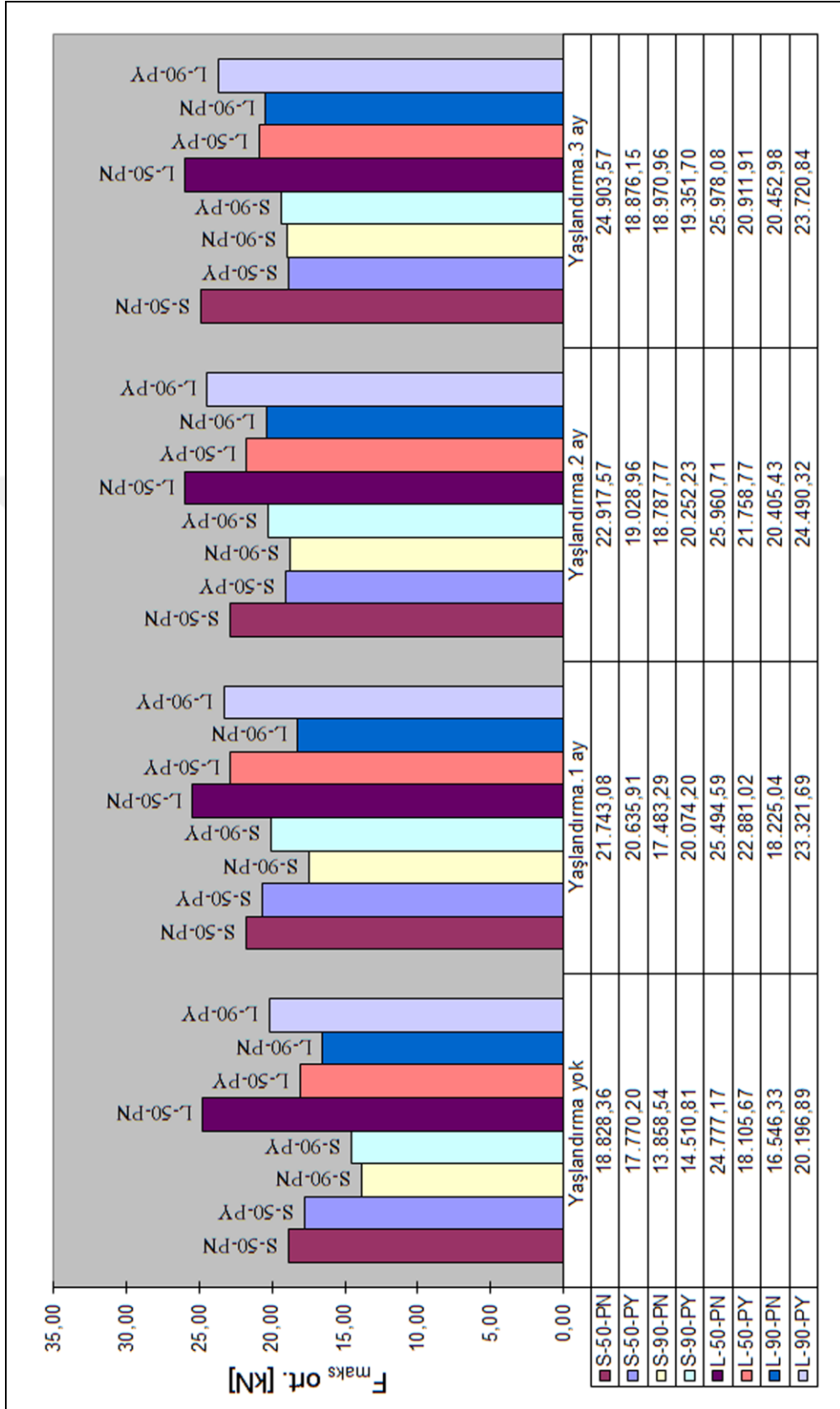
Tablo 3.3 Yaşlanma sürecinde, numunelerin maksimum çekme kuvvetlerinin sabit parametrelere göre R_z50/R_z90 yüzdesel değişimi

F maks'ın Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre R_z50/R_z90 Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%135,86	%124,36	%121,98	%131,27
	3	S-90-PN				
	2	S-50-PY	%122,46	%102,80	%93,96	%97,54
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%149,74	%139,89	%127,22	%127,01
	7	L-90-PN				
	6	L-50-PY	%89,65	%98,11	%88,85	%88,16
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	%135,86	%124,36	%121,98	%131,27
	3	S-90-PN				
	5	L-50-PN	%149,74	%139,89	%127,22	%127,01
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	%122,46	%102,80	%93,96	%97,54
	4	S-90-PY				
	6	L-50-PY	%89,65	%98,11	%88,85	%88,16
	8	L-90-PY				

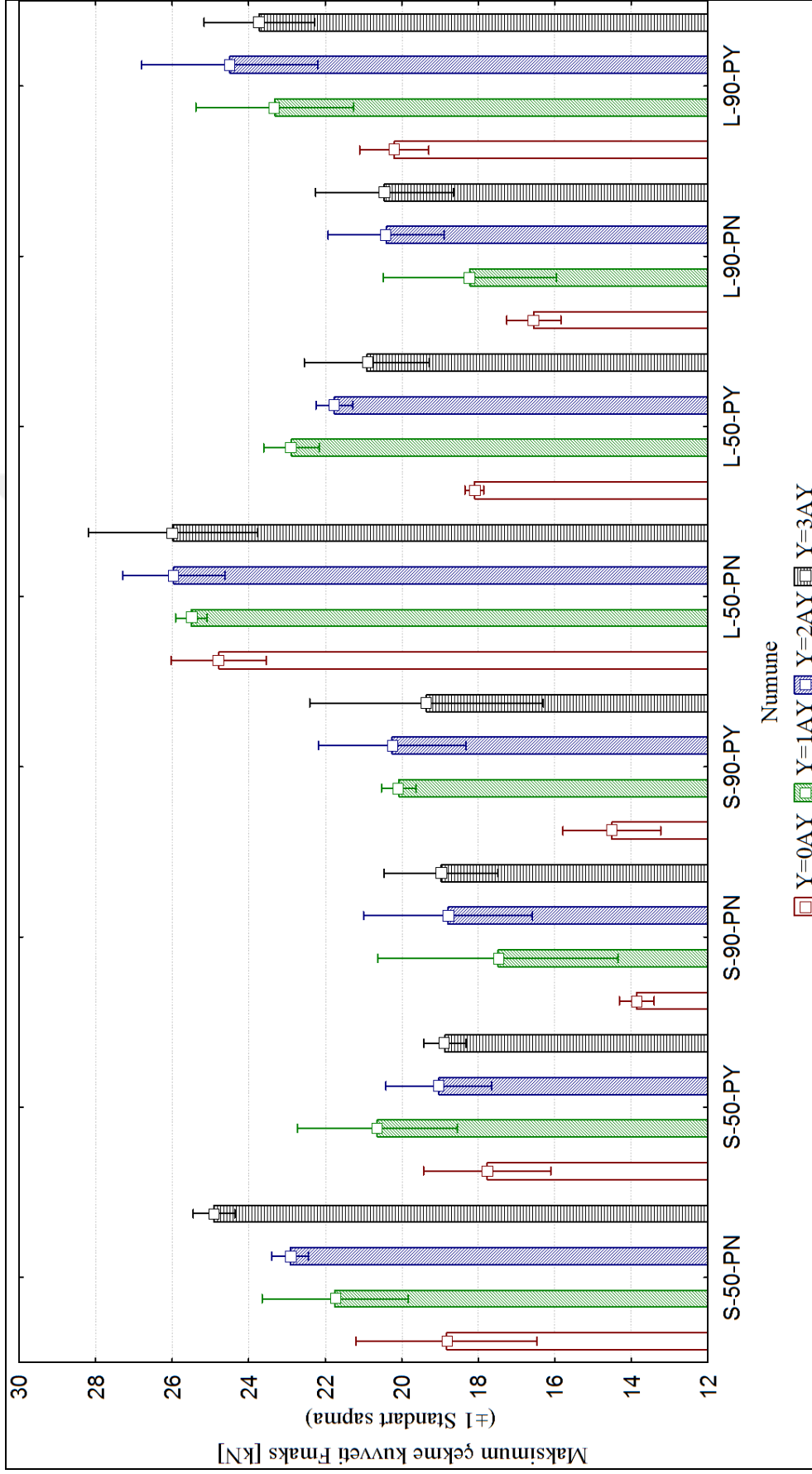
Tablo 3.4 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin maksimum kuvvetlerinin uzun numunelerin maksimum kuvvetlerine oranlarının yüzdesel değişim tablosu

F maks'ın Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre Kısa/Uzun (S/L) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
Rz=50	1	S-50-PN	%75,99	%85,29	%88,28	%95,86
	5	L-50-PN				
	2	S-50-PY	%98,15	%90,19	%87,45	%90,27
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	%83,76	%95,93	%92,07	%92,75
	7	L-90-PN				
	4	S-90-PY	%71,85	%86,08	%82,69	%81,58
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	%75,99	%85,29	%88,28	%95,86
	5	L-50-PN				
	3	S-90-PN	%83,76	%95,93	%92,07	%92,75
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	%98,15	%90,19	%87,45	%90,27
	6	L-50-PY				
	4	S-90-PY	%71,85	%86,08	%82,69	%81,58
	8	L-90-PY				

