

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT MALZEMELERDE YAPIŞMA
BAĞLANTILARININ HASAR DAVRANIŞLARI ÜZERİNE
DENİZ SUYU ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim NAS

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Haziran 2018

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

İbrahim NAS tarafından yapılan “Kompozit Malzemelerde Yapışma Bağlantılarının Hasar Davranışları Üzerine Deniz Suyu Etkilerinin Araştırılması” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı

Adı Soyadı

Başkan: Doç.Dr. Hamit ADİN

Üye : Doç.Dr.Kadir TURAN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 21/06/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu projenin gerçekleştirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Kadir TURAN'a, yüksek lisans derslerimde bana yardımlarından dolayı hocam Yrd. Doç. Dr. Gurbet ÖRÇEN'e, çalışmam boyunca benden yardımını esirgemeyen arkadaşım Nazif SATI'ya ve eğitim hayatım boyunca tüm zorlukları benimle göğüs geren, hakkını asla ödeyemeyeceğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İbrahim NAS



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA VE SİMGELER	XI
1. GİRİŞ.....	1
2 KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT.....	17
3.1. Tanım	17
3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları	18
3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	19
3.1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	19
3.2. Adhezyon Kuvvetleri	20
3.2.1. Yapıştırma Bağlantıları	20
3.2.2. Kohezyon Kuvvetleri	20
3.2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları	21
3.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları	21
3.2.5 Yapışma Bağlantısı ve Diğer Çözümeyen Bağlantıların Karşılaştırılması..	22
3.2.5.1. Perçin Bağlantıları	22
3.2.5.2. Kaynak Bağlantıları.....	22
3.2.5.3. Lehim Bağlantıları.....	24
3.2.5.4 Pres Bağlantıları.....	24

3.2.6.	Yapıştırma işleminde Bağlantı Çeşitleri.....	24
3.2.6.1.	Bindirmeli Bağlantı (LAP Bağlantısı).....	24
3.2.6.2	Eğimli Bindirmeli Bağlantı.....	24
3.2.6.3.	Alın Alına Bağlantı.....	25
3.2.6.4.	Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı.....	25
3.2.6.5.	Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı.....	25
3.2.6.6.	Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı.....	25
3.2.6.7.	Çift Bindirmeli Bağlantı.....	26
3.2.6.8.	Basamaklı Bindirme Bağlantısı.....	26
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	27
4.1.	Problem Modeli.....	27
4.2.	Numunelerin Hazırlanması.....	28
4.3.	Deneyin Yapılışı.....	32
4.4.	Deneysel Çalışma Sonuçları.....	34
4.4.1.	Kuru Haldeki (Suya Bırakılmamış) Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları.....	34
4.4.2.	9 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları...	40
4.4.3.	12 Ay Boyunca Suda Bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları	44
4.4.4.	15 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları.	48
4.4.5.	18 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları.	52
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
5.1.	Deneyselsel Çalışma Sonuçlarının Tablo ve Grafikler ile Açıklanması.....	57
5.1.1.	Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluğuna Göre Değişim Sonuçları.....	57
5.1.2.	Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları.....	59

5.1.3.	Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluğuna Göre Değişim Sonuçları.....	61
5.1.4.	Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları	62
5.1.5.	Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açıklarına Göre Değişim Sonuçları	64
5.1.6.	Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açıklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları	66
5.1.7.	Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açıklarına Göre Değişim Sonuçları	68
5.1.8.	Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açıklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları	70
5.1.9.	Yama Uzunluğu Değiştirilmiş Numunelerin Tek Tesirli ve Çift Tesirli Durumlarına Bağlı Hasar değişim Sonuçları	72
5.1.10.	Yama Fiber Takviye Açıkları Değiştirilmiş Numunelerin Tek Tesirli ve Çift Tesirli Durumlarına Bağlı Hasar değişim Sonuçları	73
5.2.	Numunelerde Deneysel Çalışma Sonucu Ortaya Çıkan Hasar Tipleri	74
5.3	Sonuç ve Değerlendirme.....	78
6.	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÖZET

KOMPOZİT MALZEMELERDE YAPIŞMA BAĞLANTILARININ HASAR DAVRANIŞLARI ÜZERİNE DENİZ SUYU ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim NAS

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Bu çalışmada kompozit malzemelerde bindirmeli yapışma bağlantılarının hasar davranışları üzerinde deniz suyunun etkileri deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Kompozit malzeme olarak sekiz tabakalı örgülü cam elyaf/epoksi kompozit levhalar ve yapıştırıcı olarak ta epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Yama ve yapıştırılan kompozit levha olarak aynı malzemeden yararlanılmıştır. Numunelerde kompozit levhanın fiber takviye açısı olarak $[0^\circ]_8$ kullanılırken, yamanın fiber takviye açıları $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ olarak kullanılmıştır. Yama uzunlukları 20 mm, 30 mm, 40 mm olarak seçilmiş ve bağlantılar tek ve çift yüzlerinden birleştirilerek deniz suyunun içerisinde 9 ay, 12 ay, 15 ay ve 18 ay süre ile bekletilmiştir. Deniz suyundan çıkarıldıktan sonra çekme testine tabi tutulan numunelerin hasar yükleri deniz suyunda bekletilmemiş numunelerin hasar yükleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuna da deniz suyunun bağlantıların mukavemetini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Hasar yüklerindeki en büyük azalmanın 18 ay süresince deniz suyunda bekletilmiş 20 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, Deniz suyu etkisi, Yapıştırma bağlantıları.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF SEA WATER EFFECTS ON DAMAGE OF BEHAVIOR OF ADHESIVE JOINTS IN COMPOSITE MATERIALS

M.Sc.THESIS

İbrahim NAS

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2018

In this study, the failure behaviors of adhesively strap joints in composite plates which were stayed in the sea water were analysed with experimentally. The eight layered woven glass fiber/epoxy composite plates were used as adherend and epoxy based adhesive were used as bonded material. The patch and adherend were used as same composite plates. In the producing of specimens, the $[0^\circ]_8$ layer sequence were used for composite plates of adherent and $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$, $[45^\circ]_8$ layer sequences were used for patch. The lap length of adhesively joints were chosed as 20 mm, 30 mm and 40 mm and the adhesively joints were realised with single and double lap. Then the specimens were stayed in sea water 9 month, 12 month, 15 month and 18 month. The failure loads of the samples which were stayed in the sea water were compared with the failure loads of dry samples. As a results of study, it has been observed that the failure loads were decreased with stayed in the sea water. It has been determined that the greatest reduction in damage loads occurs in specimens with a 20 mm trap length stored in seawater for 18 months.

Keywords: Composite materials, Seawater effect, Adhesively lap joints.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada kullanılmış parametreler	31
Çizelge 5.1. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların yüzdelik hasar çizelgesi	58
Çizelge 5.2. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi	60
Çizelge 5.3. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların yüzdelik hasar çizelgesi	62
Çizelge 5.4. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi	63
Çizelge 5.5. Çift yüzü yama yapılmış [0°]8, [15°]8, [30°]8 ve [45°]8 levhaların yüzdelik hasar çizelgesi	65
Çizelge 5.6. Çift yüzü yama yapılmış [0°]8, [15°]8, [30°]8 ve [45°]8 levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi	67
Çizelge 5.7. Tek yüzü yama yapılmış [0°]8, [15°]8, [30°]8 ve [45°]8 levhaların yüzdelik hasar çizelgesi	69
Çizelge 5.8. Tek yüzü yama yapılmış [0°]8, [15°]8, [30°]8 ve [45°]8 levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi	71

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Tamamı kompozit malzemeden yapılmış kano	18
Şekil 3.2. Genel yapışma bağlantısı tipleri	20
Şekil 3.3. Adhezyon ve Kohezyon kuvvetleri	21
Şekil 3.4. Perçin ile bağlama da gerilme dağılımı	22
Şekil 3.5. Kaynak bağlantılarında gerilme dağılımı	23
Şekil 3.6. Kaynak, perçin ve yapıştırma bağlantılarda gerilme dağılımı	23
Şekil 3.7. Bindirmeli bağlantı	24
Şekil 3.8. Eğimli bindirmeli bağlantı	24
Şekil 3.9. Alın altına bağlantı	25
Şekil 3.10. Tek destek elemanlı bindirmeli bağlantı	25
Şekil 3.11. Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı	25
Şekil 3.12. Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı	26
Şekil 3.13. Çift bindirmeli bağlantı	26
Şekil 3.14. Basamaklı bindirme bağlantısı	26
Şekil 4.1. Deney çalışmada kullanılan numune boyutu	27
Şekil 4.2. Bağlantı geometrisi	28
Şekil 4.3. Elektrikli testere yardımı ile levhaların kesilmesi	29
Şekil 4.4. Zımparalama işlemi için gerçekleştirilen çizme işlemi	29
Şekil 4.5. Zımparalanan numunelerin aseton yardımı ile yüzey temizleme işlemi	30
Şekil 4.6. Numaralandırılmış numune örneği	30
Şekil 4.7. Yapıştırma işleminde kullanılan kalıplar ve tabanca	31
Şekil 4.8. Deniz suyunda beklemeye bırakılmış numuneler.	32

Şekil 4.9.	Çekme testine hazır numuneler	32
Şekil 4.10.	Test çekme cihazı ve çenelere bağlanmış numune	33
Şekil 4.11.	Test cihazından alınan verilerin bilgisayarda kaydedilmesi	33
Şekil 4.12.	Kuru halde tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	34
Şekil 4.13.	Kuru halde tek yüzü yamalı $[15^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	35
Şekil 4.14.	Kuru halde tek yüzü yamalı $[30^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	35
Şekil 4.15.	Kuru halde tek yüzü yamalı $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	36
Şekil 4.16.	Kuru halde çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük- uzama değerleri	37
Şekil 4.17.	Kuru halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	38
Şekil 4.18.	Kuru halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	39
Şekil 4.19.	9 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	40
Şekil 4.20.	9 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	41
Şekil 4.21.	9 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	42
Şekil 4.22.	9 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	43
Şekil 4.23.	12 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	45
Şekil 4.24.	12 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	46
Şekil 4.25.	12 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	47
Şekil 4.26.	12 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	48
Şekil 4.27.	15 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	49

Şekil 4.28.	15 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	50
Şekil 4.29.	15 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	51
Şekil 4.30.	15 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	52
Şekil 4.31.	18 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	53
Şekil 4.32.	18 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri	54
Şekil 4.33.	18 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	55
Şekil 4.34.	18 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri	56
Şekil 5.1.	Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların hasar yükü değer grafiği	57
Şekil 5.2.	Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği	59
Şekil 5.3.	Tek yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların hasar yükü değer grafiği	61
Şekil 5.4.	Tek yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği	62
Şekil 5.5.	Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların hasar yükü değer grafiği	64
Şekil 5.6.	Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği	66
Şekil 5.7.	Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların hasar yükü değer grafiği	68
Şekil 5.8.	Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği	70
Şekil 5.9.	Yama uzunluğu değiştirilmiş numunelerin tek tesirli ve çift tesirli durumlarına bağlı hasar değişim sonuçları grafiği	72
Şekil 5.10.	Yama fiber takviye açıları değiştirilmiş numunelerin tek tesirli ve çift tesirli durumlarına bağlı hasar değişim sonuçları grafiği	72
Şekil 5.11.	Suda bekledikten sonra yapıştırıcı rengi değişmiş numune	74

Şekil 5.12.	Kırılmanın numunede gerçekleştiğini gösteren durum	74
Şekil 5.13.	Yama fiber açısı yönünde kırılma	75
Şekil 5.14.	Yapıştırma kırılması	75
Şekil 5.15.	Numune ayrılması	76
Şekil 5.16.	Birden fazla bölgede kırılma	76
Şekil 5.17.	Soyularak kırılma	77



KISALTMA VE SİMGELER

Ark.	: Arkadaşları
CFRP	: Karbon fiber takviyeli plastik
CTP	: Cam elyaf takviyeli plastik
ÇYB	:Çift yama bağlantısı
L	:Kompozit levhanın uzunluğu [mm]
Lap	: Bindirme uzunluğu [mm]
tb	: Zaman Değişimi [Ay]
tha	:Yapıştırıcı kalınlığı [mm]
thc	:Kompozitin kalınlığı [mm]
TYB	:Tek yama bağlantısı
w	:Kompozit levhanın genişliği [mm]

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler hafif ve korozyona karşı dirençli olduklarından havacılık ve denizcilik sanayisinde geleneksel malzemelerin yerini almaktadırlar. Deniz suyunun koroziyon ve galvanik etkileri olduğundan deniz araçlarının olduğu ortam malzeme mekanik davranışları bu durumdan olumsuz etkilenir. Bu gibi ıslak ortamlarda, geleneksel malzemeler (metalik malzemeler) korozyondan korunmak için boya vb. koruyucularla kaplanmak zorundadır. Bunun aksine kompozit malzemelerin elektrik iletiminin zayıf olması ve oksitlenme davranışı göstermediklerinden herhangi bir koroziyon ve galvanik korunma ihtiyacı duymazlar. Turan (2018), çalışmalarında belirttiği gibi deniz suyunda uzun süreli kullanımların dezavantajı olarak kompozit malzemeler ise belirli bir miktar deniz suyu ile ıslanarak absorbe ederler. Bu durum uzun süre deniz suyunda kalan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini değiştirebilir.

Birleştirme işlerinde kullanılan yöntemler çözülebilen ve çözilemeyen bağlantılar olmak üzere genel olarak ikiye ayrılır. Çözilemeyen bağlantıların başında pim, cıvata ve perçin gibi yöntemler gelir, bu bağlama yöntemleri mekanik bağlantı olarak ta isimlendirilirler. Bazen kompozit malzemelerin birleştirilmesinde de kullanılan bu bağlantı türleri çoğunlukla metallerin birleştirilmesinde kullanılırlar ve bu yöntemler kullanıldığı bölgede delikler açılarak gerçekleştirilir (Çelik, 2015) . Malzemelerde açılan delikler malzemenin geometrik düzenini bozduğundan dolayı bölgesel gerilme yığılmalarına neden olurlar. Mekanik bağlantıların en önemli özellikleri kolay çözülebilirliği, bakım ve tamirat kolaylıkları, çevre ve sıcaklıktan etkilenmemeleridir. Çözilemeyen bağlantıların başında ise kaynak, lehim ve yapıştırma gelir. Kompozit malzemeler gibi reçine bazlı malzemelerin birleştirme işlemi için yapıştırma ideal bir bağlantı yöntemidir. Yapıştırma yöntemi gerilme yığılmaları oluşturmaz. Geniş bir malzeme seçeneği, işlem sırasında delik veya çentiğe ihtiyaç duymaması, sızdırmazlık, boşluk doldurabilme gibi avantajları da vardır. Tüm bunlar ile beraber, yüzey temizliği gerektirmesi, bağlantı ömrünün sıcaklık ve nem gibi faktörlerden etkilenmesi ve zor muayene gibi dezavantajları da vardır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Zamri ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada, çeşitli su koşullarına tabi tutulan cam elyaf takviyeli doymamış polyester hibrit kompozitlerin su emilimine ilişkin çalışma sonuçları ve bunların mekanik özelliklerine etkileri araştırmışlardır. Kompozit numunelerin, su emilim testleri; damıtılmış su, deniz suyu ve asidik su olmak üzere üç farklı su türünde, oda sıcaklığında üç hafta bekletilmiştir. Elde edilen su emilim eğrilerinden, Difüzyon katsayısı (D) ve Maximum nemin (Mm) karakteristik parametreleri belirlenmiştir. En yüksek difüzyon katsayısı (D) değeri ve en yüksek maximum nem (Mm) değeri sırasıyla damıtılmış su, asidik su ve deniz suyundan olacak şekilde kaydedilmiştir. Doğal fiberlerin, sentetik fiberler ile hibritlenmesi maximum nem emilimini azalttığını bununla beraber kompozitlerin mekanik değerlerini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Kootsookos ve Mouritz (2003), cam ve karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin deniz suyuna karşı olan direncini deneysel olarak araştırmışlardır. İncelenen malzemeleri deniz yapılarında kullanılan cam / polyester, karbon / polyester, cam / vinil ester ve karbon / vinil ester kompozit olacak şekilde seçmişlerdir. Malzemeleri iki yıl sürede 30 ° C sıcaklıkta deniz suyuna daldırmışlardır. Fiberin türünün, reçine ve reçine kürü derecesinin deniz suyundaki cam ve karbon takviyeli kompozitlerin dayanıklılığını etkilemiştir. Cam kompozitlerin deniz suyunda karbon kompozitlere göre daha az istikrarlı olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, polyester bazlı kompozitler, deniz suyunda vinil ester bazlı kompozitlerden daha az dayanıklıdır ve bu da polyester reçinesinin hidrolize duyarlılığına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Dell'Anno ve Lees (2011), çalışmalarında karşılaştırılmak amacıyla izoftalik polyester, vinil ester ve üretan akrilat matris olmak üzere üç farklı matrise sahip deney örnekleri su almaları için 40 °C deiyonize suda 28 güne kadar bekletilmişlerdir. Malzemeleri ILSS testine tabi tutmuşlardır. Sonuçlar, epoksi sistemlerinin kuru halde alternatif reçinelerden eşit veya daha iyi performans göstermesine rağmen, su girişine bağlı olarak özellik kaybına karşı daha hassas olduklarını göstermiştir.

Rezaeepazhand ve Sabouri (2010) yapmış oldukları çalışmada Fiber takviyeli polimer kompozit (kompozit yamalar) malzemelerle güçlendirilmiş hasarlı metal plakaların performansını ortaya koymuşlardır. Merkezinde dairesel kesiti olan, bir kare

alüminyum levha hasarlı bir yapı elemanı olarak kabul edilmiştir. Yama geometrilerindeki varyasyonların ve laminasyon parametrelerinin, tamir edilen plakaların burkulma tepkileri üzerindeki etkilerini araştırmak için sonlu eleman kodu kullanılarak sayısal çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarında, fiber açıları ve tabakalandırma dizileri gibi değişken laminat parametreleri dikkate alınmıştır. Alüminyum levhaların çeşitli kompozit yamalar ile burkulma davranışı, tamir edilmiş sistemlerin burkulma yükünün değiştirilmesinde kompozit yama özelliklerinin, malzemelerin ve geometrilerin etkinliğini araştırmak amacıyla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, delikli bir plakanın burkulması için, tamir edilmiş plakaların yük taşıma kapasitesini arttıran ve mükemmel bir plakanın performansının elde edilebildiği bir dizi lamine kompozit yamanın bulunabileceğini ortaya koymuşlardır.