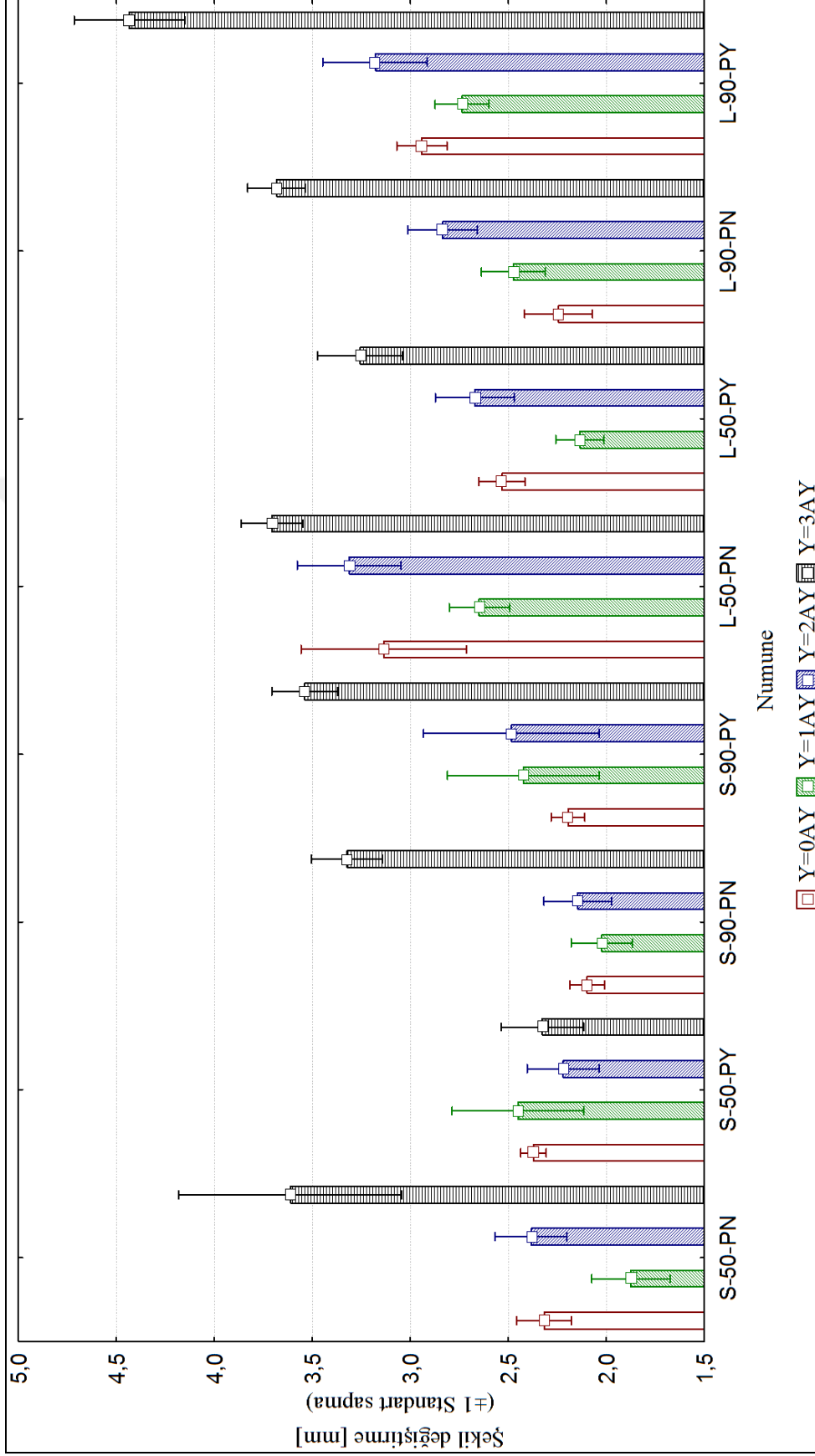
Yaşlandırma sürecinde numune gruplarına göre ortalama maksimum çekme kuvvetinin değerleri ve grafiği Şekil 3.21'de gösterilmektedir. Çift karşılıklı bağlantı elemanlarının çekme deneyi sonuçlarından maksimum çekme kuvvetine göre değerlendirilmesi Şekil 3.22'de gösterilmiştir



Şekil 3.21 Numune gruplarına göre ortalama maksimum çekme kuvvetinin grafiği.



Şekil 3.22 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre, maksimum çekme kuvvetinin (± 1 standart sapma) grafiği



Şekil 3.23 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre şekil değişiminin (± 1 standart sapma) grafiği

Çift karşılıklı bağlantı elemanlarının çekme deneyi sonuçlarından maksimum ortalama şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesi Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

Yaşlanma sürecinde maksimum şekil değiştirmenin kontrol grubuna göre yüzdesel değişimi (Y0/Y0, Y1/Y0, Y2/ Y0 Y3/Y0) Tablo 3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.5 Yaşlanma sürecinde şekil değiştirmenin yüzdesel değişimi

Şekil Değiştirmenin Yaşlanma Sürecinde Yüzdesel Değişimi					
Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
1	S-50-PN	%100,00	%80,87	%102,85	%155,90
2	S-50-PY	%100,00	%103,37	%93,66	%98,10
3	S-90-PN	%100,00	%96,48	%102,27	%158,43
4	S-90-PY	%100,00	%110,38	%113,16	%161,20
5	L-50-PN	%100,00	%84,46	%105,64	%118,18
6	L-50-PY	%100,00	%84,27	%105,46	%128,56
7	L-90-PN	%100,00	%110,30	%126,41	%164,19
8	L-90-PY	%100,00	%93,02	%108,12	%150,77

Birinci grubun [S-50-PN] maksimum ortalama şekil değiştirmesi 2,32 mm olup birinci ayda %19,13 azalmış olup, ikinci ayda ilk sıfır yaşlandırmaya göre %2,85 artmıştır. Üçüncü ayda ise üçüncü ayın yaşlandırılması sonucunda %55,90 artış olmaktadır.

İkinci grup [S-50-PY] 2,37 mm ortalama şekil değiştirmesi olup, birinci ay yaşlandırma sonucunda %3,37 artış ikinci ayın sonunda %6,34 azalma olmuştur. Üçüncü ayın sonunda ise tekrar %1,9'luk azalma göstererek 2,33 mm olarak tamamlanmıştır.

Üçüncü grubun [S-90-PN] maksimum ortalama şekil değiştirmesi 2,1 mm ile başlamış olup, birinci ayın sonunda %96,48 düşmüştür. İkinci ayın sonunda %2,27 artmıştır. Üçüncü ayın sonunda ise başlangıç değerine göre %58,43 artmıştır.

Dördüncü grup [S-90-PY] 2,20 mm ile başlamış olup, birinci ayda %10,38'lik artış sağlamıştır. İkinci ayda %13,16'lık üçüncü ayda ise %61,2 oranında artış sağlayıp 3,54 mm olmuştur.

Beşinci grupta [L-50-PN] maksimum ortalama şekil deęiřtirmesi 3,14 mm ile başlamıř olup, ikinci ayda azalarak %84,46'ya dūřmūř, ikinci ayda %5,64 artmıřtır. Üçüncü ayda ise %18,18 artarak bařlangıca göre 3,71 mm olmuřtur.

Altıncı grup [L-50-PY] 2,53 mm ile başlamıř olup, maksimum ortalama şekil deęiřtirmesi birinci ayda yine dūřüř göstererek %84,27'ye dūřmūř ikinci yařlandırma ayının sonunda %105,46'ya, üçüncü yařlandırma ayının sonunda %128,56'ya ulařmıřtır.

Yedinci grup [L-90-PN] 2,24 mm maksimum ortalama şekil değiştirme ile başlayan grup birinci ayın sonunda %10,3 ortalama artmıştır. İkinci ayın sonunda %26,41 artmıştır, üçüncü ayın sonunda %64,19 arttığı gözlemlenmiştir.

Sekizinci grup [L-90-PY] maksimum ortalama şekil değiştirmesi 2,94 mm ortalamayla başlamış olup, birinci ayın sonunda %93,02'ye dūřmūř, ikinci ayın sonunda %8,12 oranında artmış, üçüncü ayın sonunda ise %50,57 oranında artarak yaşlandırma tamamlanmış olmaktadır.

Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin, astarlı numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi sabit parametrelere göre gruplandırılmış tablosu Tablosu 3.6'da verilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü Rz=50 μ m olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin yüzey pürüzlülüğü Rz=90 μ m olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişim tablosu Tablo 3.7'de verilmektedir.

Maksimum şekil değiştirmenin yaşlanma sürecinde sabit parametrelere göre kısa/uzun (S/L) yüzdesel değişimi Tablo 3.8'de sunulmaktadır.

Tablo 3.6 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin astarlı numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi

Şekil Değiştirmenin Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre Astarsız/astarlı (PN/PY) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%102,31	%130,78	%93,17	%64,38
	2	S-50-PY				
	3	S-90-PN	%104,68	%119,75	%115,82	%106,51
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%80,79	%80,60	%80,65	%87,88
	6	L-50-PY				
	7	L-90-PN	%131,10	%110,56	%112,13	%120,38
	8	L-90-PY				
Rz=50	1	S-50-PN	%102,31	%130,78	%93,17	%64,38
	2	S-50-PY				
	5	L-50-PN	%80,79	%80,60	%80,65	%87,88
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	%104,68	%119,75	%115,82	%106,51
	4	S-90-PY				
	7	L-90-PN	%131,10	%110,56	%112,13	%120,38
	8	L-90-PY				

Tablo 3.7 Yaşlanma sürecinde, yüzey pürüzlülüğü Rz=50 µm olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin yüzey pürüzlülüğü Rz=90 µm olan numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi

Şekil Değiştirmenin Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre Rz50/RZ90 Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%90,50	%107,98	%89,99	%91,97
	3	S-90-PN				
	2	S-50-PY	%92,59	%98,87	%111,86	%152,14
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%71,55	%93,43	%85,61	%99,40
	7	L-90-PN				
	6	L-50-PY	%116,10	%128,16	%119,02	%136,15
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	%90,50	%107,98	%89,99	%91,97
	3	S-90-PN				
	5	L-50-PN	%71,55	%93,43	%85,61	%99,40
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	%92,59	%98,87	%111,86	%152,14
	4	S-90-PY				
	6	L-50-PY	%116,10	%128,16	%119,02	%136,15
	8	L-90-PY				

Tablo 3.8 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin maksimum şekil değiştirmesinin uzun numunelerin maksimum şekil değiştirmesine oranlarının yüzdesel değişimi

Şekil Değiştirmenin Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre Kısa/Uzun (S/L) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
Rz=50	1	S-50-PN	% 135,31	% 141,32	% 138,97	% 102,58
	5	L-50-PN				
	2	S-50-PY	% 106,84	% 87,10	% 120,30	% 140,01
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	% 106,97	% 122,29	% 132,21	% 110,86
	7	L-90-PN				
	4	S-90-PY	% 133,96	% 112,90	% 128,00	% 125,29
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	% 135,31	% 141,32	% 138,97	% 102,58
	5	L-50-PN				
	3	S-90-PN	% 106,97	% 122,29	% 132,21	% 110,86
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	% 106,84	% 87,10	% 120,30	% 140,01
	6	L-50-PY				
	4	S-90-PY	% 133,96	% 112,90	% 128,00	% 125,29
	8	L-90-PY				

Tablo 3.9 Yaşlanma sürecinde tokluk yüzdesel değişimi

Tokluğun Yaşlanma Sürecinde Yüzdesel Değişimi					
Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
1	S-50-PN	% 100,00	% 93,29	% 117,82	% 177,07
2	S-50-PY	% 100,00	% 110,43	% 97,49	% 104,15
3	S-90-PN	% 100,00	% 111,33	% 118,81	% 172,00
4	S-90-PY	% 100,00	% 126,49	% 149,86	% 175,58
5	L-50-PN	% 100,00	% 85,87	% 111,17	% 119,43
6	L-50-PY	% 100,00	% 108,67	% 114,23	% 121,90
7	L-90-PN	% 100,00	% 109,81	% 144,34	% 170,28
8	L-90-PY	% 100,00	% 101,20	% 116,27	% 134,80

Grupların ortalama tokluğu maksimum çekme kuvveti- şekil değiştirmenin eğrisi altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Her bir çekme deneyi için hesaplanan tokluk değerlerinin ortalaması alınarak, gruplar için ortalama tokluk değeri bulunmuştur. Yaşlanma sürecinde tokluğun kontrol grubuna göre yüzdesel değişimi (Y0/Y0, Y1/Y0, Y2/ Y0 Y3/Y0) Tablo 3.9’da görülmektedir.

Birinci grup [S-50-PN] tokluk ortalama değeri 22.511,80 Nmm olup, birinci yaşlandırma ayı sonunda bu değer %93,29'a inmiştir. İkinci ayın sonunda ilk değere

göre %17,82 artmış, üçüncü ayın sonunda ise %77,07 oranında artarak yaşlandırma sürecini tamamlamıştır.

İkinci grup [S-50-PY] 21.116,06 Nmm tokluk ortalamasıyla başlamış ve birinci yaşlandırma ayının sonunda %10,43 artmıştır, ikinci yaşlandırma ayının sonunda %97,49'a gerilemiş ve üçüncü ayın sonunda tekrar artarak %104,15 oranıyla yaşlandırma sürecini tamamlamıştır.

Üçüncü grup [S-90-PN] tokluk ortalaması 16.659,93 Nmm ile başlamış ve birinci ayın sonunda %11,33'lük artış sağlanmıştır. İkinci ayın sonunda %18,81'lik artış sağlanmış ve üçüncü ayın sonunda yaşlandırma bitiminde %72'lik tokluk artışı sağlanmıştır.

Dördüncü grup [S-90-PY] tokluk ortalama değeri 16,948 Nmm olup, birinci yaşlandırma ayının sonunda 21.437,92 Nmm yükselerek %26,49'luk artış sağlamıştır. İkinci ayın sonunda %49,86 üçüncü ayın sonunda %75,58'lik bir tokluk artışı sağlamıştır.

Beşinci grup [L-50-PN] tokluk ortalama değeri 40.317,99 Nmm olup, birinci ayın sonunda bu değer azalarak %85,87'ye düşmüş, ikinci ayın sonunda %11,17'lik artış sağlamış, üçüncü yaşlandırma ayının sonunda %19,43'lük bir artışla yaşlandırmayı bitirmiştir.

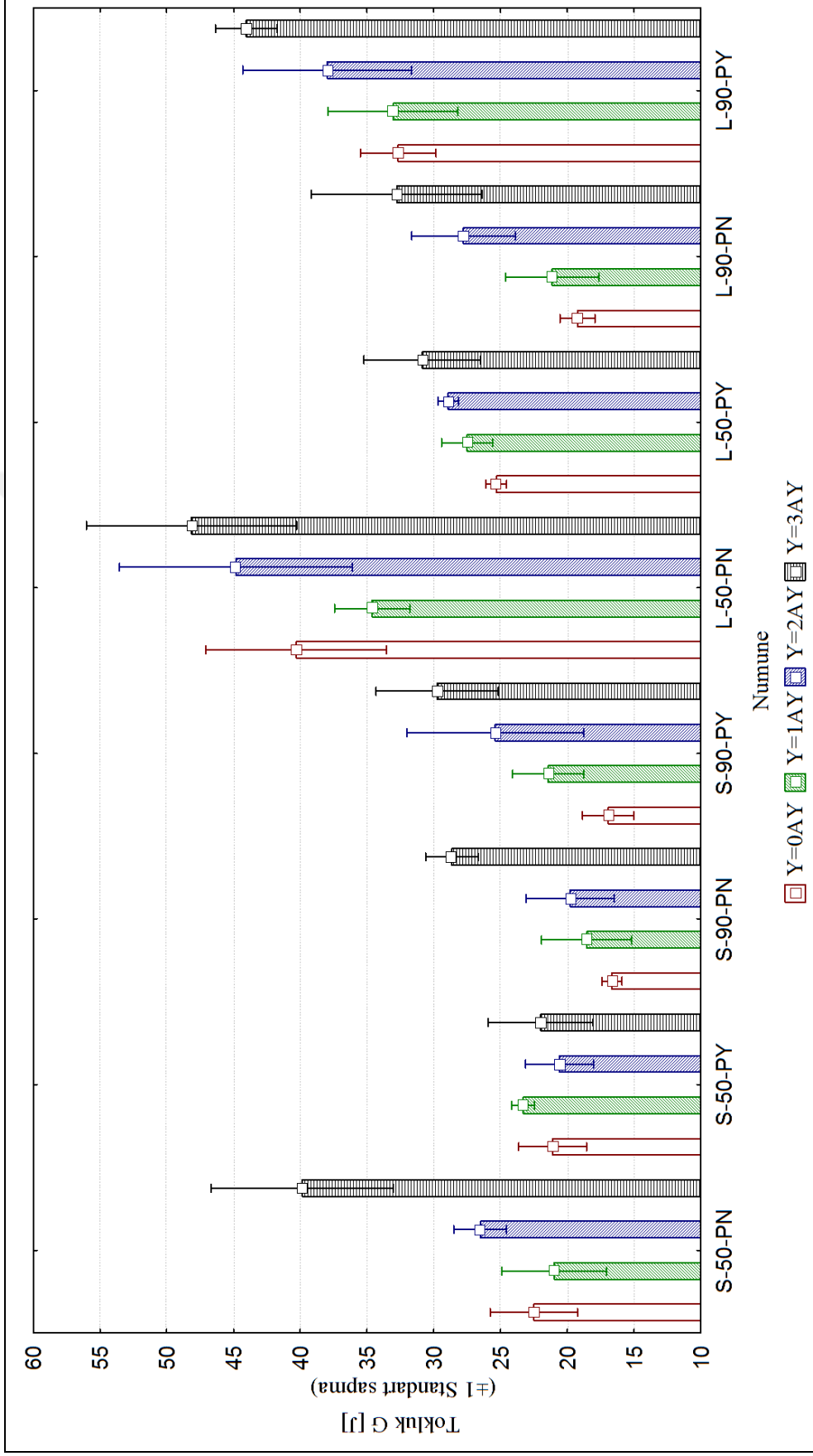
Altıncı grup [L-50-PY] tokluk ortalama değeri 25.326 Nmm ile başlamış olup, birinci ayın sonunda %8,67 artmış, ikinci ayın sonunda %14,23 oranında artmaya devam etmiş, son ay %21,90'lık artışla tamamlamıştır.

Yedinci grup [L-90-PN] ilk ay tokluk ortalama değeri 19.250,88 Nmm olup, birinci ayın sonunda %9,81'lik artış, ikinci ayın sonunda %44,34'lük artış, üçüncü ayın sonunda %70,28'lik artış gerçekleşmiştir.