Gallert ve Turley (1999), matriks reçinelerinin dökümü ile birlikte dört cam-fiber takviyeli polimer (CTP) malzemesini, laboratuvarında deniz suyunda yaşlanmaya bırakmışlardır. Su alma davranışı polyester, fenolik ve vinil ester CTP ve saf reçine dökümü aralarında karşılaştırılmış ve CTP'ler için belirlenen mekanik özelliklerdeki kayıplar belirlenmiştir. Fenolik CTP, hem arayüz hem de matris emilimi ile ilişkili olduğu düşünülen anormal alım davranışı göstermiştir. Polyester ve vinilester laminantların su alımı öncelikle fiber bariyer etkilerinin bastırılmasından daha sonra da arayüz etkilerinin artmasından etkilenmiştir. Fenolik CTP ve döküm reçinenin su alma davranışı diğer sistemlerden çok farklı sonuçlanmıştır. Arayüz ile ilgili su alma mekanizmaları en fazla fenolik CTP de görülmüştür. Su alımı doyma noktasına doğru ilerledikçe polyester ve vinilester CTP ler için eğilme mukavemeti düşmeye devam etmiştir, %15-21 arasında bir güç kaybı meydana gelmiştir. 485 gün suda bekletilen numunelerin tabakalar arası kesme kuvveti %12 ile 21 arasında düşüş göstermiştir. Bu süre zarfında sadece fenolik CTP su almaya doymuştur diğer CTP ler %80 ile 90 arasında doymuştur.

Sobrinho ve ark. (2009), çalışmalarında polimer bazlı kompozit sistemlerinin performansını hipertermal yaşlanmanın etkisini göz önüne alarak değerlendirmişlerdir. Mekanik ve termal özellikler, işlenmiş malzeme için maksimum 64 gün süre ile 60 ° C'de su içinde yaşlanmadan önce ve sonra incelemişlerdir. Her iki analiz de, 60 ° C'de suya maruz bırakılmasından sonra 16 gün sonra sistemin son sertleşmesinin meydana

geldiğini göstermiştir ki bu da kürlenme sonrası yapılan muayeneler ile tesbit edilmiştir. Ayrıca, 36 ve 64 günlük yaşlanmadan sonra reçinenin plastikleştirildiğini gözlemlemişlerdir. Başlangıçta üzerinde çalışılan vinil ester reçine sisteminde son kürlenme muayenesi olmaması kararsız bir sistem oluşturmuştur. Örnekler %8 e yakın bir oranda uzama ve sünek bir davranış sergilemiştir. Bu sünek davranış, kalorimetrik analizin gösterdiği çapraz bağın artmasına bağlı olarak 60° C'de 16 gün süreyle hipertermal yaşlandırma yapıldıktan sonra kırılğan hale getirildiğini belirtmişlerdir.

Saharudin ve ark. Haloisit (2017), nanotüp (HNT) -çok katmanlı, grafenle güçlendirilmiş polyester hibrid nanokompozitlerin mekanik özellikleri üzerine kısa süreli su emiliminin etkisini araştırmışlardır. Nano ipliklerin eklenmesi kuru ve ıslak koşullarda eğilme mukavemetini, çekme mukavemetini ve darbe dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır. Kısa süreli su maruziyetinden sonra, maksimum mikro sertlik, gerilme, eğilme ve darbe dayanıklılık değerlerini %0,1 çok katmanlı grafen (MLG) olarak gözlemlemişlerdir. Mikro sertlik %50.3'e kadar, gerilme mukavemeti %40'a kadar yükselmiştir ve esneme gücü %44'e çıkmıştır. Polyester matrisin su maruziyetine karşı hassas olduğunu gözlemlemişlerdir. MLG takviyeli polyester, kuru koşullarda ve suya maruz kaldıktan sonra hibrit ve HNT'ye göre üstün mukavemet özellikleri göstermiştir. Grafen bazlı malzemelerin gelecek nesil çevresel bariyer materyalleri için büyük umut vaat ettiğini belirtmişlerdir. Suya maruz kaldıktan sonra tüm nanokompozit sistemlerin yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

Soutis ve ark. (1999), çalışmalarında basma yükü altında yama yapıştırılması ile tamir edilmiş CFRP levhaların testlerini gerçekleştirmiştir. 0° katmanlarında kritik hasar mekanizmasının, matris çatlamasının ve delaminasyonun oluşmasını arayüzlerdeki yapışma hasarının tetiklediği gözlemlenmiştir. Hasarlı laminant yama yapıştırması ile tamir edildikten sonra hasar hasarsız mukavemetinin %80'ine geri dönmüştür. Yamalama işleminin, numunenin tamir edilmeden önce delik kenarlarında oluşan gerilme konsantrasyonunu azalttığı gözlemlenmiştir. Aşırı geniş ve büyük boydaki yamaların yapının ağırlığını arttırması ile beraber yüksek soyma ve kesme gerilmelerini ürettiği tespit edilmiştir. Delik kenarında y eksenli boyunca ve bindirme kenarında x eksenli boyunca yüksek gerilmelerden etkilenen iki kritik pozisyon belirlenmiştir. Bu

noktalarındaki stres büyüklüğünün, yamanın kalınlığına ve ana malzeme ve yama malzemesinin elastik özelliklerine bağlı olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Hu ve Soutis (2000), yapıştırma ile bağlanmış yama tamirinde basma davranışını incelemişlerdir. Yamanın uygun kaplama uzunluğunu yaklaşık 12 ± 15 mm olarak belirlemişlerdir. En uygun yama membran sertliğinin ana malzeme membran sertliğinin yarısı olması gerektiği sonucuna varmışlardır. Aşırı geniş ve büyük boydaki yamaların yapının ağırlığını arttırması ile beraber yüksek soyma ve kesme gerilmelerini ürettiği tespit edilmiştir. Yama kenarlarının sivrilmesi ve kenarlardaki yapışkan kalınlığının arttırılmasının, bölgesel gerilmeleri önemli ölçüde azalttığını ve bunun da hasar yükünü arttırdığını gözlemlemişlerdir. En uygun yama şartları uygulandığında tamir edilmiş malzeme mukavemetinin hasarsız haldeki mukavemetine %80 oranında yaklaşabileceği tesbit edilmiştir.

Liu ve Wang (2006), yama ile bağlanmış delikli kompozit plakaların gerilme davranışlarını incelemek için deneysel testler yapmış ve üç boyutlu ilerlemeli hasar modeli geliştirmişlerdir. Bazı tamir parametrelerinin, bu onarılmış örneklerin hasar başlangıç mukavemeti, nihai dayanım ve hasar mekanizmasına etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sayısal tahminler ile uyumluluk göstermiştir. Çoğunlukla hasarın başladığı ve yayıldığı bölgelerde dört yüksek gerilme birikmesi alanları tesbit edilmiştir. Farklı yamalar ile yapıştırılmış numunelerin dayanımlarının aynı olabileceği fakat hasar süreci ve nihai hasar durumlarının tamamen farklı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Campilho ve ark. (2009), yapıştırıcı ile birleştirilmiş karbon-epoksi kumaşlarının tamirinin gerilme davranışlarına ilişkin 2° den 45° ye kadar değişen kumaş açıları kullanarak deneysel ve sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapışkan tabakayı simüle etmek için sünek yapıştırıcılar için uygun, karma durumlu bir bileşik hasar modeli uygulamışlardır. Genellikle kumaş bağlantılarının ya da tamirlerinin yapışkan tabakalarındaki soyma ve kesme gerilmelerinin tek veya çift tesirli olanlardan daha uygun olduğunu gözlemlemişlerdir.

Seo ve Lee (2002), çalışmalarında özellikle kalın plakada yapıştırma işlemi ile kompozit yama kullanılarak tamir edilen alüminyum plakanın yorulma çatlak ilerlemesini incelemişlerdir. Gerilme yoğunluğu faktör aralığını (DK) ve yorulma çatlak

büyüme oranını ($da = dN$) kullanarak bağlanmış kompozit yama ile tamir edilen kalın panelin yorulmaya bağlı çatlak ilerlemesi davranışını araştırmışlardır. Yama yapılmış çatlağın gerilme yoğunluk faktörü, tamir edilmiş ve edilmemiş numunelerin çatlak ilerleme davranışlarının karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Ayrıca, yama çatlağının üç boyutlu (3D) gerilme durumu göz önüne alınarak, yapıştırılmış kompozit yama ile tamir edilen çatlağın gerilim yoğunluğu faktörünü elde etmek için 3D sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır. Kalın numunenin gerilim yoğunluk faktörü, kalınlık yönünden büyük bir değişim göstermiştir. Ortalama gerilme şiddet faktörünün, tamir edilmiş yama örneğinin kuvvetli stres yoğunluğu faktörünün alt ve üst sınırı olabileceği sonucu çıkarılmıştır.

Feih ve Shercliff (2004), tek tesirli kompozit tabaka bağlantılarını çekme yükü altında incelemişlerdir. Tekrarlanabilir bağlantı tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi için yapıştırıcı enjeksiyon yöntemi uygulanmıştır. Alt kritik kompozit hasarı kompozit delaminasyonu ve yapıştırıcı hasarı sayısal olarak araştırılmıştır. Yapısal hasar kriterleri gözden geçirilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel hasar mukavemetine dayanarak ortak performansın dolgu performansına güçlü bir şekilde bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Campilho ve ark. (2005), ABAQUS yazılım programını ve kırılma mekaniği dolaylı kullanımına dayanan hasar modeli içeren ve özel olarak geliştirilmiş bir sonlu elemanlar arayüzünü kullanarak kompozitlerin tek tesirli ve çift tesirli tamirini araştırmışlardır. Tamir edilmiş kompozit plakanın gerilme yükü ve gerilme yükü altında kalan gerilme dağılımlarını değerlendirmişlerdir. Sayısal model hasar başlaması ve ilerlemesini simülasyonunu sağlamıştır. Bağlantıların farklı türde hasarlarını gözlemlemişlerdir. Tek tesirli bağlantılarda gerilme bileşenlerinin yapışan malzeme/yapıştırıcı ve yama/yapıştırıcı arayüzlerinde daha yüksek olduğu, hasarın muhtemelen bu bölgelerde meydana gelebileceği ile beraber malzeme levha özelliklerinin de bunda bu süreçte önemli bir role sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hosseini ve Mohammadi (2009) tamir edilmiş, merkezinde eğimli bir çatlak bulunan kalın alüminyum levhalarda çatlak ilerlemesini incelemişlerdir. Levhaların tamirini tek taraftan cam-epoksi kompozit yamalar ile gerçekleştirmişlerdir. Yapıştırma sonrası, yama düzenlemelerinin çatlak ilerlemesi başlangıcına etkileri ve tamir edilmiş

levhaların çatlak ilerleme oranları incelenmiştir. Analizleri kolaylaştırmak için, sonlu eleman analizleri, panelin kalınlığı boyunca tek tip çatlak ilerlemesi varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Tamir edilmiş levhaların hem orta düzlem hem de yama yapılmamış yüzey çatlak parametreleri kullanılarak tahmin edilen yorgunluk deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, levhaların çatlak yayılma ömrünün kullanılan yama döşemesine bağlı olarak % 30-85 oranında artabileceğini göstermiştir.

Sheppard ve ark. (1997) , çalışmalarında yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların hasar yüklerini tespit etmek için kritik hasar bölgesi büyüklüğüne ve gerilimine dayalı hasar kriterine dayanan bir hasar bölgesi modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan hasar bölgesi modeli bağlantı hasar bölgesini doğru şekilde tespit etmiştir. Çeşitli deneysel testlerinden elde edilen kompozit ve alüminyum bindirme bağlantılarının sonuçları elde edilmiş ve sayısal analiz ile karşılaştırılmıştır. İlk sayısal tahminler, önerilen hasar bölgesi modelini kullanmak, deney sonuçları ile iyi bir uyum elde edilebileceğini göstermektedir. Alüminyum bağlantılarının korozyona uğrama hasarı %4 seviyesinde görülürken, kompozit bağlantıların düzlem dışı yapışma hasarı ortalama deneysel bağlantı hasarı yüklerinin yaklaşık %19'u civarında görülmüştür. Tüm bağlantı hasar tahminleri deneysel dağılım aralığında tespit edilmiştir.

Chuan Her (1999), çalışmasında tek tesirli ve çift tesirli bağlantıları içeren yapıştırma bağlantılarını incelemiştir. Klasik elastisite teorisine dayanan basitleştirilmiş tek boyutlu bir model sunulmuştur. Yapıştırıcıdaki kayma deformasyonu yapıştırıcı kalınlığı boyunca sabit kabul edilmiştir Yapıştırıcıdaki kesme gerilmesinin analitik çözümleri ve boyuna gerilmeler elde edilmiştir ve İki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile belirlenen sayısal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Yapıştırıcının birleştirme bölgesinin serbest uçlarında yüksek stres konsantrasyonu oluşmuştur. Yapıştırıcı tabakada kayma gerilmesi ve enine normal gerilme, yapıştırıcı ile birleştirme bağlantılarının hasarına neden olmaktadır Yapıştırıcı tabakanın kalınlığının artması, yapıştırıcı ile yapıştırılmış bölgede daha düşük kesme gerilmesi oluşturur. Böylece, daha kalın yapışkan tabaka, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantının mukavemetini arttırabilir.

Oudad ve ark.(2009), gerçekleştirdikleri çalışmalarında metalik uçak yapılarının yapıştırıcı ve kompozit ile tamir performansını tespit etmek için tamir edilmiş çatlakların önündeki plastik bölgeyi analiz ederek üç boyutlu ve doğrusal olmayan bir

sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Yapıştırıcı özelliklerinin ve yama kalınlığının tamir edilen çatlakların önündeki plastik alan büyüklüğü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kompozit yamanın varlığının, çatlağın önündeki plastik bölgenin büyüklüğünü önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Tamir performansının artırılması ve tamir edilen malzeme ile kompozit yama arasındaki yapıştırıcı hasarını engellemek için yapıştırıcı özelliklerinin en uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

Ascione (2008), kayma/eğilme momentine ve eksenel kuvvete maruz kalan çift tesirli ve simetrik tek tesirli bağlantılar üzerine sayısal bir araştırma gerçekleştirmiştir. Analiz yine kendisinin geliştirdiği teorik bir model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcının mekanik özellikleri, sırasıyla normal ve çapraz etkileşimleri karakterize edebilen iki bağımsız ara yüzey kümesinden modellenmiştir. Yapıştırılan malzemeler ışın teknik teorisinin hipotezleri kullanılarak modellenmiştir. Bağlantıların mekanik davranışları beş boyutsuz parametreye kadar izlenmiştir. Gelişmiş sonlu elemanlar analizi ile literatürde elde edilen sonuçla arasında birkaç karşılaştırma yapılmıştır, böylece kabul edilen basit sayısal yol doğrulanmıştır.

Charalambides ve ark. (1998), yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhaların deneysel ve sayısal yöntemlerle, hasar davranışlarının dış etkilere bağlı analizini gerçekleştirmişlerdir. İlk bölümde yapıştırıcıyla tamir edilmiş cfrp levhalarının statik çekme performanslarını hasar yükü ve yolu açısından incelemişlerdir. Tamir bağlantılarının davranışlarını kuru ortam ve nemli ortamda zamana bağlı olarak araştırmışlardır. Dış ortam etkilerini araştırmak için kompozitler 50°C sıcaklığındaki suyun içerisinde 4 ay bekletilmiştir. İkinci bölümde ise sonlu eleman analiz yöntemiyle yapıştırıcı ve karbon-fiber kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. ABAQUSE programında Von Misses hasar kriterini kullanmışlardır. Hem yapıştırıcı hem de kompozit levhalar için lineer elastik ve lineer elastik-plastik olmak üzere iki farklı model kullanmışlardır. Kompozit için lineer elastik modelde homojen ortotropik malzemeye yakın özellikler sağlanmış lineer elastik-plastik modelde ise fiber takviye açısına bağlı olarak ortotropik/anizotropik özellikli tabakaların kombinasyonu sağlanmıştır. Lineer elastoplastik modelin lineer elastik modelden hasar tahmini için daha doğru sonuç verdiğini görmüşlerdir. Yapmış oldukları çalışmayla deneysel ve

sayısal hasar tiplerinin hasar yüklerini tespitinde benzer sonuçlar verdiklerini ortaya koymuşlardır.

Doğanay ve Ulçay (2007), yaptıkları çalışmada cam lifi takviyeli polyester kompozitlerde farklı lif oranlarının ve deniz suyunun yorulma davranışı üzerinde etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, takviyesiz, %1 %3 ve %6 olmak üzere dört farklı oranlarda takviyelendirilmiş polyester reçine numunelerini deniz suyu bekleterek 30 dakika süresince yorulma testine tabi tutmuş ve maksimum uzama ile uzama değişimini ölçmüşlerdir. Takviye oranına bağlı olarak uzamada anlamlı bir değişim meydana gelmemişken; deniz suyu bekletme süresi arttıkça uzama değeri düşmüştür. Numune için lif uzunluğunu 1 mm olarak almışlardır. Test için %0 (takviyesiz), %1, %3, %6 oranlarında olacak şekilde 4 farklı lif miktarı ile numuneler hazırlamış ve kalıplarda 24 saat bekletmişlerdir. Deniz ortamını sağlamak için numuneleri deniz suyu temsil eden 35 gr/lt tuz ve pH 8 olacak şekilde hazırlanan suda bekletmeye bırakmışlardır. Zamana bağlı olarak numuneler çıkarılarak yük kontrollü teste tabi tutmuşlardır. Suda bekletmeksizin takviye oranına bağlı olarak uzama değerlerinde bir azalış olduğu görülmüştür. Diğer taraftan suda bekletmeye bağlı olarak maksimum uzama değerlerinde bekletme süresi arttıkça bir azalışın olduğu görülmüştür.

Turan ve Kaman (2011), çalışmalarında çift tesirli yapışma yolu ile birleştirilmiş kompozit levhalarda gerilme ve hasar analizini deneysel ve sayısal yollar ile araştırmışlardır. Çalışmalarında, kompozit malzeme olarak tek yönlü karbon fiber ile güçlendirilmiş epoksi matriks reçine seçilmiş ve yapıştırma bağlantısı epoksi yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiştir. Yapışma bağlantısının dayanımı üzerine yapıştırıcı kalınlığının, yama uzunluğunun ve levha genişliğinin etkileri araştırılmıştır. Sayısal analiz sonlu elemanlar metodunu kullanan ANSYS programında yazılmış yardımcı bir program ile yapılmıştır. Hasar analizinde kompozit levhalar için Hashin, yapıştırıcı için Maksimum Asal Gerilme Hasar Teorisi kullanılmıştır. Levha genişliğinin artması ile bağlantıların hasar yüklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Hasar yüklerinin sayısal olarak hesaplanmış olduğu çalışmaya göre elde edilen sonuçların birbirini doğruladığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber yama ucundan başlayan soyulma hasarının kompozit levhanın ucuna doğru ilerlemesinde yama uzunluğunun etkinliğini ortaya koymuşlardır.

Turan ve Kaman (2010), yaptıkları çalışmada iki kompozit levhayı bir araya getirmek için yapıştırıcı kullanılarak elde edilmiş olan tek tesirli yapıştırma bağlantısının hasar analizini deneysel ve sayısal açıdan araştırmışlardır. Birleştirme işlemi yapılırken yapıştırıcı olarak epoksi reçine ve yapışan malzeme olarak karbon takviyeli epoksi reçine matriksli dört tabakalı kompozit levhaları seçmişlerdir. Sayısal çalışma sonlu elemanlar metodu ile işlem yapan ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Bağlantının dayanımı üzerine yapıştırıcı kalınlığı, bindirme uzunluğu ve plaka genişliğinin etkisi sayısal olarak araştırılmıştır. Bulunan sonuçları tablolar ve grafikler halinde sunmuşlardır. Bindirme mesafesinin artması, hasar yüklerini arttırdığını gözlemlemişlerdir. Yapıştırma bağlantısına geometrik parametrelerin etkileri incelendiğinde gerçekleştirilmiş sayısal çalışmanın sonuçlarına göre hasar yükleri üzerine en etkili parametrenin kompozit levha genişliği olduğu gözlemlenmiştir.

Turan ve Örçen (2016), atık kompozitlerden toplanan parçacıklarla güçlendirilmiş yapıştırma bağlantılarının hasar davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Epoksi bazlı yapıştırıcıya karbon ve cam fiberli kompozit malzeme parçağı ekleyerek yeni bir yapıştırıcı elde etmişlerdir. Bu yapıştırıcı ile tek ve çift tesirli bindirmeli birleştirme bağlantıları yapılmış ve bu bağlantıların dayanımı üzerine yapıştırıcının etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çift yüzlü birleştirmelerden elde edilen bağlantı dayanımının tek yüzlü bağlantıya göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yapıştırıcı içerisine karıştırılan atık kompozit parçacıklarının bağlantı dayanımını artırdığını ortaya çıkarmışlardır. Çift yüzlü bağlantının tek yüzlü bağlantı mukavemetlerine göre; sırasıyla yapıştırıcı için %30, cam fiber takviyeli kompozit parçağı takviyeli yapıştırıcı için %58,7 ve karbon fiber takviyeli kompozit partikülü takviyeli yapıştırıcı için %58,4 artış gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir.

Kaman ve ark. (2011), Tek yüzü kompozit yama ile tamir edilmiş pim delikli alüminyum levhalarda sayısal olarak gerilme ve şiddet etkilerini araştırmışlardır. Yamadaki fiber açısının değişkenliğinin gerilme şiddet faktörü üzerindeki etkisi birbirinden farklı çatlak uzunlukları ve açısı, farklı yapıştırıcı özellikleri ve levha boyutları için araştırılmıştır. Çatlak ucu yer değiştirmelerini çekme yükü etkisi altında ANSYS programı ile bulmuşlardır. Gerilme şiddet faktörü hesaplamalarını; Yer

değiştirme Korelasyon (YK) yöntemi ile elde etmişlerdir. Sonuçlarını grafikler halinde sunmuşlardır.

Örçen ve ark. çalışmalarında iki paralel pimle bağlanmış örgülü cam fiber takviyeli epoksi reçineli kompozit levhaların deniz suyu etkisindeki hasar davranışlarını araştırmışlardır. Deniz suyunda bekleme süresi ve bağlantı geometrisi değişiminin hasar yükleri ve hasar tipleri üzerine etkileri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Deniz suyunun etkilerini incelemek amacı ile numuneler sıfır, üç ve altı ay sürelerle deniz suyunda bekletilmiş ve çekme deneyi yapılmıştır. Kompozit levhaların deniz suyu içerisinde kalma süreleri uzadıkça mekanik değerlerinin ve maksimum yük değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Altı ay deniz suyunda bekletilen kompozit levhanın Elastisite modülü (E1) değerinin; üç ay deniz suyunda bekletilen kompozit levhadan elde edilen (E1) değerine göre %5.30 oranında, kuru halde elde edilen değere göre ise %12.36 oranında düştüğü tespit edilmiştir. Kuru halde, üç ay ve altı ay deniz suyunda bekletilen kompozit levhalarda E/D oranının artması ile hasar yükünün arttığı görülmüştür. Kuru halde, üç ay ve altı ay deniz suyu içerisinde bekletilen kompozit levhalarda genellikle yırtılma ve ezilme hasar tipi veya ikisi bir arada olan hasar tipleri meydana gelmiştir.

Aydın ve ark. (2007), çalışmalarında deneysel yollarla esnek ve basınç hassasiyetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış tek tesirli bindirme bağlantılarının yük taşıma kabiliyetlerinin kürleşme boyunca uygulanan basınçla değişimini gözlemlemiş ve bulguları Sonlu Eleman Analizlerinden (SEA) elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Esnek karakterli yapıştırıcılar için kürleşme sırasında uygulanan basınçta meydana gelen artış, bağlantının mukavemetinde bir artış meydana getirmiştir.

Apalak ve Engin (2004), gerçekleştirdikleri çalışmalarında gerilme analizine maruz bırakılmış yapıştırma ile tek yüzü yapıştırılmış bağlantının elasto-plastik gerilme analizini yapmışlardır. Yapıştırıcı ve yapıştırılan alüminyum malzemedeki plastik deformasyonlara izin verilmiştir. Tek yüzlü bağlantı 2D artışı (lineer olmayan) sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Epoksi yapıştırıcının ve alüminyum bağlantısının tek eksenli gerilim ve gerinim davranışları tek eksenli çekme testleri ile belirlenmiştir. Sayısal analiz gerilme birikimlerinin üst yapıştırıcı ve yapışan malzeme arayüzünün serbest uçlarında ve alt yapıştırıcı ile malzeme arayüzün sağ ucunda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Aldaş ve ark. (2009), yapıştırıcı kullanılarak bir araya getirilmiş çift bindirmeli bağlantılarında ısı gerilmeleri hesaplamışlardır. Isıl gerilme dağılımlarını incelemek ve analizlerini gerçekleştirmek için ANSYS sonlu elemanlar metodu programını kullanmışlardır. Alüminyum ve çelik gibi metal levhalar için ısı gerilmeleri hesaplanmıştır. Isıl gerilmeler üzerine farklı ısı yüklemelerinin etkileri araştırılmıştır. Farklı materyallerin yapıştırılması için ısı gerilme alanları elde edilmiştir. Metal levhaların ve epoksi yapıştırıcının hem termal hem de mekanik uyumsuzlukları, yapıştırılan malzemeler ve yapıştırıcının yapışmış arayüzlerinde yüksek gerilme birikmelerinin olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapışkan ve metal levhalar arasındaki fiziksel özelliklerin birbirinden farklı olması durumunda, ısı gerilmelerinin büyüklükleri daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Apalak ve ark. (2006), çalışmalarında tek tesirli yapıştırılmış kompozit plakalarının orta seviye gerilimde hasar bölgesinin başlama ve yayılmasını araştırmışlardır. Plakanın her hasarlı katmanına Hashin hasar kriterlerine göre bir dizi malzeme indirgeme kuralları uygulanmıştır. Hasar alt tabaka ara yüzeyinde yapışkan tabakaya başlamış ve bu yapıştırıcı içermeyen kenar boyunca ilk kat içinde ilerlemiştir ve daha sonra benzer bir hasar mekanizmasında alt plakanın komşu katmanları boyunca yayılmıştır.

Turan ve Pekbey (2015), yapıştırıcı takviyeli tek tesirli bağlantıların hasar davranışlarını deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Güçlendirilmiş yapıştırıcıyı artık kompozit parçacıkları ve epoksi bazlı ticari bir yapıştırıcının karışımı ile elde etmişlerdir. Tek tesirli bağlantı yapıştırıcı ve tek yönlü, $(0^\circ/90^\circ)_3$ dizili cam fiber/epoksi kompozit levhalar ile hazırlanmıştır. Güçlendirilmemiş yapıştırıcı (ADH), cam elyaf takviyeli kompozit levha parçacıkları epoksi reçine ile karıştırılmış yapıştırıcı (GFRC) ve karbon fiber takviyeli kompozit levha parçacıkları epoksi reçine ile karıştırılmış yapıştırıcı (CFRC) olmak üzere üç tip yapıştırıcı kullanmışlardır. Yapıştırıcı kalınlığı (ta) ve yapıştırma genişliği (lap) sırasıyla 0.4, 0.8, 1.2 ve 1.6 mm ve 10, 20, 30 ve 40 mm'dir. ANSYS™ parametrik tasarım dili (APDL) kodu kullanılarak, ANSYS™ 11.0 sonlu eleman programında ilerlemeli hasar analizi yapılmıştır. Sayısal çalışmada kompozit ve yapıştırıcının hasar yükleri Hashin hasar kriterleri ve Tresca hasar kriterleri ile belirlenmiştir. Yapıştırıcı takviyeli tek tesirli bağlantının hasar

yükünün, takviyesiz yapıştırıcıdan 13%-22% daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Tek tesirli bağlantıların hasar yükleri bindirme uzunluğu ile artmıştır. Bindirme uzunluğu 10 ila 40 mm arasında arttırıldığında, hasar yükleri 48-82% oranında artmıştır. Sonuç olarak tek tesirli bağlantıların performansını yapıştırıcıya parçacık ilavesi ve ince yapıştırıcı kalınlığı ve uzun yapışma yüzeyi ile arttırılabileceğini elde etmişlerdir. Deneysel ve sayısal çalışmalar arasındaki farkın 2 ile 10% arasında olduğunu belirlemişlerdir. Sonuçlar deneysel ve sayısal çalışmaların birbiri ile uyumlu olduğunu göstermiştir.

Solmaz (2008), doktora tezinde farklı bindirme uzunluklarında ve farklı uç açılarında biri yüksek öteki ise düşük dayanımlı iki yapıştırıcı ile bir araya getirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının eksenel çekme yükü altındaki mekanik davranışları incelemiştir. Çalışmasını deneysel ve sayısal olarak iki etapta gerçekleştirmiştir. Çalışmasında kullandığı yapıştırıcıların gerilme-şekil değiştirme davranışlarını belirlemek için bulk numuneler hazırlamıştır. Kullandığı yapıştırıcıların performanslarını değerlendirebilmek maksadı ile deneylerini farklı iki bindirme mesafesinde gerçekleştirmiştir. Tek tesirli bağlantılar Neoxil CE92 N8 ve SikaForce 7710 kullanılarak birleştirilmiştir. Yapıştırıcılar ve yapıştırılan malzemelerin gerilme-şekil değiştirme davranışlarını gözlemek için lineer sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analizi yapmıştır. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar analizlerinden elde ettiği sonuçları karşılaştırdığında aralarında bir uyum olduğunu gözlemlemiştir. Sonuçlarında, Neoxil CE92 N8, SikaForce 7710 dan daha yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen bindirme mesafesindeki artış ve serbest uç açısındaki değişimle SikaForce 7710 ile birleştirilmiş numunelerin Neoxil CE92 N8 ile birleştirilmiş bağlantılar kadar iyi olduğu, bununla beraber serbest uç açısındaki değişiklikler ile daha iyi performans gösterebileceğini belirtmiştir.

Atas ve ark. (2011), çalışmalarında tamir edilmiş ve edilmemiş cam-epoksi kompozit levhaların darbe tepkisi üzerine deneysel bir araştırma gerçekleştirmişler. Tamir edilen numuneler, vakum destekli reçine infüzyonu uygulaması ve el yatırma metodu olmak üzere iki farklı şekilde üretilmiştir. Tamir edilen ve edilmeyen numunelerin çarpma tepkilerini karşılaştırmak amacı ile çeşitli enerjilerde bir dizi tek darbe testi yapılmıştır. Infüzyon uygulaması ile tamir edilen numunelerin eğilme

dayanımı, el yatırma metoduna göre yaklaşık %54 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düşük enerji değerleri altında tekrarlanan etkiler için, tamir edilen kompozit plakaların tamir edilmemiş olanlara kıyasla darbe tepkisi ve hasar mekanizmaları, tamir geometrisine bağlı olarak, tek darbelerden farklı olabileceği tespit edilmiştir.

Turan (2016), kompozit levhalarda yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı değişiminin etkilerini incelemiştir. $[0^\circ]_8$ tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli epoksi matriks reçineli kompozit levhalar epoksi yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yama takviye açısı, yama uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığının etkilerini araştırmak amacı ile statik çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yama açıları $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° olarak seçilirken, kompozit levhanın fiber takviye açısı 0° olarak belirlenmiştir. Yama uzunluğu 25.4, 38.1 ve 50.8 mm olarak belirlenirken yapıştırıcı kalınlıkları 0.2, 0.6 ve 1.0 mm olarak seçilmiştir. Bağlantı dayanımının yama fiber takviye açısı ile büyük ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Yama uzunluğu artışının bağlantı mukavemetini % 10 ile % 45 arasında değişen oranlarda arttırdığı belirlenmiştir. Çift yüzünden yapıştırılan numunelerin tek yüzünden yapıştırılanlara oranla hasar yüklerinin %73 ile % 160 arası değişen oranlarda arttığı tespit edilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının artması durumunda ise hasar yüklerinin %11 ile % 30 arasında azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada kompozit malzemelerde yapıştırma bağlantılarının mekaniğine deniz suyunun etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada numunelerin yama fiber takviye açıları $[0^\circ]_8, [15^\circ]_8, [30^\circ]_8, [45^\circ]_8$ yama uzunlukları 20 mm, 30 mm, 40 mm seçilmiş ve tek ve çift yüzlerinden birleştirilerek deniz suyunda 9 ay, 12 ay, 15 ay, 18 ay bekletilmişlerdir. Deniz suyundan çıkarıldıktan sonra elde edilen veriler kuru halleri ile karşılaştırılmış ve deniz suyu etkileri tablo ve grafikler halinde ortaya konmuştur.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tanım

Teknolojinin hızla ilerlemesi, beraberinde sanayinin temel ihtiyacı olan malzeme ve malzeme biliminde de gelişmelerin ilerlemesini sağlamıştır. Fakat doğada temel malzemeler kısıtlı olduğundan, malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri teknolojinin gelişimine ayak uyduramamıştır. Teknolojik açıdan büyük gelişmelerin yaşandığı geçen yüzyılda, Uzmanlar çağın yenilikleri ile mevcut malzemelerin özelliklerinden, bilimin gelişmesi ile beraber günün şartlarına uyacak şekilde gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yolunu bulmuşlardır.

Dolayısıyla hem ekonomik hem daha yüksek mukavemetli ve hem de çok hafif malzemelerin oluşturulması için yapılan çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Böylece malzemeyi oluşturan bileşenlerin, özellikleri farklı olan kombinasyonlarının verdikleri, kompozit malzemeler, büyük bir önem kazanmıştır.

İki ya da daha fazla malzemenin tercih edilen özelliklerini bir araya getirerek yeni bir malzeme oluşturulması ya da yeni bir özellik oluşturmak için makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemelere kompozit malzemeler adı verilir. Bir malzemenin kompozit olduğunu söyleyebilmek için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir (Onat, 2015).

- Kendiliğinden meydana gelmiş olmamalı, insan yapısı olmalı,
- En az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özellikleri farklı olan malzemelerin birleştirilmesi meydana gelmiş olmalı,
- Herhangi bir ana malzemesinin sağlayamadığı özellikleri sağlayabilmeli,
- En uygun özellikleri elde etmek için iki ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (karma) bir malzeme oluşturulmalı,
- Oluşturulan malzemenin özellikleri yüksek olup kendisini oluşturan elemanların en iyi özelliklerini bir arada toplanması gerekir (Onat, 2015).

Bir malzeme kompozit kullanılarak ile üretilcek olursa, bu malzemenin hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik özel ihtiyaçlarının neler olduğu araştırılmalıdır. Kompozit bir ürün tasarlanırken, ham madde özellikleri, maliyet, çevre

koşullarının ürüne etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi etkenler beraber değerlendirilmelidir (Onat, 2015).



Şekil 3.1. Tamamı kompozit malzemeden yapılmış kano (The Marine, 2018)

3.1.1. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin genel olarak diğer malzemelere göre artıları aşağıdaki gibidir.

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı,
- Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı,
- Hafiflik,
- Yüksek dielektrik direnç,
- Korozyona karşı dayanım,
- Çeşitlilik,
- Kalıplama kolaylığı,
- Tasarım kolaylığı,
- Tamir edilebilirlik,
- Titreşim sönümleme,
- Esneklik ve Montaj kolaylığı (Zor, 2018).

3.1.2. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Hammaddenin nispeten daha pahalı olması,
- Tabakalandırılmış kompozitlerin özelliklerinin her zaman ideal olmaması,
- Malzeme kalitesinin üretim yöntemlerinin kalitesine bağlı olması,
- Gevrek malzeme olmadıklarından, kompozitlerin kolaylıkla zarar görebilmeleri,
- Sınırlı raf ömürlerinin olması, kompozit malzemelerin başlıca dezavantajlarıdır (Onat, 2015).

3.1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

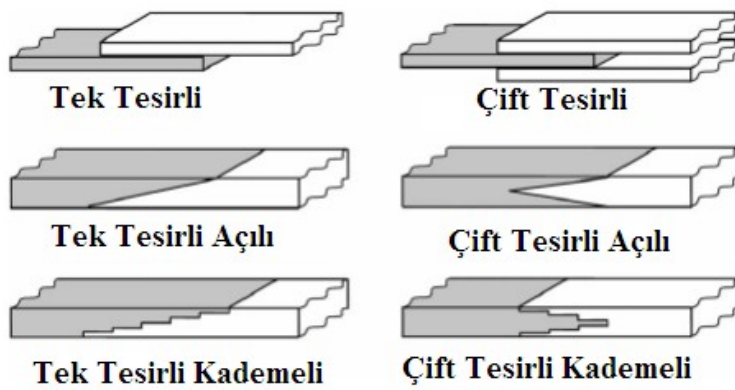
Kompozit Malzeme teknolojinin gelişmesi ile birlikte uygulama alanları gün geçtikçe artmaktadır, birçok sektörde kullanılan kompozitler hakkında bilimsel çalışmalar hala devam etmektedir. Tasarım kolaylığı ve çeşitlilik özellikleri ile kompozitler, birçok sektörün farklı ihtiyaç ve beklentilerini karşılamaktadır. Bazı sektörlerde hammadde olarak kullanılması yanı sıra üretimde yardımcı eleman olarak da kullanılabilmektedir. Kompozit malzemelerin kullanıldığı başlıca sektörler aşağıdaki gibidir.

- Uzay teknolojileri ve havacılık sanayisinde,
- Denizcilik sektörü,
- Sağlık alanında,
- Otomotiv sanayisinde,
- İnşaat ve yapı sektöründe,
- Savunma sanayisinde,
- Elektrik-elektronik teknolojisinde,
- Müzik aletleri ve spor malzemeleri üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar (Onat, 2015).

3.2. Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırma iki parçanın birleştirilmesi işlemi yapan, çoğunlukla sentetik bazlı bir malzeme ile yapılan çözilemeyen bir bağlantı türüdür. Genellikle kimyasal reaksiyonların sonucunda makro moleküller ile sertleşen yapıştırıcı, malzemeler arasında çok ince bir tabaka oluşturur. Yapıştırıcı iki farklı malzemeyi, sıkı bir şekilde adhezyon kuvveti ile bir arada tutar (Temiz, 2013).