Sekizinci grup [L-90-PY] 32.671,41 Nmm ilk değerden sonra birinci ayın yaşlandırılması sonunda %1,2 artmış, ikinci yaşlandırma ayının sonunda %16,27 artarak üçüncü ayın sonunda %34,80'lik artışla yaşlandırma periyodunu tamamlamıştır.

S-50-PY numune grubu haricinde 3 aylık yaşlandırma süreci sonunda tokluk değerleri kısa numunelerde %72 -77,07 arasında artmıştır. Uzun numunelerde %19,43 - %70,28 arasında artmıştır. Sadece uzunlukları farklı diğer özellikleri aynı numune grupları (aynı aile) yaşlandırma sürecinde gösterdikleri değişimin, (genlikleri farklı olmakla birlikte) benzer olduğu görülmüştür. Aynı numune ailesinin (kısa, uzun numunelerin) birbiri içinde uyumlu olduğunu göstermektedir.

Çift karşılıklı bağlantı elemanlarının çekme deneyi sonuçlarının tokluğa göre değerlendirilmesi Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin yaşlandırma sürecine göre tokluk (± 1 standart sapma) grafiği

Tablo 3.10 Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin tokluklarının astarlı numunelerin tokluklarına oranlarının yüzdesel değişimi

Tokluğun Yaşlanma Sürecinde Sabit Parametrelere Göre Astarsız/astarlı (PN/PY) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%106,61	%90,06	%128,84	%181,25
	2	S-50-PY				
	3	S-90-PN	%98,30	%86,51	%77,94	%96,30
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%159,19	%125,80	%154,94	%155,95
	6	L-50-PY				
	7	L-90-PN	%58,92	%63,94	%73,14	%74,43
	8	L-90-PY				
Rz=50	1	S-50-PN	%106,61	%90,06	%128,84	%181,25
	2	S-50-PY				
	5	L-50-PN	%159,19	%125,80	%154,94	%155,95
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	%98,30	%86,51	%77,94	%96,30
	4	S-90-PY				
	7	L-90-PN	%58,92	%63,94	%73,14	%74,43
	8	L-90-PY				

Tablo 3.11 Yaşlanma sürecinde, yüzey pürüzlülüğü Rz=50 µm olan numunelerin tokluğunun yüzey pürüzlülüğü Rz=90 µm olan numunelerin tokluğuna oranlarının yüzdesel değişimi

Tokluğun Yaşlanma Sürecinde Sabit parametrelere göre Rz50/RZ90 Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
S	1	S-50-PN	%135,13	%113,23	%134,00	%139,11
	3	S-90-PN				
	2	S-50-PY	%124,59	%108,77	%81,06	%73,91
	4	S-90-PY				
L	5	L-50-PN	%209,43	%163,78	%161,31	%146,89
	7	L-90-PN				
	6	L-50-PY	%77,52	%83,24	%76,15	%70,10
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	%135,13	%113,23	%134,00	%139,11
	3	S-90-PN				
	5	L-50-PN	%209,43	%163,78	%161,31	%146,89
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	%124,59	%108,77	%81,06	%73,91
	4	S-90-PY				
	6	L-50-PY	%77,52	%83,24	%76,15	%70,10
	8	L-90-PY				

Tablo 3.12 Yaşlanma sürecinde, kısa numunelerin tokluğunun uzun numunelerin tokluğuna oranlarının yüzdesel değişimi

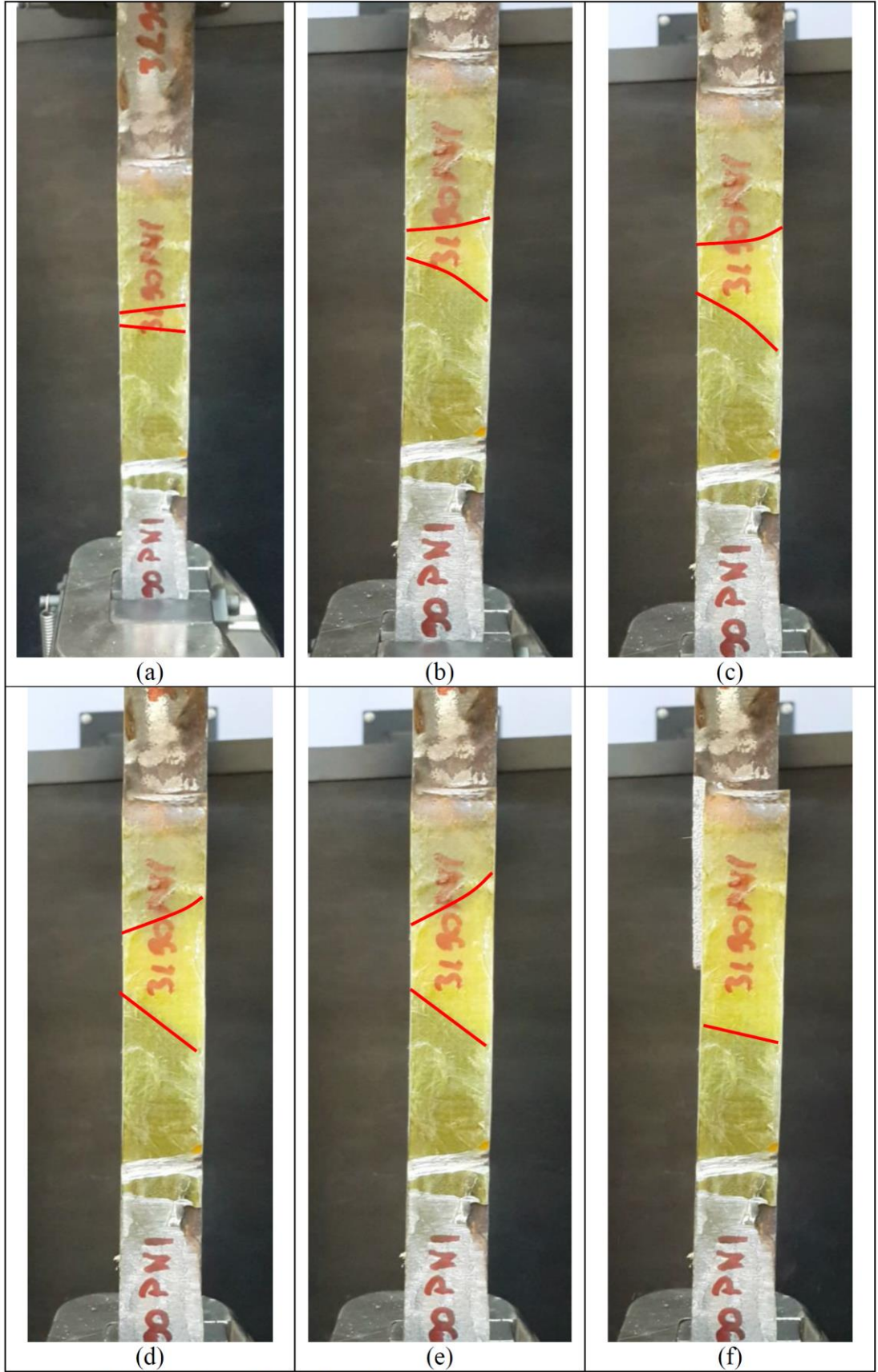
Tokluğun Yaşlanma Sürecinde Sabit parametrelere göre Kısa/Uzun (S/L) Yüzdesel Değişimi						
Sabit Parametre	Grup No:	Grup Kodu:	Y=0AY	Y=1AY	Y=2AY	Y=3AY
Rz=50	1	S-50-PN	%55,84	%60,66	%59,18	%82,78
	5	L-50-PN				
	2	S-50-PY	%83,38	%84,73	%71,16	%71,23
	6	L-50-PY				
Rz=90	3	S-90-PN	%86,54	%87,74	%71,24	%87,42
	7	L-90-PN				
	4	S-90-PY	%51,87	%64,84	%66,86	%67,57
	8	L-90-PY				
PN	1	S-50-PN	%55,84	%60,66	%59,18	%82,78
	5	L-50-PN				
	3	S-90-PN	%86,54	%87,74	%71,24	%87,42
	7	L-90-PN				
PY	2	S-50-PY	%83,38	%84,73	%71,16	%71,23
	6	L-50-PY				
	4	S-90-PY	%51,87	%64,84	%66,86	%67,57
	8	L-90-PY				

Yaşlanma sürecinde, astarsız numunelerin tokluğunun, astarlı numunelerin tokluğuna oranlarının yüzdesel değişimi sabit parametrelere göre gruplandırılmıştır. Tablo 3.10'da verilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü Rz=50 µm olan numunelerin tokluğunun yüzey pürüzlülüğü Rz=90 µm olan numunelerin tokluğuna yüzdesel değişim tablosu Tablo 3.11'de verilmektedir. Tokluğunun yaşlanma sürecinde sabit parametrelere göre kısa/uzun (S/L) yüzdesel değişimi Tablo 3.12'de sunulmaktadır.

Şekil 3.25'te çekme numunesinin test süresince alınan görüntüleri verilmektedir. Şekil 3.25(a)'da çekme kuvveti testinin 56. saniyesinde 10 kN çekme kuvvetinde numunenin durumu görülmektedir. Şekil 3.25(b)'deki görüntülerde çekme testinin 86. saniyesinde numuneye 15 kN uygulanırken görülmektedir. Şekil 3.25(c)'deki görüntülerde çekme testinin 99. saniyesinde numuneye 17,5 kN uygulanırken görülmektedir. Şekil 3.25(d)'deki görüntülerde çekme testinin 102. saniyesinde numuneye 18 kN uygulanırken görülmektedir. Şekil 3.25(e)'deki görüntülerde çekme testinin 109. saniyesinde numuneye 18,89 kN uygulanırken görülmektedir. Şekil 3.25(f)'deki görüntülerde çekme testinde numunenin kopma anı görülmektedir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere numuneye çekme kuvveti artarak uygulanırken,

numunenin ortasında bulunan köpükten başlayarak yaklaşık 45° açıyla yapışma alanında ilerleyen ayrılma doğrusu gözlemlenmektedir. Görüntülerde ayrılma doğrusu kırmızı çizgi ile işaretlenmiştir. Örnek numunede çekme kuvveti 15 kN'a ulaştıktan sonra 45° açıyla yapışma alanını süpüren, ayrılma doğrusu hızla hareket ederek kuvvetin etkidiği alanı hızla azaltmakta ve sonuçta çift karşılıklı bağlantı elemanının kopmasına yol açmaktadır. Süre bakımından olay gözönüne alındığında, çekme testinin 2/3 süresinden sonra 45°'lik açıyla iki yapışma yüzeyinin birbirinden ayrılma doğrusu oluşmaktadır. Test zamanının kalan 1/3'te ayrılma doğrusu hızla hareket ederek kuvvetin etkidiği alanı süpürerek küçültmektedir.

Sonuç olarak numunenin yapısal bütünlüğü bozularak çift karşılıklı bağlantı elemanının oluşturan çelik ve CTP birbirinden ayrılmaktadır. Ayrılma doğrusunun oluşumu testlerin tamamında gözlemlenmiştir.



Şekil 3.25 Çift karşılıklı bağlantı elemanı numunelerinin çekme testinde kopma süreci

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Denizel ortamda ıslanma ve kuruma döngüsünün cam takviyeli plastik malzemelerin performansına etkisinin deneysel olarak araştırılmasında; ıslanma ve kuruma döngüsünün oluşturulması ve hazırlanacak numunelerin bu döngüde hızlandırılarak yaşlandırılması çalışmanın genel yöntemini teşkil etmektedir. Bu deneyler için test düzeneği seçiminde denizel ortam koşullarına en uygun olan, ortamı simüle edebilecek test düzenekleri ve cihazları araştırılması yapılmış ve hızlı yaşlandırma yapabilecek bir tuzlu su sis kabini temin edilmiştir. Bu kabinde iklimlendirme çeşitleri; tuz sisi, yoğunlaştırılmış nem (yağmurlama), hava kurutma kontrollü nem olup, iklimler otomatik olarak sıralı ve tekrarlı programlanabilmektedir.

Çalışma bağlamında yapılan kabin programı numunelere uygulanacak 24 saatlik ıslanma ve kuruma döngüsünde; birinci fazda ilk 8 saatte kabin sıcaklığı 45 °C 'den 60 °C.'ye çıkartılırken tuz sisi yapılması, ikinci fazda %100 bağıl nemde 8 saat bekleme yapılması, üçüncü fazda kabin sıcaklığının 60°C 'den 45 °C'ye düşerken 8 saat kurutma yapılması şeklinde uygulanmıştır.

Çalışılacak malzeme seçilirken öncelikle, metal gövdeli bir teknenin kompozit güverte birleşimi için form geliştirilmiştir Bu formun kolay uygulanabilir olması için çift karşılıklı bağlantı sistemi kullanılmıştır. Bu sayede, tekne gövdesine kolaylıkla dikey olarak güverte duvarlarını oluşturacak laminasyonların yapıştırılabilmesi sağlanmıştır.

- ASTM D3528 uyarınca çift karşılıklı bağlantı numunelerinde üstüste yapışma uzunluğu da bir performans parametresi olarak seçilmiş ve $l = 25,4$ mm alınmıştır. Ayrıca bu uzunluğun iki katı bindirme değeri olarak numune üretiminde kullanılmıştır.
- Çift karşılıklı bağlantı yapılırken, epoksi astar kullanımının bağlantının mukavemetini artırabileceği öngörülerek bu unsur da bir performans kriteri olarak çalışmaya eklenmiştir.

- Çelik yüzey pürüzlülüğü bir performans parametresi olarak ve iki farklı değerde (Rz 50 µm ve Rz 90 µm) ele alınmıştır.
- Çift karşılıklı bağlantı numunesi 24 saatlik ıslanma döngüsünde 30, 60, 90 gün yaşlandırıldıktan sonra çekme testine tabi tutulmuştur

Yukarıda belirtilen kriterleri analiz edebilmek için sekiz adet numune grubu oluşturulmuştur. Her bir numune grubundan üç adet yaşlandırma süreci ve yaşlandırılmamış bir adet kontrol grubu için toplam dört set numune üretilmiştir. Her bir numune seti deneysel hataları en aza indirmek için beş adet numune olmak üzere toplamda 160 adet numune üretilmiştir.

Bağlantı sisteminin yaşlanmasını anlayabilmek için bağlantının kompozit bileşeni de ayrıca levha olarak üretilip aynı yaşlandırma programına tabi tutulmuştur. Cam takviyeli epoksi levhaların yaşlanma sürecinde kütle artışları ve testlerle mekanik performansı incelenmiştir. Bu bağlamda,

- Kompozit parçaların toplam üç aylık yaşlanma sürecinde kabin içi sıcaklığının etkisi ile kürlenmesi devam ederek mekanik özelliklerinde artış görülmüştür.
- Kompozit levhaların maksimum kütle artışı ilk ayda gerçekleşmiş olup sonrasında, numunelerde bu kütle kaybını koruma veya kütle kazanımının azalma eğilimi görülmüştür.
- Kütle kazanımının ilk aydan sonra durması ve / veya sonraki aylarda kazanılan kütle kaybına sebep olarak yaşlandırma programında uygulanan ıslanma ve kuruma döngüsü görülmektedir.

Kürlenme, üç boyutlu çapraz bağlı termoset yapıdaki sertleştirici ile epoksi reçinenin tepkimeye girmesiyle sıvı halden jelleşmesi ve takiben katılaşma sürecidir. Post kürlenme katılaşma sonrası üç boyutlu polimer zincir oluşumunun kısa sürede tamamlanması ve mekanik özelliklerin iyileşmesi için uygulanır. Post kürlenme sürecinde sıcaklık ve zaman, numunelerin mekanik özelliklerini değiştiren faktörlerdir. Çalışmada post kürlenme yapılmadan korozyon kabini, ıslanma-

kuruma döngüsünde numunelerin yaşlandırılması, numunelerde post kürlenme işlevini görmüş ve sonucunda çift karşılıklı hibrit bağlantının kompozit parçalarında ve yapışma yüzeylerinde mekanik değerlerin yükseldiği tespit edilmiştir.

Çelik teknelerde sacların ve profil gövdelerinin kalınlıklarında lokal olarak Türk Loydu'nun izin verdiği en büyük azalma, et kalınlığının % 10'dur. Bundan fazla kalınlıkta azalmada malzemenin ömrünün tamamlandığı kabul edilir. Üretimi yapılan çift karşılıklı bağlantının yaşlanma sürecinde, bağlantının çelik plakaları epoksi ile kaplanmış olmasına rağmen, çelikte korozyon ilerlemiş ve üçüncü ayın sonunda çelik numunelerde lokal korozyon oluşmuştur. Korozyon sonucu çelik plakaların et kalınlığında bölgesel olarak %13 - %32,5 oranında düşüş olmuştur. Bu nedenle numunelerin ömrünü tamamladığı kabul edilebilir. Bağlantıyı oluşturan çelik plakaların 90 günlük ıslanma ve kuruma döngüsünde ömrünün bitmesine rağmen, çift karşılıklı bağlantıyı oluşturan cam takviyeli epoksi yaşlanma sürecinde kürlenmeye devam ederek, üretildiği ilk zamana göre yaşlandırma sürecinden bağ mukavemeti artarak çıkmıştır. Bu durum, numune hizmet süresince bağlantının sağlıklı kaldığını göstermektedir.

Astar kullanımı yüzey pürüzlülüğü yüksek olan numunelerde, yüzey pürüzlülüğü düşük olan numunelere göre daha iyi sonuç vermiştir. Yüzey pürüzlülüğü düşük numunelerde astar kullanıldığında çift karşılıklı bağlantının çekme mukavemetini düşürmüştür. Bu nedenle astar kullanımı yüzey pürüzlülüğü yüksek olan çelik levhaların cam takviyeli epoksi ile birleşmesinde kullanılmasının uygun olacağı not edilmiştir.

Astarlı numunelerin düşük yüzey pürüzlülüğü olanlarında bağ mukavemetinin, yaşlandırmanın ilk ayının sonuna kadar, yüksek yüzey pürüzlülüğü olanlarında ikinci ayının sonuna kadar arttığı, sonra azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalmaya rağmen maksimum kuvvet başlangıç değerinin üstündedir. 90 günlük yaşlandırma sürecinin her aşamasında astarsız numunelerin bağ mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir.

Rz 50 µm yüzeye sahip numuneler astar kullanılmadığı durumlarda Rz 90 µm'e göre yüksek performans göstermiştir. Astarsız Rz50 µm /Rz90 µm performansı kısa numunelerde 1,3 katına uzun numunelerde yaklaşık 1,5 katına çıkmıştır.

Yaşlandırmanın son ayında bu seviye kısa numunelerde 1,3 katının altına uzun numunelerde 1.25 katına inmiştir. Bu oranların inmesinin nedeni, astarsız Rz 90 µm yüzeye sahip numunelerin yaşlandırma sürecinde kürlenerek daha yüksek çekme mukavemetine ulaşmalarıdır. Astarsız numunelerin hepsinde yaşlanma sürecinde, bağ mukavemetinde düşme olmadığını not etmek gereklidir.