Yapıştırıcı gerilimi birleştirilen bölgenin tümüne yayarak yüklerin düzgün dağılmasına imkân verir, bundan dolayı yapıştırıcı kullanılarak yapılmış bir bağlantı mekanik yöntemler ile yapılmış bir bağlantıya göre titreşim ve bükülmeye karşı daha dayanıklıdır. Yapıştırıcı ideal kalınlığı 0,05mm ile 0,15mm iken yapıştırılan yüzeyin uzunluğu kullanıldığı yere göre değişiklik gösterebilir. Yapıştırıcıdan iyi bir performans beklemek için birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temizliği büyük önem taşır. Şekil 3.2’de genel yapışma bağlantıları temsili olarak gösterilmiştir (Loctite, 1998).



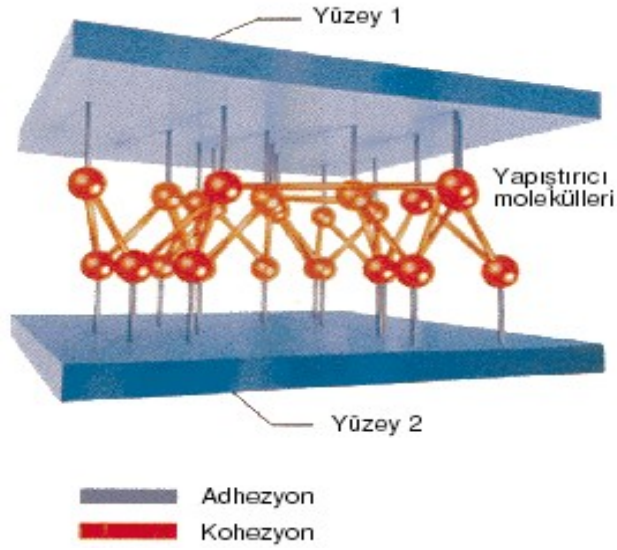
Şekil 3.2. Genel yapışma bağlantısı tipleri (Loctite, 1998).

3.2.1. Adhezyon Kuvvetleri

Yapıştırılan malzemenin molekülleri ile yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekim kuvvetine adhezyon kuvveti adı verilir (Kayacan, 1988).

3.2.2. Kohezyon Kuvvetleri

Yapıştırma işleminde kullanılacak olan yapıştırıcının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvveti kohezyon kuvveti olarak adlandırılır (Kayacan, 1988).



Şekil 3.3. Adhezyon ve Kohezyon kuvvetleri (Loctite, 1998).

3.2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları

- Düzgün gerilme dağılımı gerçekleşir,
- Kolay uygulanabilirlik,
- Kaynak bağlantılarına benzer yapısal değişim gerçekleşmez,
- Uygun olmayan kaynak izleri yoktur,
- Sızdırmazlık sağlar,
- Korozyon sürtünmesi ile aşınma ortadan kalkmıştır,
- Kaynak veya perçinde olduğu gibi birleştirilen yüzeyde istenmeyen görüntüler oluşturmaz; bu yönü ile tasarımcılara ürün görünümünü güzelleştirmek adına kolaylık sağlar.
- Yorulma dayanımı yüksektir,
- Farklı metaller arasında korozyon oluşumunun önüne geçer,
- Sönümleyici olduğundan titreşimleri yutma özelliğine sahiptir,
- Elektriksel yalıtıma elverişlidirler ve maliyetleri düşüktür (Kaya, 2005).

3.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları

- İyi bir bağlantı için tecrübe sahibi bireylere ihtiyaç duyulur,
- Bakımları uzun zaman alır,
- Yüksek ısıya karşı dirençleri düşüktür,
- Yüzey temizleme bir hassasiyet gerektirir,

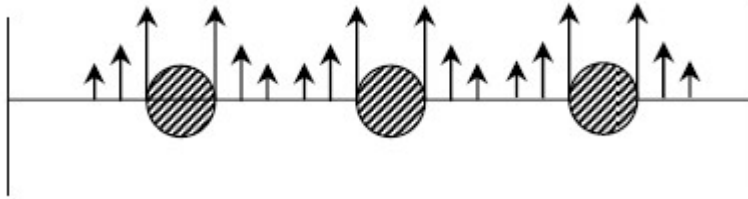
- Bazı bağlantı durumlarında ısı ve basınca ihtiyaç duyulabilir,
- Tamir edilme güçlükleri ile karşılaşılabilir,
- Yapıştırma bağlantılarında tahribatsız muayene güçtür,
- Düşük sıcaklıklarda kırılabilirlik görülebilir,
- Bükülmeye elverişli parçalarda sürtünmeye karşı direnç düşüktür (Kaya, 2005).

3.2.5. Yapıştırma Bağlantısı ve Diğer Çözümeyen Bağlantıların Karşılaştırılması

Yapıştırma bağlantılarının diğer çözümeyen bağlantılara kıyasla birçok üstünlüğü mevcuttur. Bu üstünlükler aşağıdaki başlıklarda incelenmiştir (Kayacan, 1988).

3.2.5.1. Perçin Bağlantıları

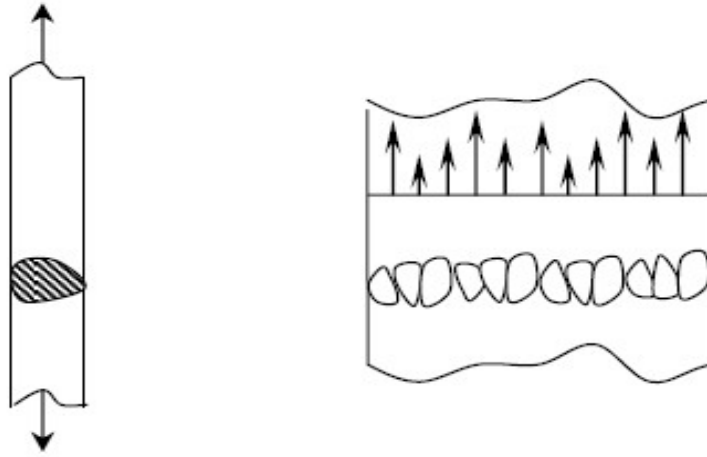
Perçin bağlantılarında delikler, kesiti daraltıp çentik etkisi meydana getirdiği için, delik etrafında gerilmeler meydana gelir. Bindirme perçin bağlantılarında kuvvet parçanın tam ortasına etki etmediği için eğilme momenti oluşturur, bu da perçin diziliş şekline göre, temel malzemenin dayanımında %15 ile %50 arasında bir düşüş oluşturur. Perçin ile bağlama yöntemi hem yavaş hem de fazla iş gücü gerektiren bir bağlantıdır (Kayacan, 1988).



Şekil 3.4. Perçin ile bağlama da gerilme dağılımı (Kayacan, 1988).

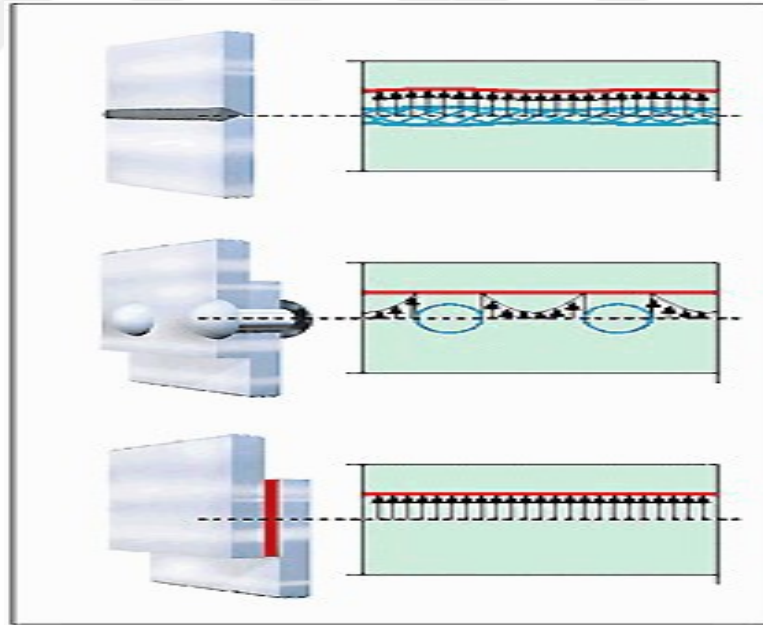
3.2.5.2. Kaynak Bağlantıları

Kaynak sırasında malzemenin ergimesi ve donması bölgesel ısıl zorlamalar ve kristal yapıda değişiklikler ortaya çıkarır. Kaynağın soğuması esnasında ortaya çıkan iç gerilmeler, kaynak hataları, mukavemet değerinde bir düşüşe ve şekil 3.5’de görüldüğü gibi düzensiz bir gerilme dağılımına sebep olur (Kayacan, 1988).



Şekil 3.5. Kaynak bağlantılarında gerilme dağılımı (Kayacan, 1988).

Kaynak dikişleri dikkatli yapılmalıdır ve emniyet gerilmesi yapılan kaynağın kalitesine bağlı olarak farklı değerlerde olabilir. Yalnızca benzer tür malzemeler birbirleri ile kaynak yapılabildiği için kaynak bağlantılarının kullanılması kısıtlıdır. Bunun yanı sıra bir çok malzeme kaynak yapmaya elverişli değildir (Kayacan, 1988).



Şekil 3.6 .Kaynak, perçin ve yapıştırma bağlantılarda gerilme dağılımı (Kayacan, 1988).

3.2.5.3. Lehim Bağlantıları

Farklı tür malzemelerin bağlantısı mümkündür ve ısı etkiler kaynak bağlantılarındaki kadar büyük değildir bununla beraber lehim birleştirilen malzemelerden daha düşük bir ergime sıcaklığına sahiptir.

3.2.5.4. Pres Bağlantıları

Bu bağlantı yönteminde sıcak ve soğuk olmak üzere iki pres yöntemi vardır, Bu yöntemin uygulama alanı geniş değildir. Daha fazla silindirik birleştirmelerde kullanılmaktadır. Maliyetli ve işçilik gerektiren bir yöntemdir.

3.2.6. Yapıştırma İşleminde Bağlantı Çeşitleri

Yapıştırma uygulamalarında kullanılan bağlantı tipleri şekil 3.7-3.14'te temsili olarak gösterilmiştir(43).

3.2.6.1. Bindirmeli Bağlantı (LAP Bağlantısı)

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi bu bağlantı türünde, birleştirilecek malzemelerin, belirli bir kısmı üst üste gelecek şekilde, yapıştırma işlemi yapılır (Kaya, 2005).



Şekil 3.7. Bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005).

3.2.6.2. Eğimli Bindirmeli Bağlantı

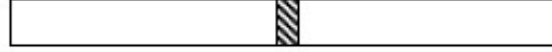
Bu bağlantıda, bağlantı yapılacak olan elemanların bindirme bölgelerinin üst kısımlarına eğim verilmiştir (Kaya, 2005).



Şekil 3.8. Eğimli bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005).

3.2.6.3. Alın Alına Bağlantı

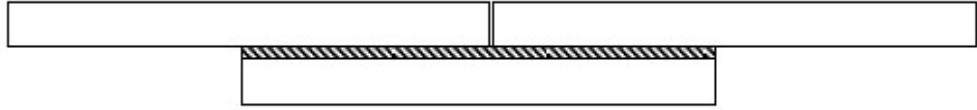
Birleştirilecek malzemelerin yapıştırıcı ile alınlarından bir birlerine yapıştırıldığı bağlantı türüdür (Kaya, 2005).



Şekil 3.9. Alın alına bağlantı (Kaya, 2005)

3.2.6.4. Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

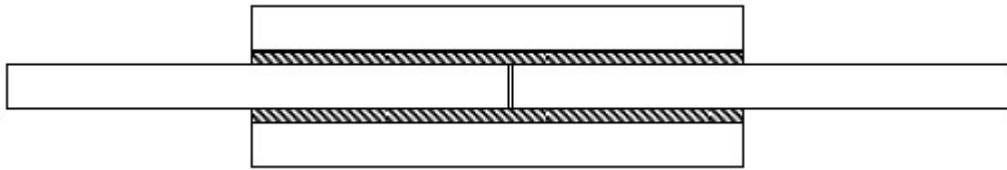
Bindirme bağlantısında alt kısma veya üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş bir destek elemanı bulunan bindirmeli bağlantı şeklidir (Kaya, 2005).



Şekil 3. 10. Tek destek elemanlı bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005)

3.2.6.5. Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

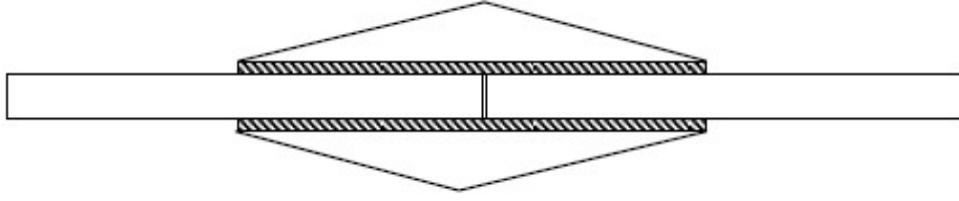
Bindirme bağlantısında, hem alt kısma hem de üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş iki destek elemanı bulunan bindirmeli bağlantı şeklidir (Kaya, 2005).



Şekil 3. 11. Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005).

3.2.6.6. Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

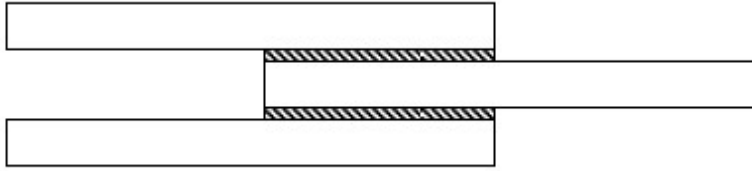
Bindirme bağlantısında, hem alt kısma hem de üst kısma gelecek şekilde yerleştirilmiş iki destek elemanı bulunan ve bu destek elamanlarına eğim verilmiş şekilde olan bindirmeli bağlantı şeklidir (Kaya, 2005).



Şekil 3. 12.Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005).

3.2.6.7. Çift Bindirmeli Bağlantı

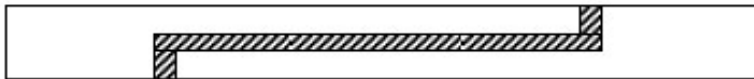
Bindirme işleminde iki adet elaman bir üçüncü elemanın üzerine alt ve üste gelecek şekilde bindirilmek sureti ile yapıştırılıyorsa bu bağlantı şekline çift bindirmeli bağlantı denir (Kaya, 2005).



Şekil 3. 13.Çift bindirmeli bağlantı (Kaya, 2005).

3.2.6.8. Basamaklı Bindirme Bağlantısı

Bindirme işleminde yapıştırılacak elemanlar üzerine birbirlerine tam oturması için basamak şeklinde boşlukların açılmış olduğu bağlantı şeklidir.



Şekil 3. 14.Basamaklı bindirme bağlantısı (Kaya, 2005).

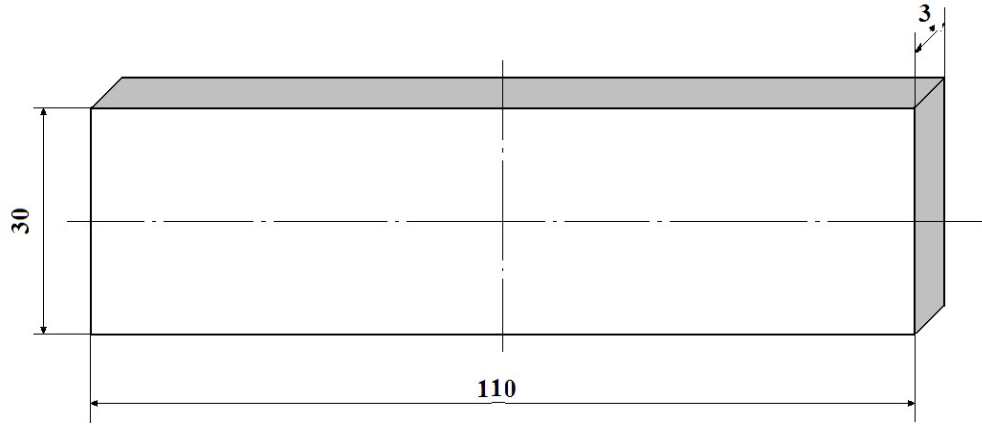
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu kısımda yama ve yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş kompozit levhaların statik çekme testlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Deneysel parametreler ve deneyin hazırlanması da yine bu kısımda açıklanmıştır.

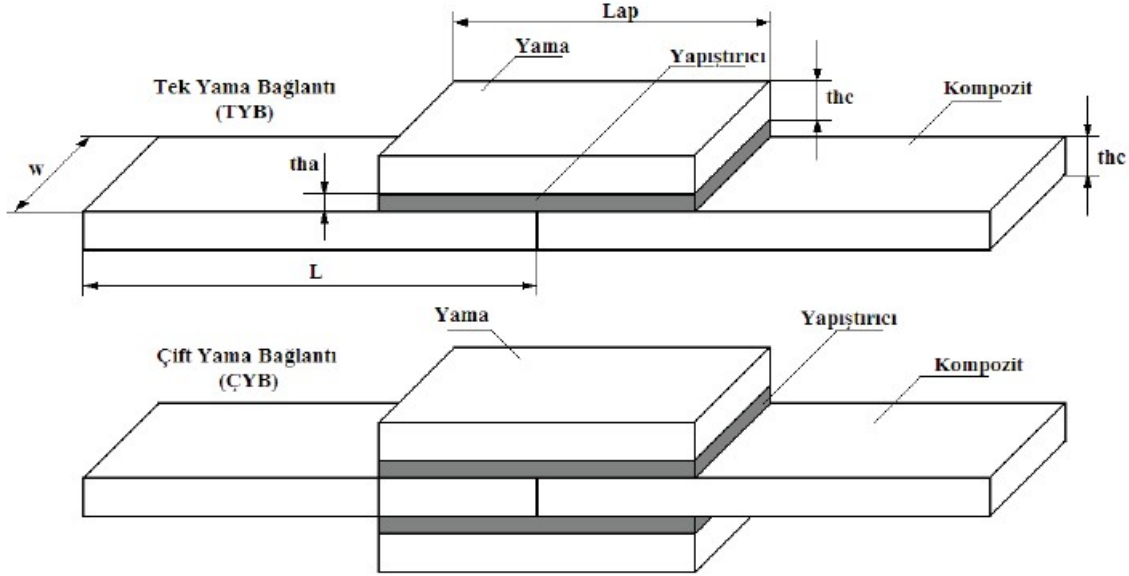
4.1. Problem Modeli

Çalışmada kompozit levhalar 110 mm x 30 mm x 3 mm boyutlarında, birleştirme işleminde kullanılan yamalar ise yine aynı kompozit malzemeden ve aynı genişlik ve kalınlıkta 20 mm, 30 mm ve 40 mm uzunlarında seçilmiştir. Bu levhalar ve yamalar uygun şekilde kesilerek Şekil 4,1'deki gibi hazırlanmıştır ve tek veya çift yama kullanılarak yapıştırıcı ile birleştirilmiştir.

Suda bekletilme sürelerine göre numuneler 0A, 9A, 12A, 15A ve 18A olacak şekilde isimlendirilmiştir. Rakamlar suda bekletilme sürelerini ay cinsinden temsil etmektedir.



Şekil 4.1.Deney çalışmada kullanılan numune boyutu (Çelik, 2015).



Şekil 4.2. Bağlantı geometrisi (Turan, 2018).

4.2. Numunelerin Hazırlanması

İyi bir yapıştırma işleminin başında yüzeyin pürüzlendirilmesi, temizlenmesi ve kurutulması gelir. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce yüzeyin zımpara veya kum püskürtme vb. yöntemler ile hassas bir şekilde pürüzlendirilmesi, aseton, benzin etilen gibi yağ çözücüler ile temizlenmesi ve temiz bir yerde sıcak hava ile kurutulması gerekmektedir. Eksik ya da yanlış yapılan bir yapıştırma yüzey hazırlığı istenmeyen ve beklenmedik sorunlara yol açabilir. Bu doğrultuda yüzey hazırlama ve numunelerin gerekli ölçülerde kesilme işlemi sırasında aşağıdaki yol ve yöntemler izlenilmiştir. İstenilen ölçülerde numuneler numaralandırılmıştır.

Uzun kompozit levhalardan, istenilen uzunluklarda elektrikli testere yardımı ile deneyde kullanılacak kompozit numuneler kesilmiştir.



Şekil 4.3. Elektrikli testere yardımı ile levhaların kesilmesi

Numuneler istenilen ölçülerde kesildikten sonra yapıştırma işlemi kalitesini arttırmak amacıyla yapılacak zımpara için çizilmiştir. Daha sonra zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Zımparalama işlemi için gerçekleştirilen çizme işlemi

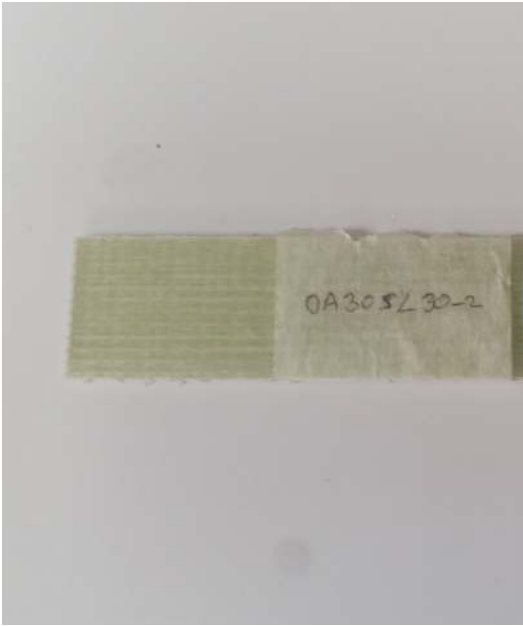
4. ARAşTIRMA BULGULARI

Zımparalama işleminden sonra yüzeyler aseton ve temiz bez yardımı ile temizlenmiştir.



Şekil 4.5. Zımparalanan numunelerin aseton yardımı ile yüzey temizleme işlemi

Yüzey temizleme işlemi tamamlandıktan sonra, karışıklığı önlemek için numuneler gruplandırılmış ve numaralandırılmıştır. Suda bekleme süreleri A ile bindirme uzunlukları L ile tek yüzü yama yapılmış ise S çift yüzü yama yapılmış ise D ile gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Numaralandırılmış numune örneği

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada kullanılmış parametreler

Suda Bekleme Süreleri	Yama Yüzeyi	Yama takviye açısı	Yama Uzunluğu (mm)
0Ay	Tek/Çift Yüz	0°/15°/30°/45°	20,30,40
9Ay	Tek/Çift Yüz	0°/15°/30°/45°	20,30,40
12Ay	Tek/Çift Yüz	0°/15°/30°/45°	20,30,40
15 Ay	Tek/Çift Yüz	0°/15°/30°/45°	20,30,40
18 Ay	Tek/Çift Yüz	0°/15°/30°/45°	20,30,40

Yüzey hazırlama işlemleri tamamlandıktan sonra yapıştırılacak tüm kompozit malzemeler ve yapıştırma işleminde kullanılacak bütün yamalar elde edilmiştir. Yapıştırma işleminin istenilen standart ölçülerde yapılabilmesi için özel kalıplar hazırlanmıştır. Bu kalıplar hazırlanan kompozit malzeme ve kompozit yamalara uygun ölçülerdedir. Yapıştırma işlemi yapılmadan önce bu kalıplara, kalıp ayırıcı sıvı sürülmüştür. Yapıştırma işlemi yapıldıktan sonra numuneler kalıp içerisinde kürlenmeye bırakılmıştır.



Şekil 4.7. Yapıştırma işleminde kullanılan kalıplar ve tabanca

Yapıştırma işlemleri tamamlanan numuneler, dikkatli bir şekilde, tüm numuneleri aynı tarihte sudan çıkaracak şekilde üçer ay aralıklarla temin edilen tuzlu

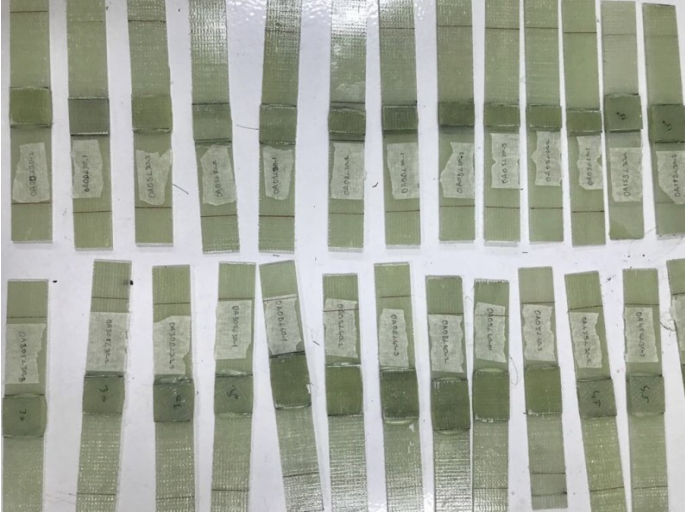
deniz suyu içerisinde beklemeye bırakılmıştır. Suya bırakılan her grubun, suya atıldığı tarih kaydedilmiştir.



Şekil 4.8. Deniz suyu beklemeye bırakılmış numuneler.

4.3. Deneyin Yapılışı

18. Ayın sonunda deniz suyundan çıkarılan bütün numunelerin göz ile muayenesi yapıldıktan sonra çekme testine hazırlanmıştır.



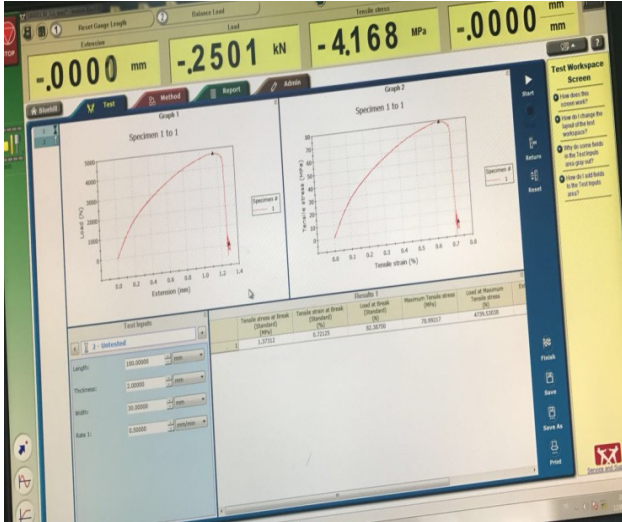
Şekil 4.9.Çekme testine hazır numuneler

Numunelerin hazırlanması ve statik çekme deneyleri Dicle Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her deney grubu için üçer numune hazırlanmıştır. Deneyler 100 kN kapasiteli Instron Bs 8800 test cihazında ASTM standartlarına göre oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin çekilme hızı 1mm/dk olarak ayarlanmıştır. Test cihazının alt çenesi hareketli olup üst çenesi hareket etmemektedir.

Her iki çenenin de numunelere uyguladıkları sıkıştırma basınçları eşit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bütün numunelerin çekme testi boyunca şekil değişimleri, soyulmaları ve hasara uğrama şekilleri gözlemlenmiş, yapılan gözlemler kaydedilmiştir. Numunelerin hasar yükleri ve uzamaları Şekil 4.11'deki gibi doğrudan bilgisayarda kaydedilmiş ve bu verilerle grafik ve tablolar oluşturulmuştur.



Şekil 4.10. Test çekme cihazı ve çenelere bağlanmış numune



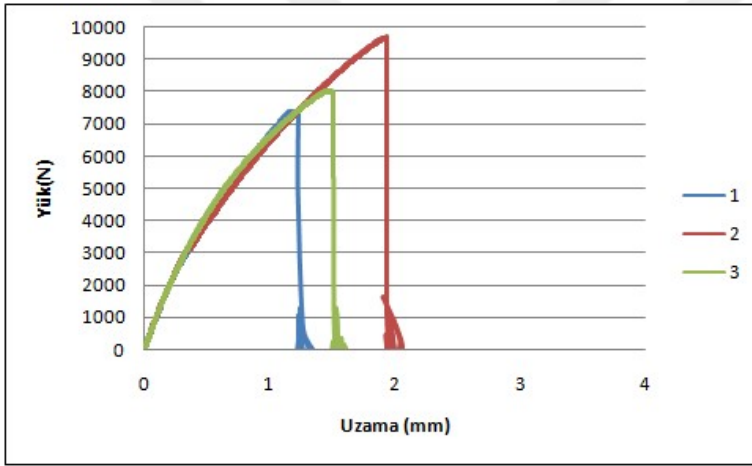
Şekil 4.11. Test cihazından alınan verilerin bilgisayarda kaydedilmesi

4.4. Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu kısımda suda bekleme sürelerinin, yama uzunluğunun, fiber takviye açılarının tek ve çift yüz yama uygulamaları parametrelerinin hasar yüküne etkileri hasar yükü-uzama grafikleri ile anlatılacaktır. Her parametre için üç deney numunesi kullanılmıştır.

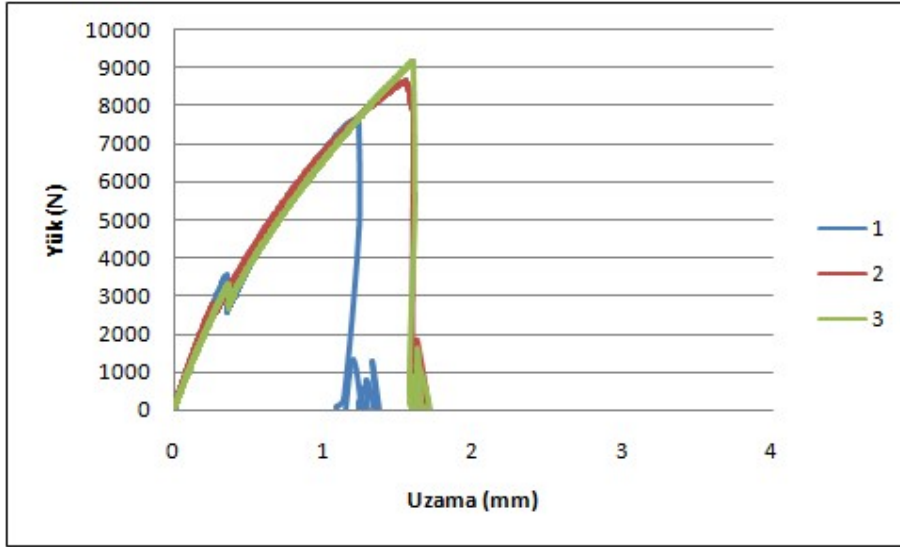
4.4.1. Kuru Haldeki (Suya Bırakılmamış) Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları

Kuru halde tek yüzünden yama yapılmış 0° yama fiber açılı numunelerde grafik eğrileri doğrusal olarak artmakta ve levhalar anlık kırılma ile hasara uğramaktadır.



Şekil 4.12. Kuru halde tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Fiber takviye açısı 15° ye çıkarılması ile levhaların ilk hasarlarında düşüş meydana gelmekte bununla beraber reçine sertleşip hasar ilerlemesi artmaktadır. Bu yüke karşı uzamada bir artış sağlamaktadır.



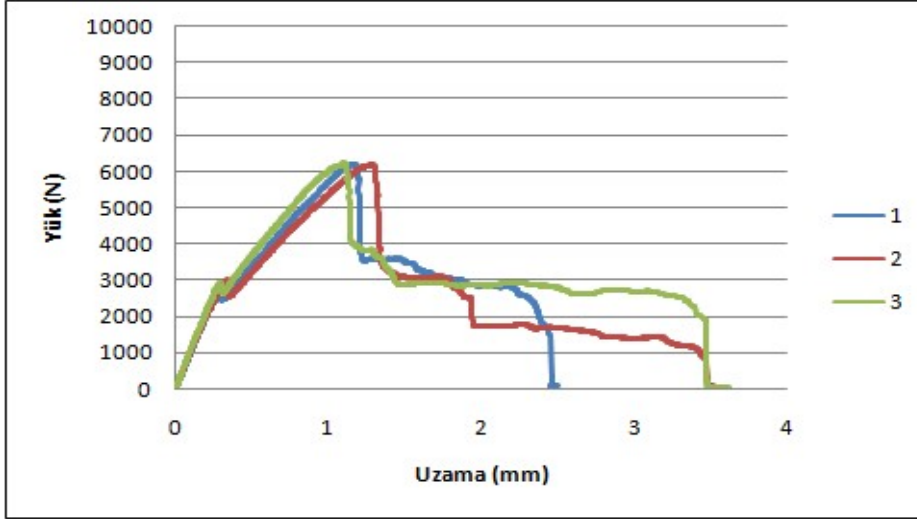
Şekil 4.13. Kuru halde tek yüzü yamalı $[15^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

$[30^\circ]_8$ numunelerde uzamanın $[15^\circ]_8$ ve $[0^\circ]_8$ ile benzerlik gösterdiği ancak maksimum hasarın düştüğü görülebilmektedir. Yine burada da bir ilk hasarın gerçekleştiği daha sonra uzama ile hasarın devam ettiği gözlemlenmiştir. $[30^\circ]_8$ anlık bir kırılma yerine zamanla ayrılma gerçekleşmiştir.



Şekil 4.14. Kuru halde tek yüzü yamalı $[30^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Genel olarak grafiklerin benzerlik gösterdiği ancak $[45^\circ]_8$ numunelerin maksimum hasarlar değerlerinin diğerlerine göre daha az olduğu bununla beraber maksimum uzamasının daha fazla olduğu görülmüştür.

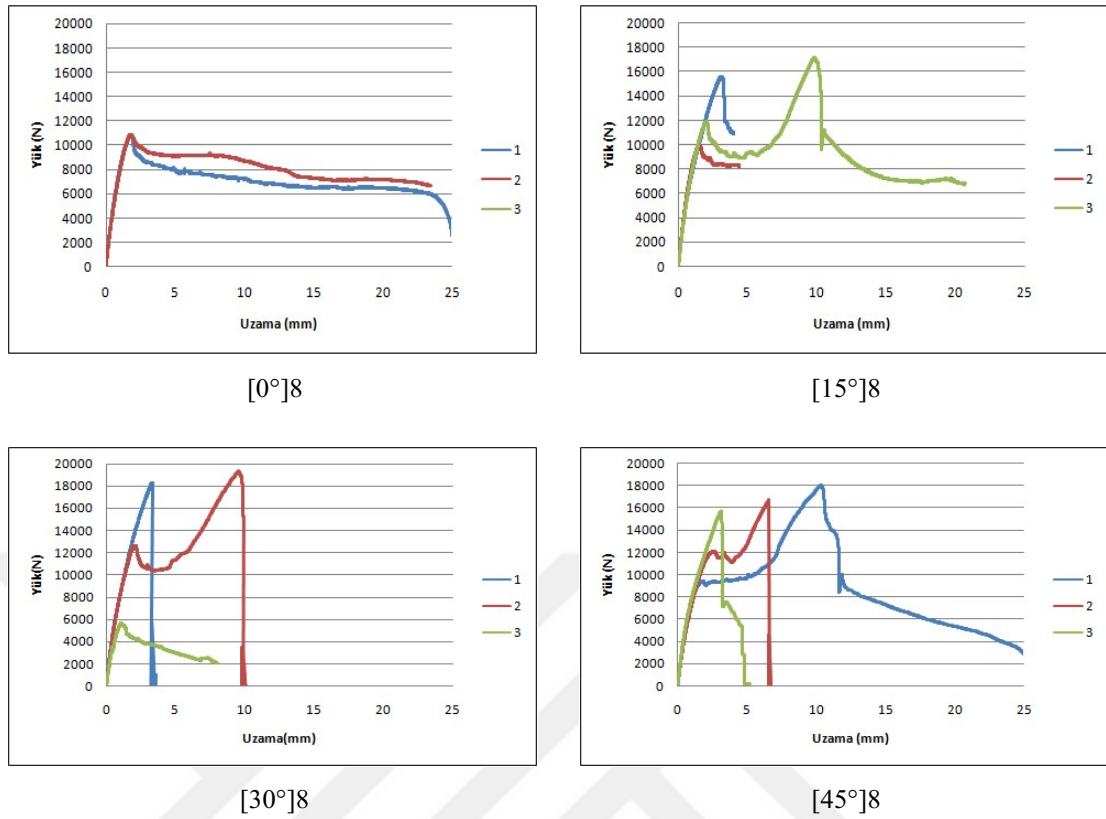


Şekil 4.15. Kuru halde tek yüzü yamalı $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Kuru halde tek yüzlerinden yapıştırılmış levhalara ait hasar yükü- uzama grafiklerine bakıldığında fiber takviye açısının artması ile hasar yüklerinin azaldığı görülmektedir, ancak fiber takviye açılarının değiştirilmesi ile uzamanın değişiklik gösterdiği grafiklerden görülmektedir. Bu kompozit malzemelerin genel davranışına uygun bir durumdur.

Tek ve çift yüzünden yama yapılmış numuneler arasındaki mukavemet farkını görebilmek için deneysel çalışmada numunelerin bir kısmı tek yüzünden bir kısmı da çift yüzünden yama yapılmıştır. Elde edilen değerler ile yük-uzama grafikleri hazırlanmıştır.