Astarlı numunelerin yüzey pürüzlülüğü üzerinden mukavemet performansı değerlendirildiğinde, kısa numunelerde Rz 50 µm uzun numunelerde Rz 90 µm daha iyi olduğu görülmüştür. Yaşlandırma sürecinde Rz 90 µm yüzeye sahip numuneler Rz 50 µm göre daha yüksek performans göstererek, Rz 50 µm numunelerin maksimum kuvvet değerlerini geçmiştir.

Yapışma yüzey uzunluğu 2L boyunda olan numunelerin çekme testinden elde edilen bağ mukavemeti, L boyunda olan kısa numunelere göre lineer bir artış göstermemesinin sebepleri, hasar mekanizmasının gözlemlenmesiyle anlaşılabilmiştir. Bu bağlamda,

- Yüzey pürüzlülüğü nedeniyle, yapışma yüzeyinde mikro gözenekler arttığından yapışkanın tutuculuğu azalır, mikro gözeneklerde dinamik yükleme sonucu hasar (yırılma / kopma) başlar.
- Pürüzlü yüzeylerde tüm temizleme çalışmalarına rağmen mikro partiküller kalmakta, bu durum da yapışma özelliklerini azaltmaktadır.
- Yapışma yüzeyi büyütülmesine rağmen yükte lineer bir artış olmamaktadır. Çünkü hasar mekanizması benzer şekilde başlayıp daha yüksek yükte benzer şekilde ilerlemektedir.

Çekme testi fotoğraflarında (Şekil 3.25) görülebileceği gibi ayrılma doğrusunun hareket etmeye başlamasıyla, çekme kuvvetinin etkideği yapışma alanı hızla azalmaktadır. Yapışma alanının azalması nedeniyle, çekme kuvveti yönünde L boyunun iki katı olmasına rağmen etkiyen maksimum çekme kuvveti lineer artmamıştır.

Rz=50 yüzey pürüzlüğüne sahip astarlı kısa numune seti hariç, tüm numunelerde kısa numunenin yaşlanmayla birlikte, uzun numunenin bağ mukavemeti değerine yaklaştığı görülmüştür. ([S-50-PY] iyi yüzeye sahip bu numune grubunda astar kullanımı düşük mukavemette bağlantı oluşmasına sebep olmuştur.) Bunun nedeni yaşlanma arttıkça uzun numunede bağ mukavemeti artışının azalması, buna karşı kısa numunede hızlı yükselmesidir. Ayrıca uzun numunelerde kürlenmenin daha az, yaşlanmanın daha fazla etkisini göstermiş olması da bir etkidir.

Bağlantının daha mukavim olmasını sağlamak amacıyla ayrılma doğrusunun hareket yönünde (etkiyen kuvvetin doğrultusuna 45° açıyla) civatalı bağlantının yapılması önerilebilecektir. Civatalı bağlantı yapılmasının ayrılma doğrusunun ilerlemesini yavaşlatacağı düşünülmektedir.

En iyi bağlantı şeklinin Rz=50µm yüzeye sahip uzun çelik levhalarla astar kullanmadan cam takviyeli epoksi ile (vakum altında) birleştirilmesi olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılacak bağlantı yerinde çelik levhaların yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu uygulamalarda astar kullanımı bağlantının bağ mukavemetini arttıracaktır.

KAYNAKLAR

Adams, R. D., ve Wake, W. C. (1984). The nature and magnitude of stresses in adhesive joints. *Structural Adhesive Joints in Engineering* (1. baskı) içinde (14-114). Netherlands: Springer.

Ailor, W. H. (Ed.). (1982). *Atmospheric corrosion*. New York: John Wiley & Sons.

Ambler, H. R., ve Bain, A. A. J. (1955). Corrosion of metals in the tropics. *Journal of Applied Chemistry*,5(9), 437-467.

Amer, M.S., Koczak, M.J. ve Schadler, L.S. (1995). Environmental degradation of the interface in graphite/epoxy single filament composites measured using Raman spectroscopy: Effect of hydrothermal and thermal exposure at 100°C. *Composite Interfaces* 3(1) 41-50.

Anderson, G. L., Robertson, R. C., Peterson, B. L., ve Dillard, D. A. (1994). Embedded piezoelectric sensors to measure peel stresses in adhesive joints. *Experimental Mechanics*, 34(3), 194-201.

Apicella, A., Migliaresi, C., Nicolais, L., Iaccarino, L., ve Roccotelli, S. (1983). The water ageing of unsaturated polyester-based composites: influence of resin chemical structure. *Composites*, 14(4), 387-392.

Apicella, A., ve Nicolais, L., (1985). Effect of water on the properties of epoxy matrix and composite. *Epoxy resins and composites I* içinde (69-77). Berlin Heidelberg: Springer

Apicella, A., Nicolais, L., Astarita, G., ve Drioli, E. (1979). Effect of thermal history on water sorption, elastic properties and the glass transition of epoxy resins. *Polymer*, 20(9). 1143-1148.

Apicella, A., Nicolais, L., Astarita, G., ve Drioli, E. (1981). Hygrothermal history dependence of equilibrium moisture sorption in epoxy resins. *Polymer*, 22(8), 1064-1067.

Apicella, A., ve Nicolais, L. (1981). Environmental aging of epoxy resins: synergistic effect of sorbed moisture, temperature, and applied stress. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 20(1), 138-144.

Apicella, A., ve Nicolais, L. (1984). Role of processing on the durability of epoxy composites in humid environments. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 23(2), 288-297.

Apicella, A., Nicolais, L., ve De Cataldis, C. (1985). Characterization of the morphological fine structure of commercial thermosetting resins through hygrothermal experiments. *Characterization of Polymers in the Solid State I: Part A: NMR and Other Spectroscopic Methods Part B: Mechanical Methods içinde* (189-207). Heidelberg Berlin: Springer.

Ascot korozyon test kabinleri ve aksesuarları kataloğu (2014). 17 Ocak 2016, http://www.ascott-analytical.com/Ascott_brochure_TURKISH.pdf

Ashbee, K. H. G., ve Wyatt, R. C. (1969, September). Water damage in glass fibre/resin composites. *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 312, No. 1511) içinde (553-564). Londra:The Royal Society.

ASTM B117-16 (2016). *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 17 Ocak 2016, <http://dx.doi.org/10.1520/B0117-16>

ASTM D3039/D3039M-14 (2014). *Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 17 Ocak 2016, http://dx.doi.org/10.1520/D3039_D3039M-14

ASTM D3528 (2016). *Standard test method for strength properties of double lap shear adhesive joints by tension loading*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 17 Ocak 2016, <http://dx.doi.org/10.1520/D3528-96R16>

ASTM G85-11 (2011). *Standard practice for modified salt spray (fog) testing*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 17 Ocak 2016, <http://dx.doi.org/10.1520/G0085-11>

Bakis, C. E., Ganjehlou, A., Kachlakev, D. I., Schupack, M., Balaguru, P. N., Gee, D. J., ve Kligler, H. S. (2002). Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. *ACI Committee*, 440(2002).

Baird, J. P., Williamson, H. M., Clark, R. K., ve Brown, E. (1991). A new holographic technique for the detection of fatigue cracks in riveted aircraft structures. *International Conference on Aircraft Damage Assessment and Repair: 1991; Preprints of Papers* içerisinde (11). Australia: Institution of Engineers.

Bao, L.-R., ve Yee, A.F., (2002). Moisture diffusion and hygrothermal aging in bismaleimide matrix carbon fiber composites – part I: uni-weave composite. *Composite Science and Technology*, 62(16), 2099-2110.

Belingardi, G., Goglio, L., ve Tarditi, A. (2002). Investigating the effect of spew and chamfer size on the stresses in metal/plastics adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22(4), 273-282.

- Boinard, P., Banks, W. ve Pethrick, R. (2005). Changes in the dielectric relaxations of water in epoxy resin as a function of the extent of water ingress in carbon fibre composites. *Polymer*, 46(7), 2218-2229.
- Bonniau, P., ve Bunsell, A. R. (1981). A comparative study of water absorption theories applied to glass epoxy composites. *Journal of Composite Materials*, 15(3), 272-293.
- Boss, J.N., Ganesh, V.K. ve Lim, C.T. (2003). Modulus grading versus geometrical grading of composite adherends in single-lap bonded joints. *Composite Structures*, 62(1), 113-121.
- Browning, C. E. (1978). The mechanisms of elevated temperature property losses in high performance structural epoxy resin matrix materials after exposures to high humidity environments. *Polymer Engineering & Science*, 18(1), 16-24.
- Buck, S. E., Lischer, D. W., ve Nemat-Nasser, S. (1997). The combined effects of load, temperature and moisture on the durability of E-glass/vinyl ester composite materials. *39th International SAMPE Symposium, Evolving Technologies for the Competitive Edge*, 42, 444-454.
- Cabral - Fonseca, S., Correia, J. R., Rodrigues, M. P., ve Branco, F. A. (2012). Artificial accelerated ageing of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinylester resins: characterisation of physical-chemical and mechanical damage. *Strain*, 48(2), 162-173.
- Cabral-Fonseca, S., Nunes, JP., Rodrigue, M.P. ve Eusébiob, M.I. (2009). Durability of epoxy adhesives used to bond CFRP laminates to concrete structures. *Proceedings of 17th International Conference of Composite Materials - ICCM 17*. Edinburgh, UK.