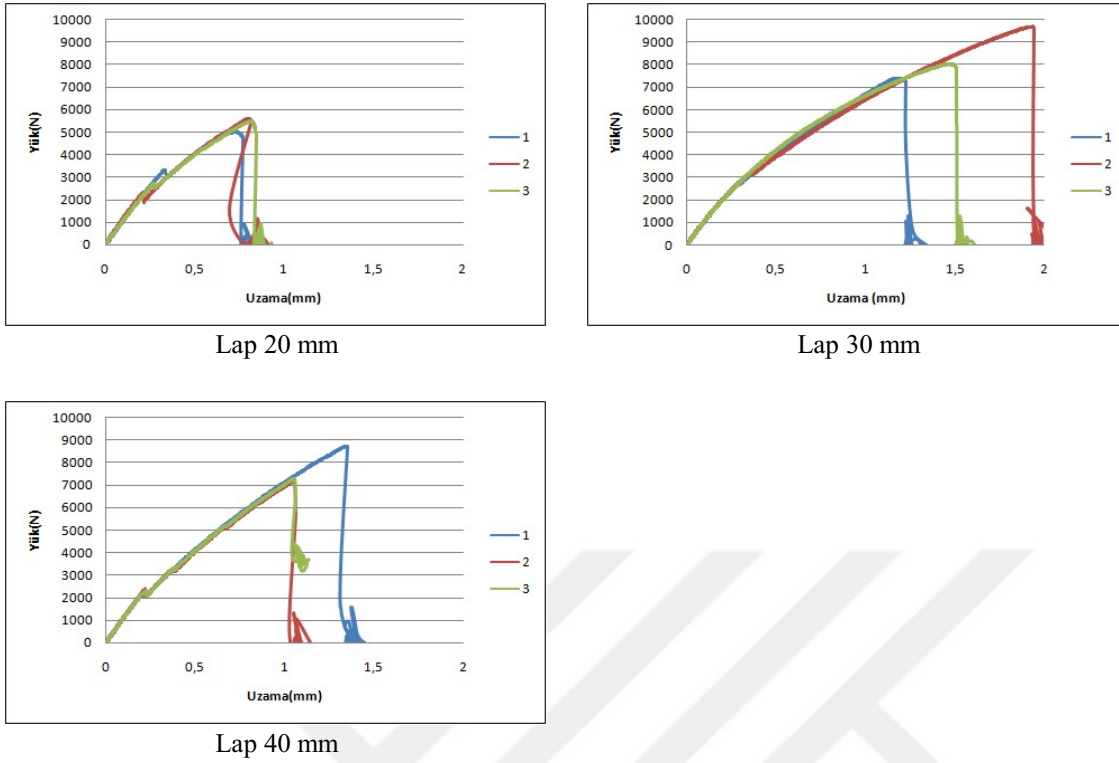
Şekil 4.16'da çift yüzünden yama yapılmış kuru halde fiber takviye açıları değiştirilmiş kompozit levhaların yük-uzama grafikleri sunulmuştur.



Şekil 4. 16. Kuru halde çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Çift yüzlerinden yama yapılmış kuru haldeki numunelerde fiber takviye açılarının artırılması yük eğrilerinin farklılık göstermesini sağlamıştır. Tek yüzü yapıştırılmış numuneler ile karşılaştırıldığında bazı numunelerde hasar dayanımının iki katına çıktığı görülmüştür. Numuneler kendi aralarında incelendiğinde yama fiber açıları arttırıldıkça hasar yüklerinin değişiklik gösterdiği ve uzamada bir düşüş olduğu gözlemlenmektedir. $[0^\circ]_8$ numuneler doğrusal bir yük artışından sonra diğer numunelere kıyasla daha fazla uzama göstermektedir. Diğer Numunelerde genel olarak, maksimum yükten sonra ani bir kırılma olması durumu $[0^\circ]_8$ numunelerde geçerli olmamıştır.

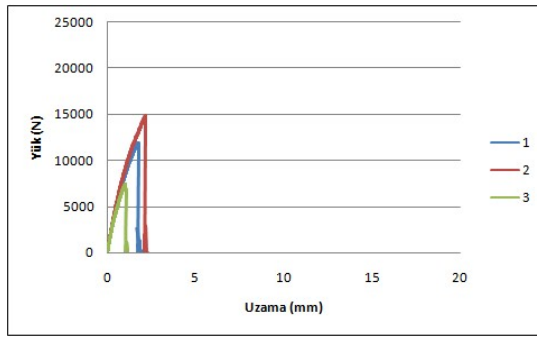
Şekil 4.17’de tek yüzünden yama yapılmış kuru halde yama uzunluğu değiştirilmiş kompozit levhaların yük-uzama grafikleri sunulmuştur.



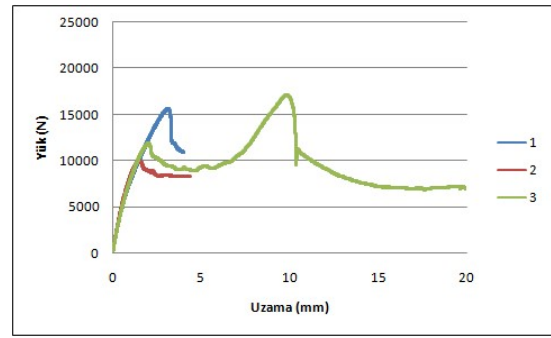
Şekil 4. 17. Kuru halde tek yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Şekil 4.17. incelendiğinde kompozit levhalar statik çekme yüküne tabi tutulduğunda numunelerde lineer bir yük artışı ve bir ilk hasar gözlemlenmektedir. İlk hasardan sonra hasar doğrusal olarak ilerlemiş ve ani bir kırılma gerçekleşmiştir. Bu da genel kompozit davranışına uygun bir durumdur. Yama uzunluğu 20 mm olan numunelerde hasar 6000 N'a çıkarken, 30 mm ve 40 mm numunelerde hasar 9000 N civarındadır. Yama uzunluğunun arttırılması yük ve uzama değerlerini arttırmıştır.

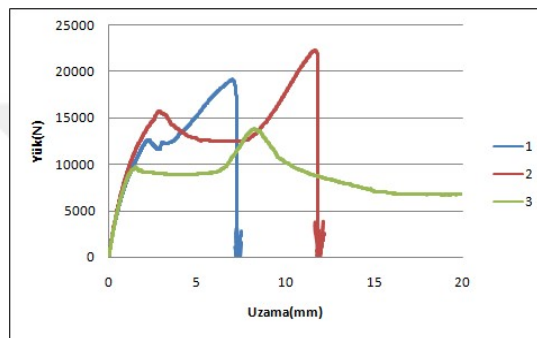
Şekil 4.18'de çift yüzünden yama yapılmış kuru halde yama uzunluğu değiştirilmiş kompozit levhaların yük-uzama grafikleri sunulmuştur.



Lap 20 mm



Lap 30 mm



Lap 40 mm

Şekil 4. 18. Kuru halde çift yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

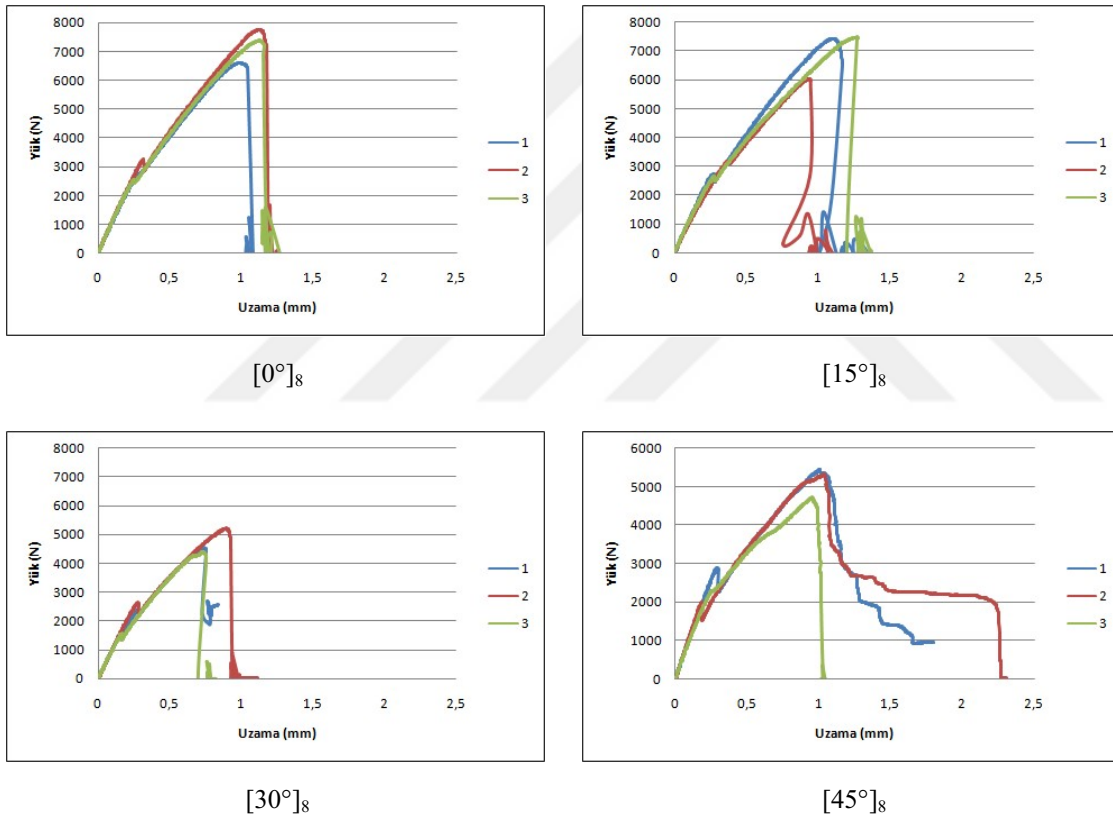
Çift yüzünden yama yapılmış 20 mm yama uzunluğuna sahip numunede uzamanın 30 mm ve 40 mm yama uzunluğuna sahip numunelere göre çok düşük olduğu görülmektedir. 30 mm yama uzunluğuna sahip numunede hasar yükleri 20 mm ile benzerlik gösterse de uzama miktarı 20mm den daha fazla gerçekleşmiştir. 40 mm yama uzunluğuna sahip numune diğer iki numuneye göre daha fazla hasar yükü ve uzama göstermiştir. Lap 30 mm 3 numaralı ve lap 40 mm 3. Numaralı deney numunelerinde kompozit malzemeyi tutan çenelerin iyi kavrayamamasından dolayı fazladan bir uzama görülmektedir.

Şekil 4.18. ile tek yüzlerinden yama yapılmış numuneleri ifade eden Şekil 4.17'deki grafikler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin çift yüzü yama yapılmış numunelerde çok daha yüksek olduğu görülmektedir, aynı şekilde uzama miktarlarının da çift yüzü yama yapılmış numunelerde çok daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

4.4.2. 9 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş kompozit levhaların hasar yükleri incelenmiştir. Çalışma parametreleri yama uzunluğu değişimi, yama fiber takviye açısı değişimi ve tek yüz-çift yüz yamalama işlemleridir.

Şekil 4.19'da 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.

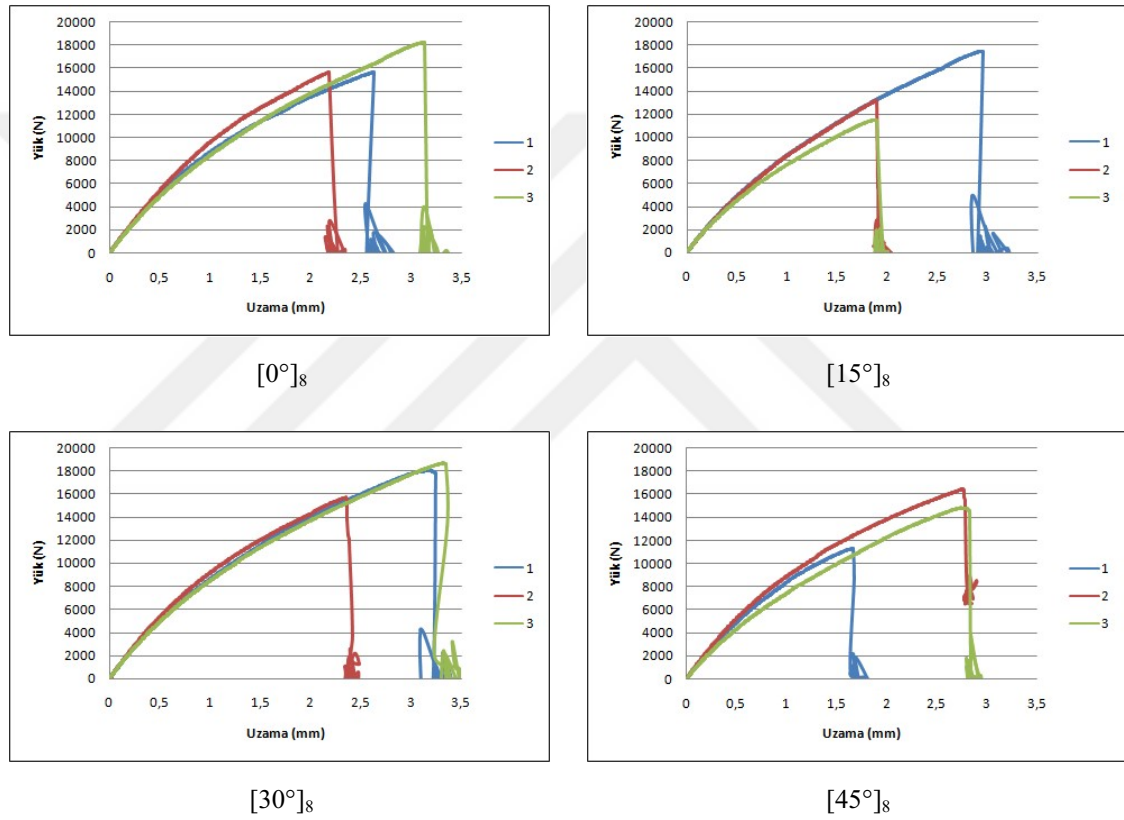


Şekil 4. 19. 9 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Tek yüzü yama yapılmış kompozit levhalarda hasarlar lineer olarak artarken anlık kırılmalar gerçekleşmiştir. İlk hasarın ardından hasarları yine doğrusal bir şekilde artan kompozit levhaların yama fiber takviye açısı arttıkça maksimum hasarda düşüş gözlemlenmektedir. Bununla beraber $[45^\circ]_8$ kompozit levha grafiğinin uzama miktarlarında artış görülmektedir.

Şekil 4.19 kuru halde tek yüzünden yama yapılmış ve yama fiber takviye açıları değiştirilmiş numuneler ile karşılaştırıldığında (şekil 4.12, şekil 4.13, şekil 4.14, şekil 4.15) tüm numunelerde suda bekletilme ile hasarın düştüğü görülebilmektedir. Bununla beraber numunelerin suda bekletilmesi uzama kabiliyetlerini de düşürmüştür.

Şekil 4.20’de 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 20.9 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

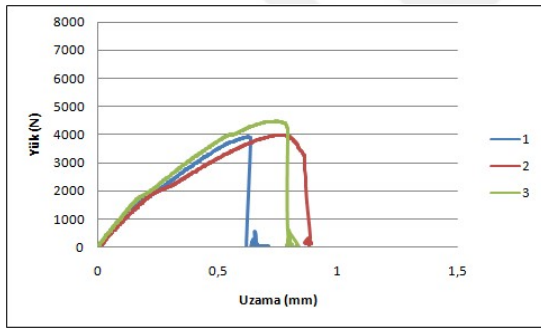
Çift yüzü yama yapılmış farklı fiber açılarındaki kompozit levhaların hasar yükleri lineer olarak artmıştır. Fiber takviye açısının arttırılması grafiklerin uzama miktarlarında bariz bir değişiklik göstermemiştir. Bununla beraber fiber takviye açılarının değiştirilmesi maksimum hasarların değişmesine yol açmıştır.

Şekil 4.20. ile Şekil 4.19 karşılaştırıldığında çift yüzü yama yapılmış numunelerin maksimum hasar yüklerinin tek yüzü yama yapılmış numunelere kıyasla

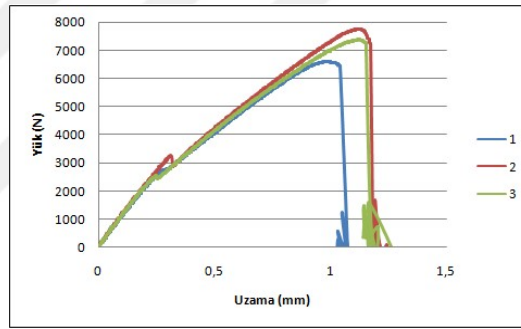
yaklaşık iki katı kadarı artmış olduğu görülmektedir. Yine uzama miktarlarının çift yüzü yama yapılmış grafiklerde daha fazla olduğu anlaşılabilmektedir.

Şekil 4.20. ile Şekil 4.16 karşılaştırıldığında ise numunelerin tuzlu deniz suyundan etkilendiği ve maksimum hasarlarda düşüşlerin yaşandığı gözlemlenebilmektedir. Kuru halde çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ kompozit malzemelerde maksimum uzamaların 25 mm ye ulaştığı ancak 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş numunelerde maksimum uzamanın genel olarak 3-3.5 mm arası olduğu görülebilir.

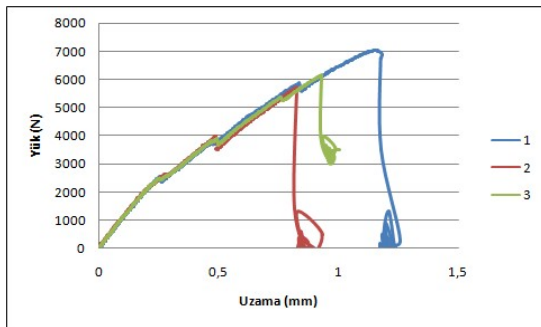
Şekil 4.21’de 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Lap 20 mm



Lap 30 mm



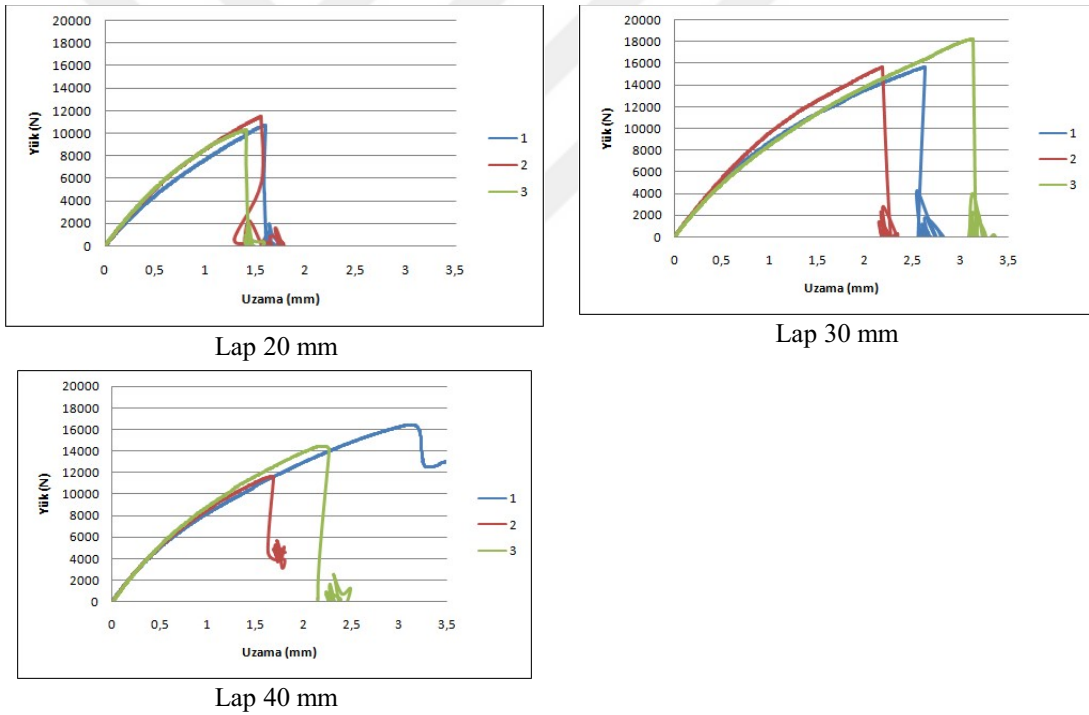
Lap 40 mm

Şekil 4.21. 9 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Grafikler incelendiğinde her üç grafikte de ilk hasar gerçekleştiği ve bu ilk hasardan sonra hasarın doğrusal bir şekilde ilerlediği ve bağlantılarda ani bir kırılma meydana geldiği görülebilir. Yama uzunluğunun arttırılması maksimum hasar yüklerinde değişiklikler oluşturmuştur. 30mm yama uzunluğu diğer 20mm ve 40mm yamalara göre daha yüksek hasara sahiptir.

Şekil 4.18.'deki grafikler ile kuru halde yama uzunlukları değiştirilen şekil 4.17'deki grafikler ile kıyas edildiğinde hasar yüklerinde genel bir düşüş yaşandığı görülebilir. Grafiklerdeki uzama miktarlarında ise ciddi bir değişiklik olmamıştır.

Şekil 4.22'de 9 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 22. 9 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Şekil 4.22 incelendiğinde hasar yüklerinde doğrusal bir artış olduğu ve ani bir kırılma gerçekleştiği görülmektedir. Lap 20 mm kompozit levhalarda maksimum hasarın 12000 N'a yaklaştığı, lap 30 mm de 18000 N ve lap 40 mm de 16000 N ulaştığı görülebilmektedir.

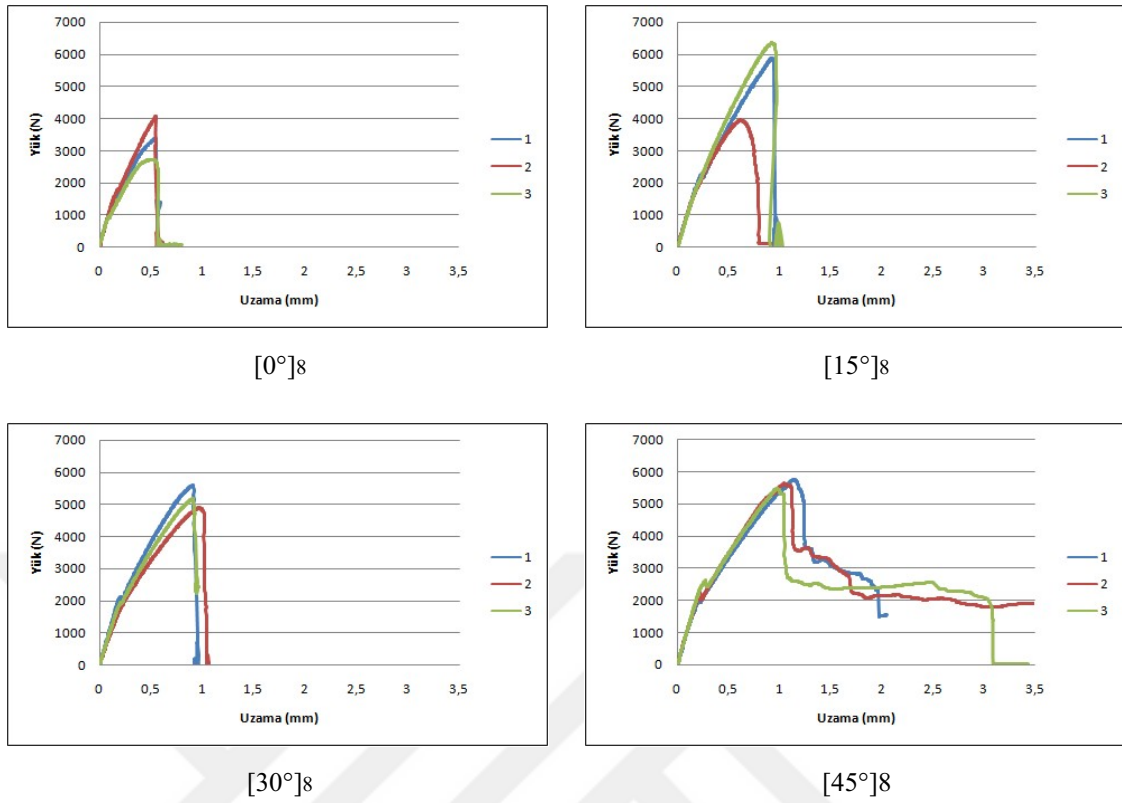
Çift yüzü yama yapılmış numuneler tek yüzü yama yapılmış kompozit levhalar ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin iki katına çıktığı gözlemlenmiştir. Uzama miktarlarının da arttığı da şekil 4.22 ve şekil 4.21 karşılaştırmasından görülebilir.

9 ay suda bekletilen ve çift yüzlerinden yama yapılmış bu numuneler şekil 4.18'de kuru halde olan aynı malzemler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinde ve uzamalar da düşüş gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durum sonuç kısmında ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

4.4.3. 12 Ay Boyunca Suda Bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde 12 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş kompozit levhaların hasar yükleri incelenmiştir. Çalışma parametreleri yama uzunluğu değişimi, yama fiber takviye açısı değişimi ve tek yüz-çift yüz yamalama işlemleridir.

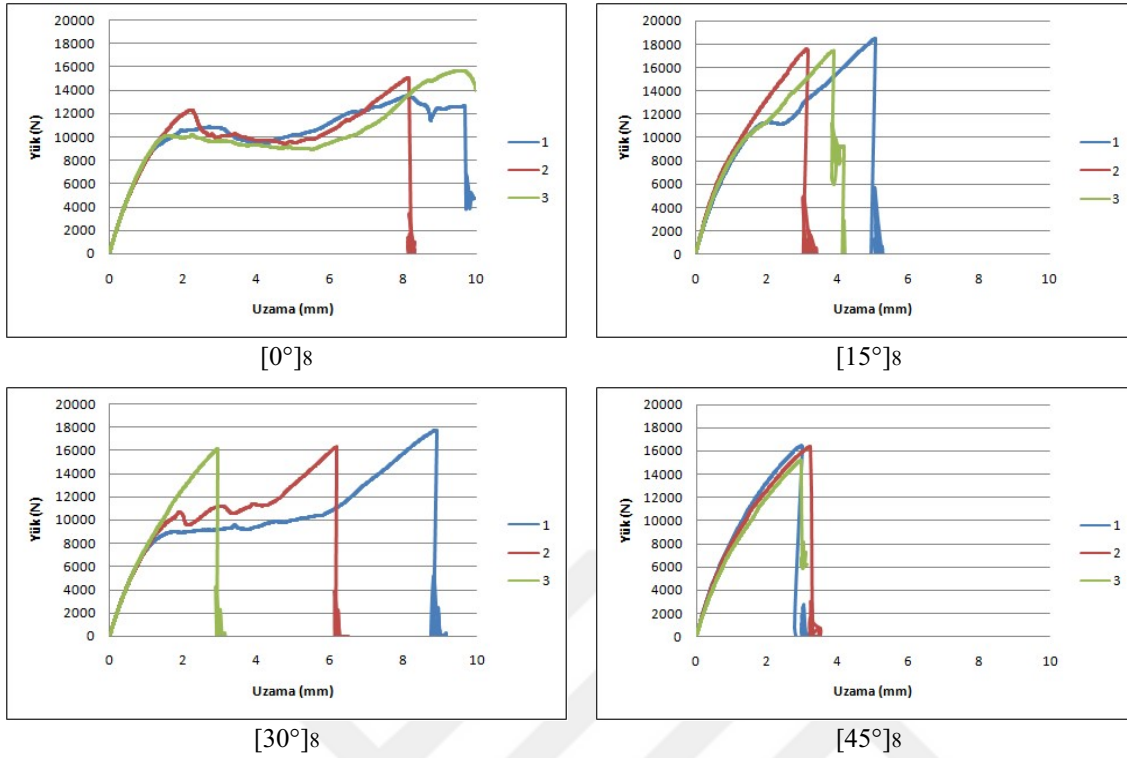
Şekil 4.23'de 12 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 23. 12 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı [0°]₈, [15°]₈, [30°]₈ ve [45°]₈ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Numunelerde doğrusal bir hasar ilerlemesi daha sonra ani kırılma gerçekleşmiştir. [45°]₈ grafiğindeki uzama diğer grafiklerdeki uzamalar ile farklılık göstermiştir. Yine [45°]₈'de kırılma, soyularak gerçekleşmiştir. Fiber takviye açılarının artırılması ile grafik hasarlarında değişiklikler görülebilmektedir.

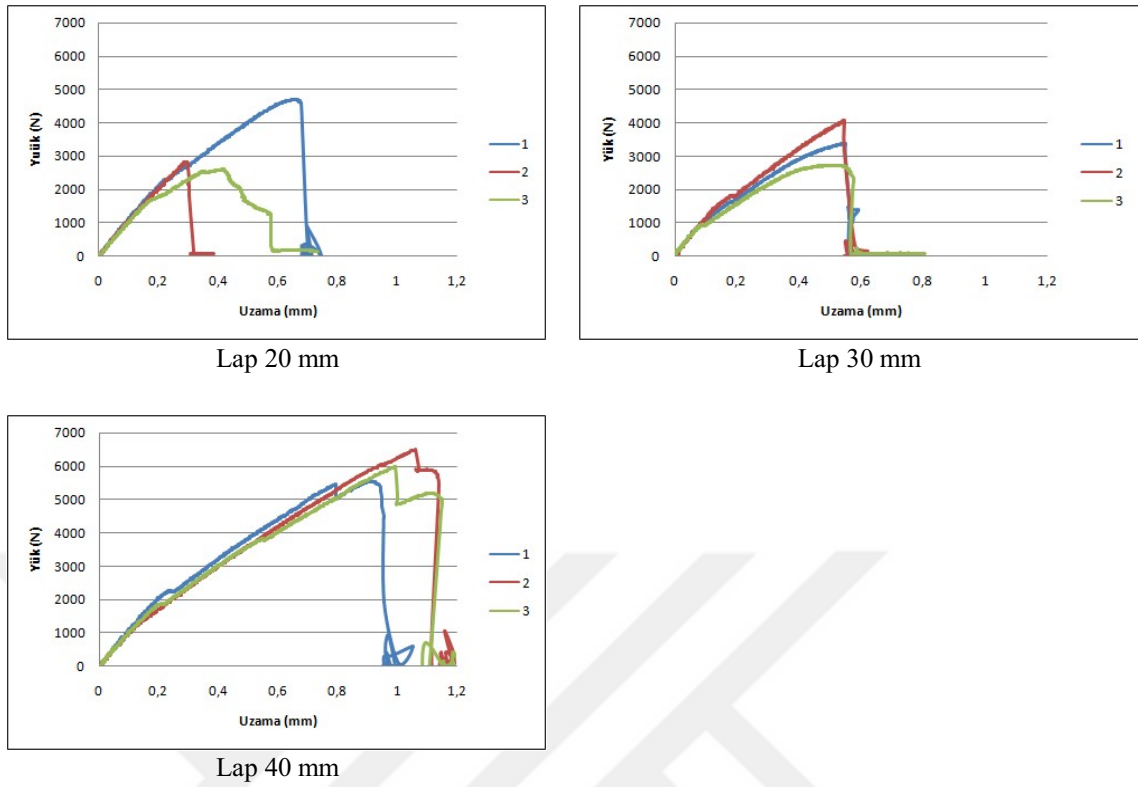
Şekil 4.24'de 12 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 24. 12 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Şekiller incelendiğinde dört farklı grafikte de kopmaların ani kırılma ile gerçekleştiği görülmektedir. $[0^\circ]_8$ 'nin aksine diğer grafiklerde hasar, kırılmaya kadar doğrusal artmıştır. Yama fiber takviye açısının arttırılması uzama değerlerinde farklılıklara yol açmıştır. Çift yüzü yama yapılmış numuneler tek yüzünden yama yapılmış numuneler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinde büyük miktarda artış olduğu gözlemlenmektedir.

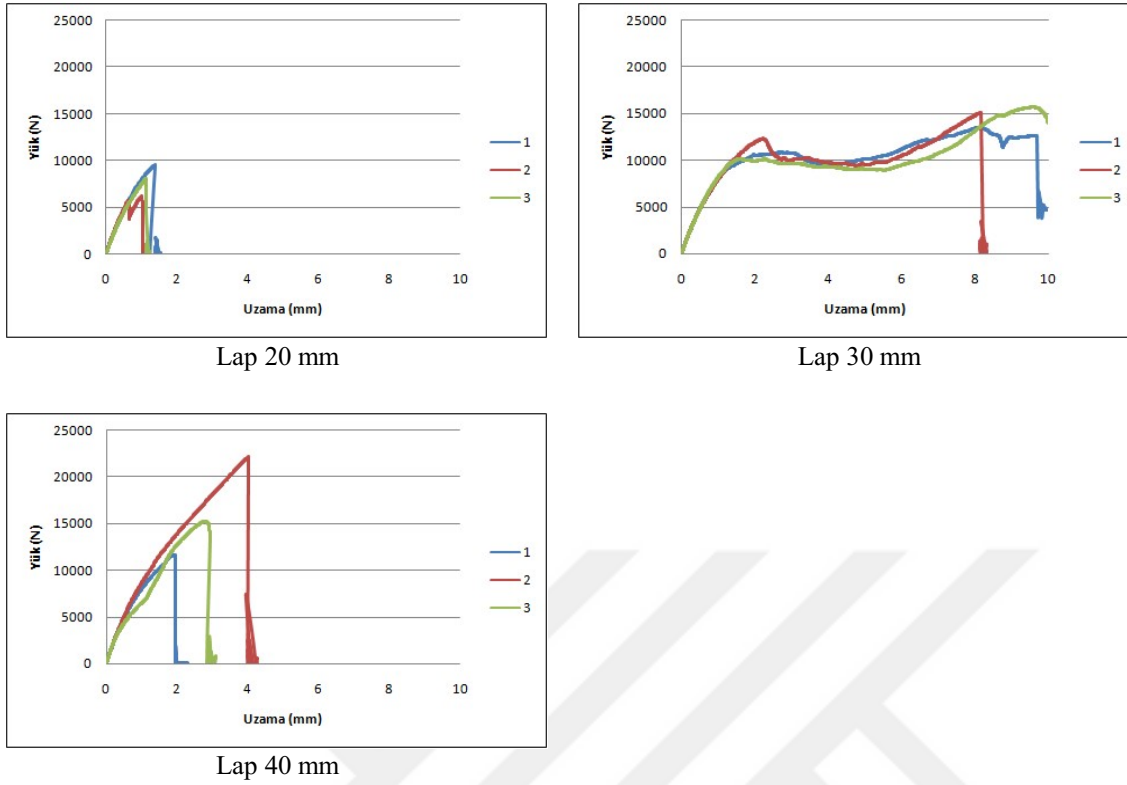
Şekil 4.25'de 12 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 25. 12 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Yama uzunluğunun artırılması ile uzama miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Her üç grafikte de tüm numunelerin hasarının lineer arttığı ani kopma gerçekleştiği görülmektedir. Lap 20 mm ve lap 30 mm numunelerinin hasar yüklerinde bariz bir fark yok iken lap 40 mm'ye çıkarıldığında hasar yükleri artmıştır.

Şekil 4.26'da 12 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



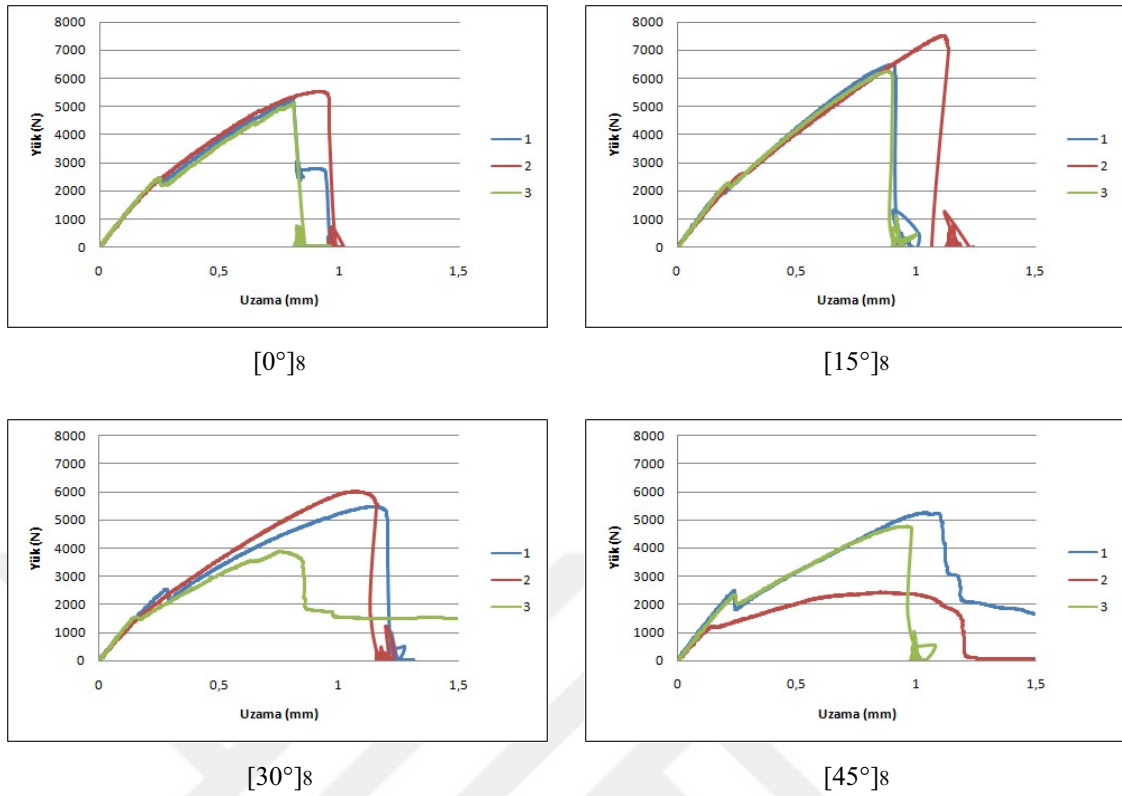
Şekil 4. 26. 12 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Yama uzunluklarının artması ile hasar yüklerinde büyük artışlar görülmektedir. Hasarların doğrusal olarak arttığı grafiklerde yama uzunluğunun arttırılması uzama miktarını da arttırmıştır. Tek yüzü yama yapılmış numuneler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin iki katına çıktığı görülebilmektedir. Çift yüzü yama yapılmış ve 9 ay boyunca suda kalmış numuneler ile karşılaştırıldığında ise suda bekleme süresinin artması ile hasar yüklerinde düşüş meydana gelmiştir.

4.4.4. 15 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde 15 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş kompozit levhaların hasar yükleri incelenmiştir. Çalışma parametreleri yama uzunluğu değişimi, yama fiber takviye açısı değişimi ve tek yüz-çift yüz yamalama işlemleridir.