Chamis, C.C. ve Murthy, P.L.N. (1991). Simplified procedures for designing adhesively bonded composite joints. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 10(1), 29-41.

Chang, Y. J., Chen, C. T., ve Tobolsky, A. V. (1974). Correlations between types of absorbed water molecules and water permeability in swollen polymer membranes. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*, 12(1), 1-6.

Chauchot, P., ve Guillermin, O. (1987). On the use of composite materials for 6000 m containers case of the magnetometer of the SAR. *Materials Science Monographs*, 41, 315-328.

Choqueuse, D., Davies, P., Mazeas, F., ve Baizeau, R. (1997). Aging of composites in water: Comparison of five materials in terms of absorption kinetics and evolution of mechanical properties. *High Temperature and Environmental Effects on Polymeric Composites* (2. Baskı) içinde (73). ASTM International.

Coelho, M. R., Sena-Cruz, J. M., ve Neves, L. A. (2015). A review on the bond behavior of FRP NSM systems in concrete. *Construction and Building Materials*, 93, 1157-1169.

Committee IE. ISIS Canada (2006). *Canada educational module no. 8: Durability of FRP composites for construction.*, 14 Aralık 2015 <https://tr.scribd.com/document/217068360/ISIS-EC-Module-8-Notes-Student>

Davies, P., ve Lemoine, L., (Ed.). (1992). Nautical construction with composite materials. *Proc. 3rd International Conference on Nautical Construction with Composite Materials*.

Davies, P., Pomies, F., ve Carlsson, L. A. (1996). Influence of water and accelerated aging on the shear fracture properties of glass/epoxy composite. *Applied Composite Materials*, 3(2), 71-87.

- Da Silva, L.F.M. ve Adams, R.D. (2007a). Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherends and dual adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27(3), 216-226.
- Da Silva, L.F.M. ve Adams, R.D. (2007b). Techniques to reduce the peel stresses in adhesive joints with composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27(3), 227-235.
- De la Osa, O., Alvarez, V.A., Fraga, A.N., Mammone, E. M. ve Va' zquez, A. (2006). Loss of Mechanical Properties by Water Absorption of Vinyl-Ester Reinforced with Glass Fiber. *Journal of Reinforced, Plastic & Composites*, 25(2), 215–221.
- De la Osa, O., Alvarez, V.A., Fraga, A.N., Mammone, E.M. ve Va' zquez, A., (2007). Cyclic water absorption behavior of glass–vinylester and glass–epoxy, Composites. *Journal of Composite Meterials*, 41(10), 1275–1289.
- De Lorenzis, L. ve Teng, JG. (2007). Near-surface mounted FRP reinforcement: an emerging technique for strengthening structures. *Composites Part B: Engineering*, 38(2), 119-43.
- Dewimille, B., ve Bunsell, AR., (1982). The modelling of hygrothermal aging in glass fibre reinforced epoxy composites. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 15(10), 2079.
- Dillard, D. A., Anderson, G. L., ve Davis Jr, D. D. (1989). A preliminary study of the use of kynar piezoelectric film to measure peel stresses in adhesive joints. *The Journal of Adhesion*, 29(1-4), 245-255.
- Duratek (2012). *Duratek GR 4480 Solventli yüzey toleransli epoksi astar*. Duratek Epoksi ve Poliüretan Sistemleri, İstanbul.

Duratek (2015). *Duratek 1000 epoxy based fibre lamination resin revizyon*. Duratek Epoksi ve Poliüretan Sistemleri, İstanbul.

Duncan, J. R. ve Ballance, J. A. (1988). Marine salts contribution to atmospheric corrosion, S. W. Dean ve T. S. Lee, (Ed.), *Degradation of metals in the atmosphere ASTM STP 965* içinde (317-326) West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.

Eliss, B. (1993). The kinetics of cure and network information. B. Eliss (Ed.), *Chemistry and Technology of Epoxy Resins* içinde (72-116). Londra: Chapman and Hall

El Yagoubi, J., Lubineau, G., Saghir, S., Verdu, J., ve Askari, A. (2014). Thermomechanical and hygroelastic properties of an epoxy system under humid and cold-warm cycling conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 99, 146-155.

Erdemir grubu ürün kataloğu (2015) 17 Ocak 2016, https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Urun_katalog-TR-1210.pdf

Filiou, C., Galiotis, C. ve Batchelder, D.N. (1992). Residual stress distribution in carbon fibre/ thermoplastic matrix pre-impregnated composite tapes. *Composites*, 28(1), 28-37.

Fitton, M.D. ve Broughton, J.G. (2005). Variable modulus adhesives: an approach to optimized joint performance. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 25(4), 329-336.

Fraga, A.N., Alvarez, V.A., Va' zquez, A. ve De la Osa, O. (2003). Relationship between dynamic mechanical properties and water absorption of unsaturated polyester and vinylester glass fiber composite. *Journal of Composite Materials*, 37 (17), 1553-1574.

- Frigione, M., Naddeo, C., ve Acierno, D. (2001). Cold-curing epoxy resins: aging and environmental effects. part II-mechanical properties. *Journal of Polymer Engineering*, 21(4), 349-368.
- Ganesh, V.K., Ramakrishna, S. ve Leek, H.J. (1998). Fiber reinforced composite based functionally gradient materials. *Advanced Composites Letters*, 7(4), 111-115.
- Ghorbel, I., (1990). *Mecanismes d'endommagement des tubes verre-resine pour le transport d'eau chaude*. Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure des mines, Paris.
- Gibson, A.G., (1993). Composites structures in offshore applications. R.A. Shenoi ve J.F. Wellicome, (Ed.) *Composite Materials in Maritime Structures*, içinde (280-307). UK: Cambridge Ocean Technology Series.
- Graner, W. R. (1982). Marine applications. *Handbook of Composites* (699-721). US.:Springer
- Grant, T.S., (1991). *Seawater degradation of polymeric composites*. Yüksek Lisans Tezi, Texas A&M University, Texas.
- Gregory, D.A., (1979). Laser speckle photography and the submicron measurement of surface deformations on engineering structures. *NDT International* 12(2), 61 -70
- Gutierrez., J., LeLay, F., ve Hoarau, P., (1983).A study of the aging of glass fibre-resin composites in a marine environment. *Composites*, 14, (4), 388.
- Huang, Y., ve Young, R. J. (1996). Interfacial micromechanics in thermoplastic and thermosetting matrix carbon fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 27(10), 973-980.

Hull, D. (1992). *Introduction for composite materials*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Ivanova, K.I., Pethrick, R.A., ve Affrossman, S., (2000). Investigation of hydrothermal ageing of a filled rubber toughened epoxy resin using dynamic mechanical thermal analysis and dielectric spectroscopy. *Polymer*, 41(18), 6787-6796.

Kaye, R.H. ve Heller, M. (2002). Through-thickness shape optimization of bonded repairs and lap-joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 22(1), 7-21.

Kelen, T. (1983). *Polymer degradation*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Kenig, S., Moshonov, A., Shucrun, A., ve Marom, G. (1989). Environmental effects on shear delamination of fabric-reinforced epoxy composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 9(1), 38-45.

Kim, J.S., Kim, C.G. ve Hong, C.S. (2001). Practical design of tapered composite structures using the manufacturing cost concept. *Composite Structures*, 51(3), 285-299.

King, G. A. ve O'Brien, D. J. (1995). The influence of marine environments on metals and fabricated coated metal products, freely exposed and partially sheltered. W. W. Kirk ve H. H. Lawson, (Ed.), *Atmospheric Corrosion, ASTMSTP 1239* içinde (167-192), West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.

- Koros, W. J., ve Paul, D. R. (1980). Sorption and transport of CO₂ above and below the glass transition of poly (ethylene terephthalate). *Polymer Engineering & Science*, 20(1), 14-19.
- Ladeveze, P. (1991). On a damage mechanics approach. D. Baptiste, (Ed.). *Mechanics and Mechanisms of Damage in Composites and Multimaterials* içinde (119). London, UK: ESIS Publication
- Lagrange, A., Melennec, C., ve Jacquemet, R., (1991). Influence of various stress conditions on the moisture diffusion of composites in distilled water and natural sea water. A.H. Cardon, G Verchery (Ed.), *Durability of Polymer Based Composites Systems for Structural Applications* içinde 385-392, Amsterdam: Elsevier.
- Lang, T. ve Mallick, K. (1999). The effect of recessing on the stresses in adhesively bonded single-lap joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 19(4), 257-271.
- Lekatou, A., Faidi, S. E., Ghidaoui, D., Lyon, S. B., ve Newman, R. C. (1997). Effect of water and its activity on transport properties of glass/epoxy particulate composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(3), 223-236.
- Lettieri, M., ve Frigione, M. (2012). Effects of humid environment on thermal and mechanical properties of a cold-curing structural epoxy adhesive. *Construction and Building Materials*, 30, 753-760.
- Lévêque, D., Schieffer, A., Mavel, A., Chemineau, N., ve Maire, J. F. (2002). Analyse multiéchelle des effets du vieillissement sur la tenue mécanique des composites à matrice organique. *Revue des composites et des matériaux avancés*, 12(1), 139-162.

- 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. *Journal of Advanced Materials*, 30(4), 3-40.
- Lin, Y. ve Chen, X. (2005) Moisture sorption-desorption-resorption characteristics and its effect on the mechanical behavior of the epoxy system. *Polymer*, 46(25), 11994-12003.
- Loos, A. C., ve Springer, G. S. (1979). Effects of thermal spiking on graphite-epoxy composites. *Journal of Composite Materials*, 13(1), 17-34.
- Mallick, K. (1993). *Fiber-reinforced composites*. (2) New York: Marcel Dekker.
- Mazumdar, S.K. ve Mallick, K. (1998). Static and fatigue behavior of adhesive joints in smc-smc composites. *Polymer Composites*, 19(2), 139-146.
- Melanitis, N., Galiotis, C., Tetlow, P. L., ve Davies, C. K. L. (1993). Monitoring the micromechanics of reinforcement in carbon fibre/epoxy resin systems. *Journal of Materials Science*, 28(6), 1648-1654.
- Mercier, J., Bunsell, A., Castaing, P., ve Renard, J. (2008). Characterisation and modelling of aging of composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(2), 428-438.
- Merdas, I., ThomINETTE, F., Tcharkhtchi, A., ve Verdu, J. (2002). Factors governing water absorption by composite matrices. *Composites Science and Technology*, 62(4), 487-492.

- Michels, J., Widmann, R., Czaderski, C., Allahvirdizadeh, R., ve Motavalli, M. (2015). Polymer Coass transition evaluation of commercially available epoxy resins used for civil engineering applications. *Composites Part B: Engineering*, 77, 484-493.
- Mikols, W. J., Seferis, J. C., Apicella, A., ve Nicolais, L. (1982). Evaluation of structural changes in epoxy systems by moisture sorption - desorption and dynamic mechanical studies. *Polymer Composites*, 3(3), 118-124.
- Morcillo, M., Chico, B., Otero, E., ve Mariaca, L. (1999). Effect of marine aerosol on atmospheric corrosion. *Materials Performance*, 38(4) 72-77.
- Moussa, O., Vassilopoulos, A. P., ve Keller, T. (2012). Effects of low-temperature curing on physical behavior of cold-curing epoxy adhesives in bridge construction. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 32, 15-22.
- Moussa, O., Vassilopoulos, A. P., de Castro, J., ve Keller, T. (2012). Time-temperature dependence of thermomechanical recovery of cold-curing structural adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 35, 94-101.
- Moy, P., ve Karasz, F. E. (1980). Epoxy - water interactions. *Polymer Engineering & Science*, 20(4), 315-319.
- Nogueira, P., Ramirez, C., Torres, A., Abad, M. J., Cano, J., Lopez, J., ve Barral, L. (2001). Effect of water sorption on the structure and mechanical properties of an epoxy resin system. *Journal of Applied Polymer Science*, 80(1), 71-80.
- Owens, J.F.P. ve Lee-Sullivan, P. (2000). Stiffness behaviour due to fracture in adhesively bonded composite-to-aluminum joints-II: Experimental. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20(1), 47-58.

- Patrick, R. L. (Ed.). (1976). *Treatise on adhesion and adhesives: structural adhesives with emphasis on aerospace applications*. (4. baskı) New York: Marcel Dekker Inc.
- Pavlidou, S., ve Papaspyrides, C. D. (2003). The effect of hygrothermal history on water sorption and interlaminar shear strength of glass/polyester composites with different interfacial strength. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 34(11), 1117-1124.
- Pritchard, G., ve Speake, S. D. (1987). The use of water absorption kinetic data to predict laminate property changes. *Composites*, 18(3), 227-232.
- Rastogi, N., Soni, S.R. ve Nagar, A. (1998). Thermal stresses in aluminium to composite double-lap bonded joints. *Advances in Engineering Software*, 29(3-6), 273-281.
- Renard, J., Favre, J. P., ve Jeggy, T. (1993). Influence of transverse cracking on ply behavior: introduction of a characteristic damage variable. *Composites Science and Technology*, 46(1), 29-37.
- Rispler, A.R., Tong, L., Steven, G.P. ve Wisnom, M.R. (2000). Shape optimisation of adhesive fillets. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 20(3), 221-231.
- Sato, N., Tatsuda, N., ve Kurauchi, T. (1992). Application of laser Raman spectroscopy to the analysis of stress distribution of fibres in composites. *Journal of Materials Science Letters*, 11(6), 365-366.
- Schadler, L. S., Laird, C., Melanitis, N., Galiotis, C., ve Figueroa, J. C. (1992). Interfacial studies on carbon/thermoplastic model composites using laser Raman spectroscopy. *Journal of Materials Science*, 27(6), 1663-1671.

- Selzer, R., ve Friedrich, K. (1997). Mechanical properties and failure behaviour of carbon fibre-reinforced polymer composites under the influence of moisture. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(6), 595-604.
- Shen, C. H., ve Springer, G. S. (1976). Moisture absorption and desorption of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 10(1), 2-20.
- Shen, C. H., ve Springer, G. S. (1977). Effects of moisture and temperature on the tensile strength of composite materials. *Journal of Composite Materials*, 11(1), 2-16.
- Shin, E. E., Morgan, R. J., Wilenski, M., Zhou, J., Lincoln, J., ve Drzal, L. T. (1996). The effects of processing conditions and service environmental exposures on high temperature polymer matrix carbon fiber composites. *International Sampe Technical Conference* içinde (28, 225-235).
- Silva, P., Fernandes, P. M. G., Sena-Cruz, J., Azenha, M., ve Barros, J. A. (2014). Creep behavior and durability of concrete elements strengthened with NSM CFRP strips. *7th International Conference on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites in Civil Engineering* içinde (CICE 2014,1-6).
- Smith, CS., (1990). *Design of marine structures in composite materials*. London: Elsevier Applied Science,
- Springer G.S (Ed.). (1981). *Environmental effects on composite materials*. Lancaster: Technomic
- Strait, L. H., Karasek, M. L., & Amateau, M. F. (1992). Effects of seawater immersion on the impact resistance of glass fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Composite Materials*, 26(14), 2118-2133.

Suh, D. W., Ku, M. K., Nam, J. D., Kim, B. S., ve Yoon, S. C. (2001). Equilibrium water uptake of epoxy/carbon fiber composites in hygrothermal environmental conditions. *Journal of Composite Materials*, 35(3), 264-278.

Tong, L., Sheppard, A., ve Kelly, D. (1996). The effect of adherend alignment on the behaviour of adhesively bonded double lap joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 16(4), 241-247.

Tong, L. (1997). An assessment of failure criteria to predict the strength of adhesively bonded composite double lap joints. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 16(8). 698-713.

Tsai, M. Y., ve Morton, J. (1993). Mechanics of the adhesive-bonded single-lap joint specimen. *PICAST'1 1993-Pacific International Conference on Aerospace Science and Technology*, içinde (936-944) Tainan, Taiwan: National Cheng Kung University,

Türk Loydu, (2008). *Türk Loydu kuralları, cilt a, kısım -2: malzeme kuralları*. İstanbul: Türk Loydu Vakfı Yayınları,

Türk Loydu, (2013). *Türk Loydu kuralları, cilt e, kısım -101:askeri-gemilere-ait-kurallar-klaslama-ve-sörveyler*. İstanbul: Türk Loydu Vakfı Yayınları,

Vlattas, C., ve Galiotis, C. (1991). Monitoring the behaviour of polymer fibres under axial compression. *Polymer*, 32(10), 1788-1793.

Wang, C.H., Heller, M. ve Rose, L.R.F. (1998). Substrate stress concentrations in bonded lap joints. *Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 33(5), 331-346.

Weitsman, Y. J. (1995). *Effects of fluids on polymeric composites-A review* (No. MAES-95-1.0). Tennessee University

- Weitsman, Y. J., ve Guo, Y. J. (2002). A correlation between fluid-induced damage and anomalous fluid sorption in polymeric composites. *Composites Science and Technology*, 62(6), 889-908.
- Wolff, E. G. (1993). Moisture effects on polymer matrix composites. *SAMPE Journal(USA)*, 29(3), 11-19.
- Wood, J. R., Huang, Y., Young, R. J., ve Marom, G., (1995). Measurement of the thermal strains during compressive fragmentation in single-fibre composites by Raman spectroscopy. *Composites Science and Technology*, 55, 223–229.
- Wu, J., ve Colomban, P. (1997). Raman spectroscopic study of the stress distribution in continuous fibre - reinforced ceramic matrix composites. *Journal of Raman Spectroscopy*, 28(7), 523-529.
- Xiao, G. Z., ve Shanahan, M. E. R. (1997). Water absorption and desorption in an epoxy resin with degradation. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 35(16), 2659-2670.
- Yang, Q., Xian, G., ve Karbhari, V. M. (2008). Hygrothermal ageing of an epoxy adhesive used in FRP strengthening of concrete. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(4), 2607-2617.
- Zhang, Z., Britt, I. J., ve Tung, M. A., (1999). Water absorption in EVOH films and its influence on glass transition temperature. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 37, 691–699.
- Zhou, J., ve Lucas, J. P. (1999). Hygrothermal effects of epoxy resin. part I: the nature of water in epoxy. *Polymer*, 40(20), 5505-5512.

Zhou, J., ve Zhong, Y. (2004). Effects of hygrothermal cycling on properties of glass–vinyl ester composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(5), 483-490.

Zimm, B. H. (1953). Simplified relation between thermodynamics and molecular distribution functions for a mixture. *The Journal of Chemical Physics*, 21(5), 934-935.

Zimm, B. H., ve Lundberg, J. L. (1956). Sorption of vapors by high polymers. *The Journal of Physical Chemistry*, 60(4), 425-428.