Şekil 4.27’de 15 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.

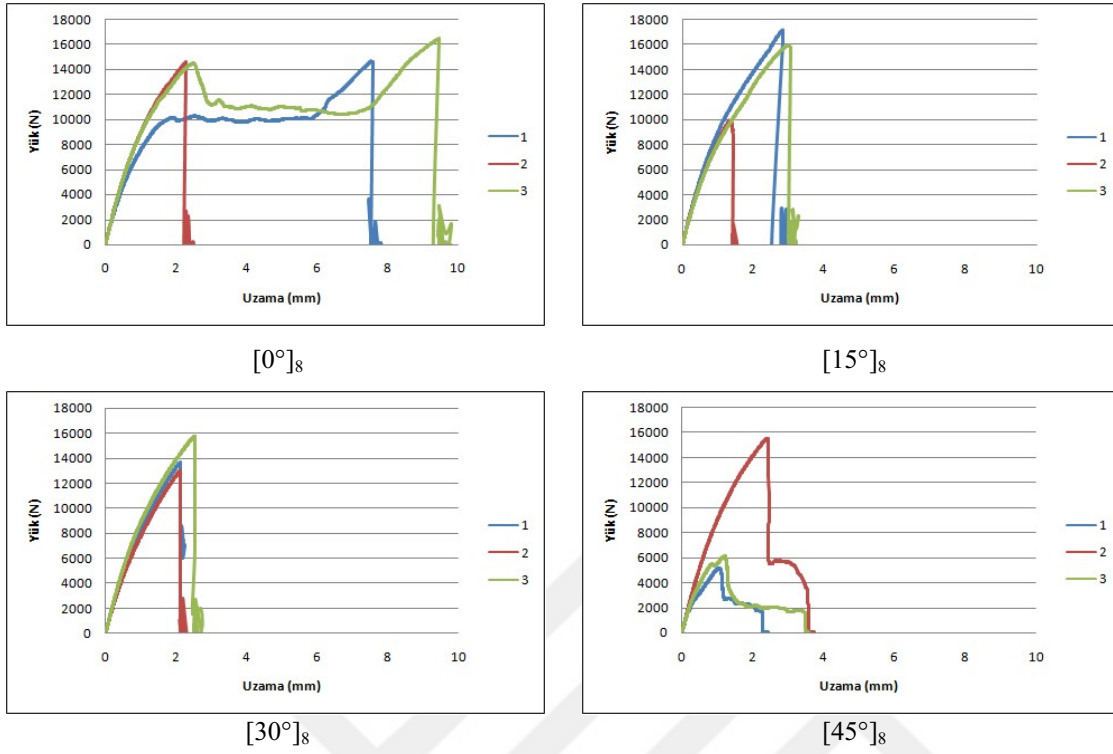


Şekil 4. 27. 15 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı [0°]₈, [15°]₈, [30°]₈ ve [45°]₈ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Her dört grafiğin numunelerinde hasar doğrusal olarak ilerlemiştir. Diğer üç grafikte numune eğrileri bir birine yaklaşıırken, [45°]₈'de hasar-uzama eğrileri farklılık göstermiştir. Fiber takviye açısının artırılması uzama miktarlarını önemli ölçüde etkilememiştir. Yine diğer grafiklerde ani kırılma gözlemlenirken [45°]₈ numunelerinde soyularak kırılma ve ani kırılma gözlemlenmektedir.

Şekil 4.28'de 15 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.

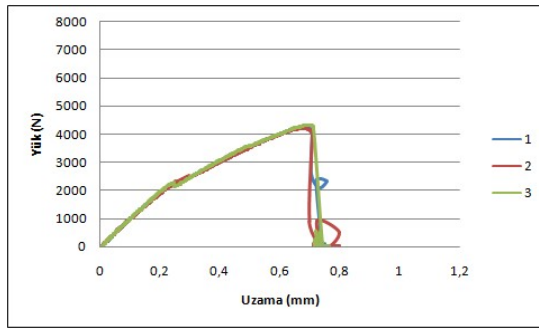
4. ARAŞTIRMA BULGULARI



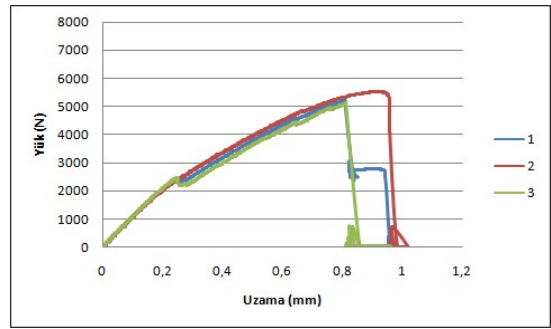
Şekil 4. 28. 15 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Şekil 4.28. incelendiğinde numunelerin hasarlarının lineer arttığı daha sonra ani kırılma ile koptuğu görülmektedir. Bu durum $[45^\circ]_8$ 'de farklılık göstermiştir, $[45^\circ]_8$ 'de numuneler soyularak kopmuştur. Çift yüzünden yama yapılmış bu numuneler tek yüzlerinden yama yapılmış numuneler ile karşılaştırıldığında çift yüzü yama yapılmış numunelerde maksimum hasarın iki katına çıktığı gözlemlenmiştir.

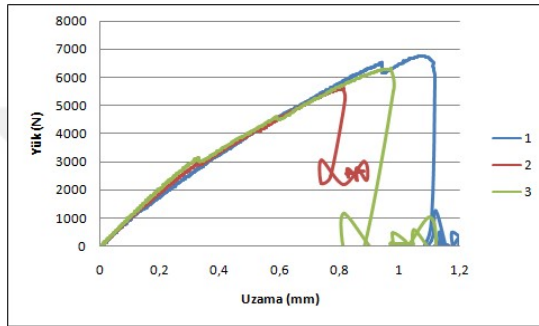
Şekil 4.29'da 15 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Lap 20 mm



Lap 30 mm

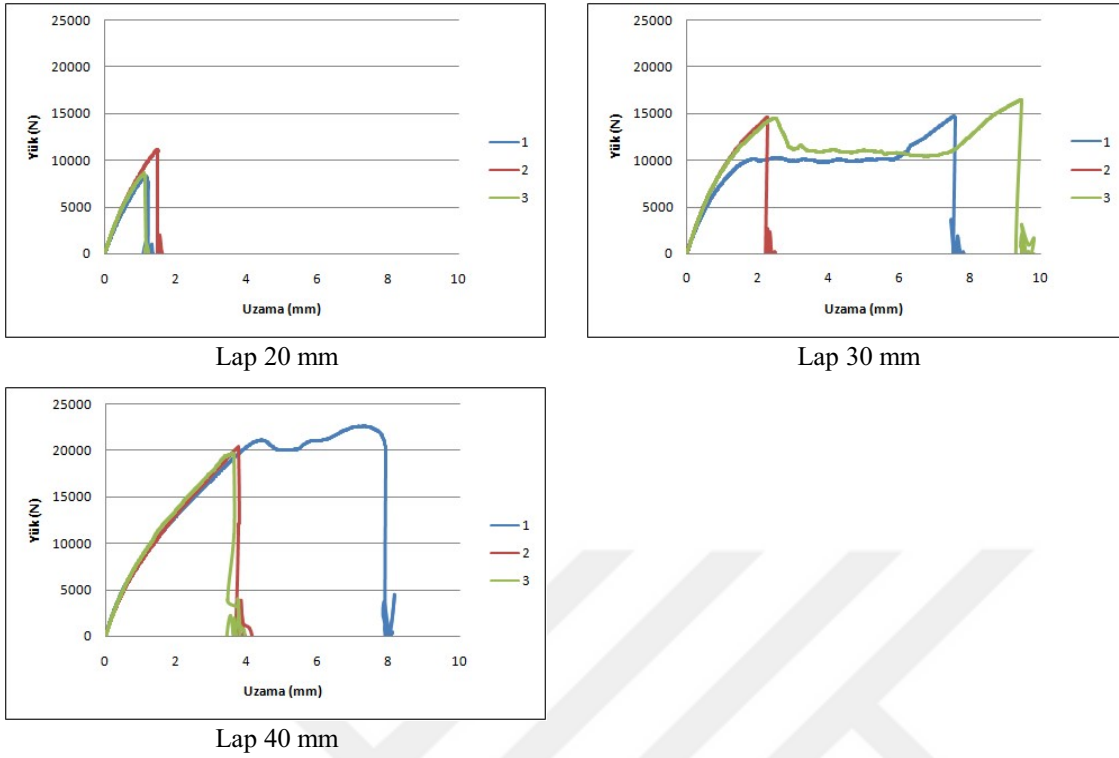


Lap 40 mm

Şekil 4. 29. 15 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Her üç grafikte de üç numunenin yük-uzama eğrileri benzerlik göstermiştir. Yama uzunluğunun arttırılması ile hasar yükleri ve uzama miktarları artmıştır.

Şekil 4.30'da 15 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



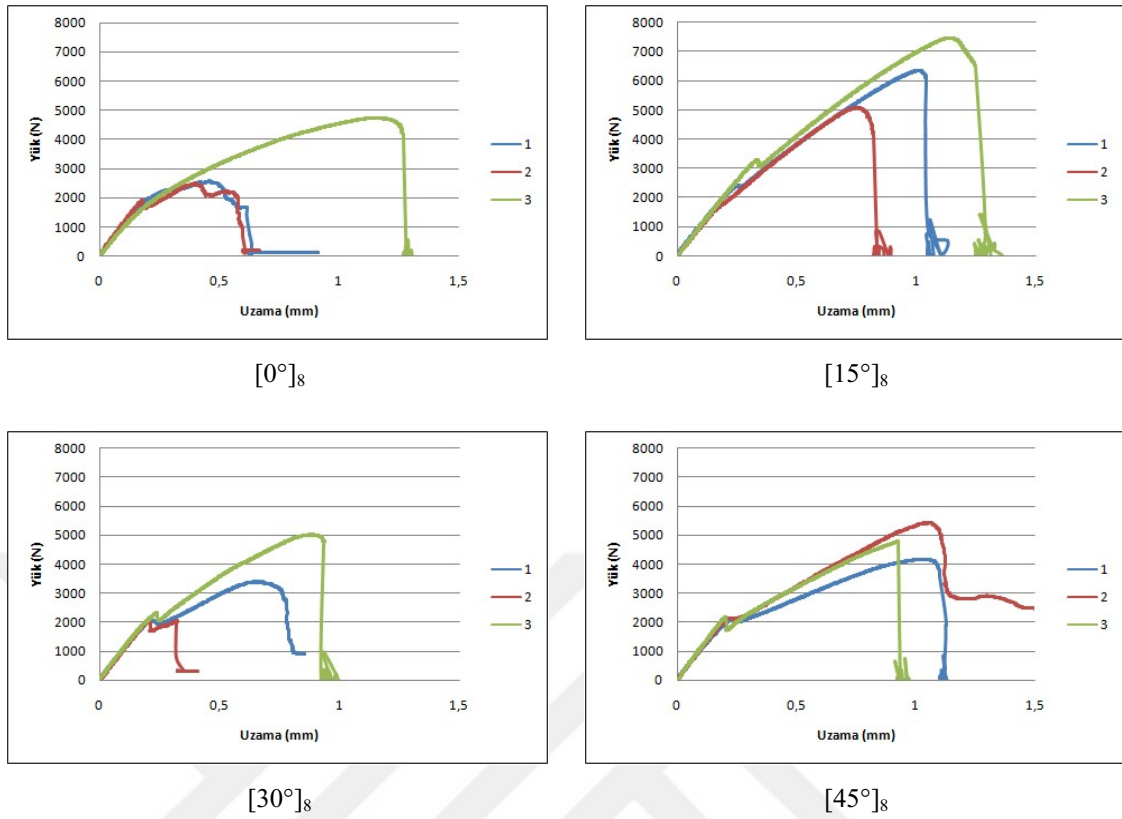
Şekil 4. 30. 15 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Yama uzunluklarının artırılması hasar yüklerinin artmasına ve uzamaların değişiklik göstermesine neden olmuştur. Hasar yüklerinin doğrusal arttığı ve numunenin ani kırılma ile koptuğu görülmektedir.

4.4.5. 18 Ay Boyunca Suda bekletilmiş Numunelerin Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde 18 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş kompozit levhaların hasar yükleri incelenmiştir. Çalışma parametreleri yama uzunluğu değişimi, yama fiber takviye açısı değişimi ve tek yüz-çift yüz yamalama işlemleridir.

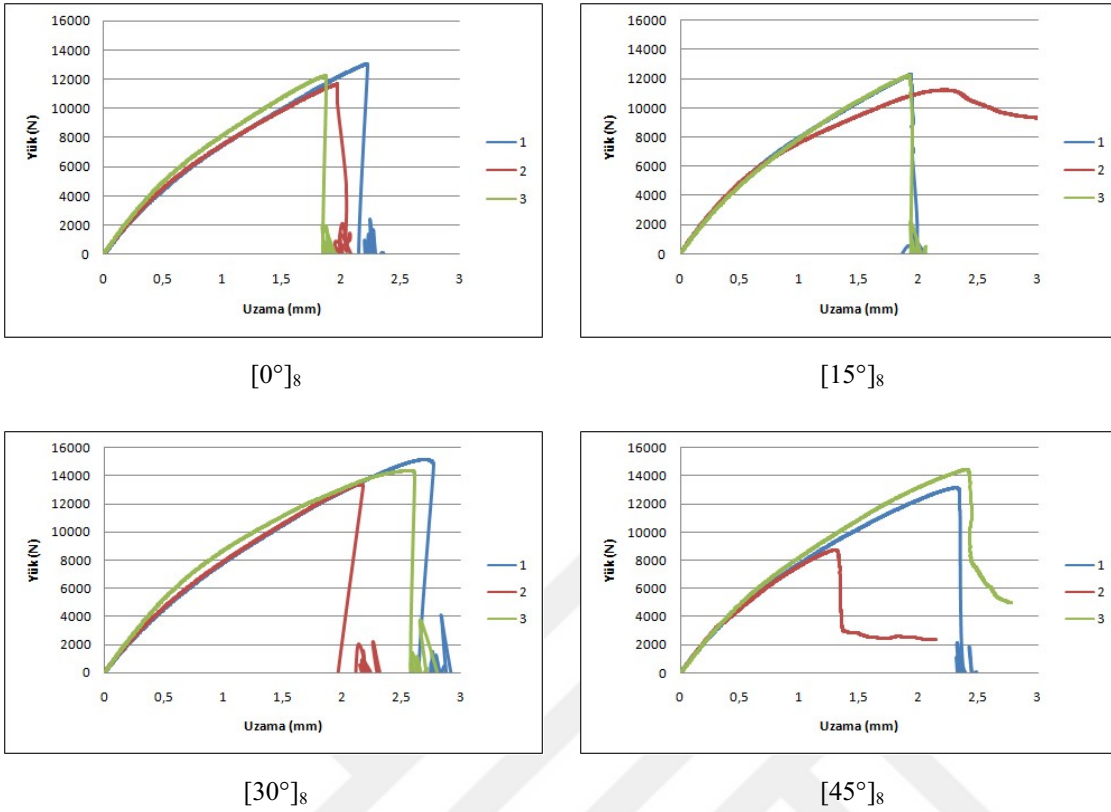
Şekil 4.31’de 18 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 4. 31. 18 ay boyunca suda bekletilmiş tek yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Şekil 4.31 incelendiğinde yama fiber takviye açılarının arttırılması hasar yüklerinde ve uzama miktarlarında değişikliklere yol açtığı gözlemlenmektedir. Hasar yükleri doğrusal artmıştır ve numuneler ani kırılma ile kopmuştur.

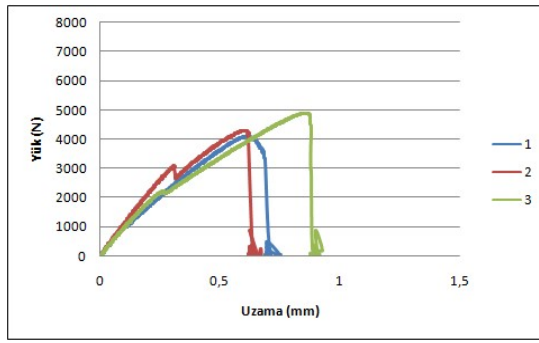
Şekil 4.32’de 18 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama fiber takviye açısı değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



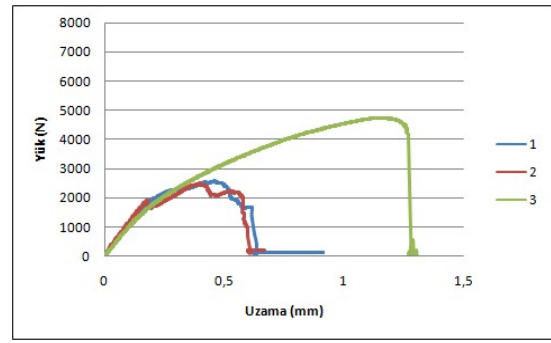
Şekil 4. 32. 18 ay boyunca suda bekletilmiş çift yüzü yamalı $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri

Her dört parametrenin grafik eğrileri benzerlik göstermektedir. Hasar yükleri doğrusal artmış olup ani kırılma gerçekleşmiştir. Yama fiber takviye açılarının arttırılması uzama miktarlarında değişikliğe sebep olmuştur. Tek yüzü yama yapılmış numuneler ile karşılaştırıldığında hasar yüklerinin önemli ölçüde arttığı görülebilmektedir. $[15^\circ]_8$ 'de 2 numaralı numune, test cihazı çenelerinin iyi kavrayamamasından dolayı normalden daha fazla uzama göstermiştir.

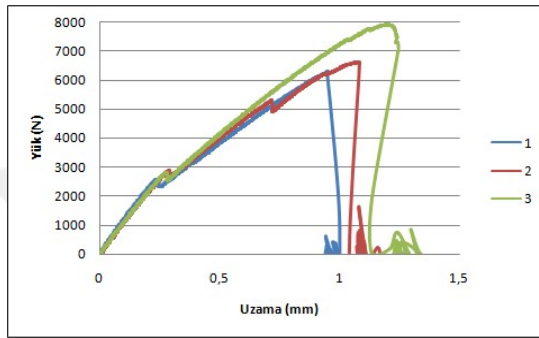
Şekil 4.33'de 18 ay boyunca deniz suyu bekletilmiş ve tek yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Lap 20 mm



Lap 30 mm

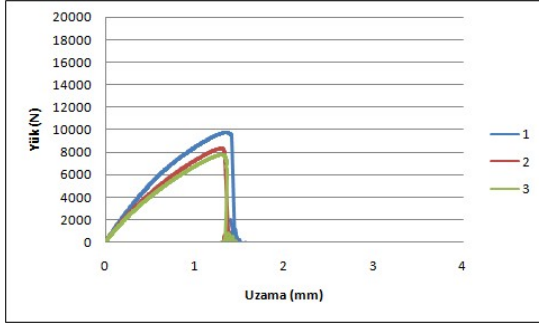


Lap 40 mm

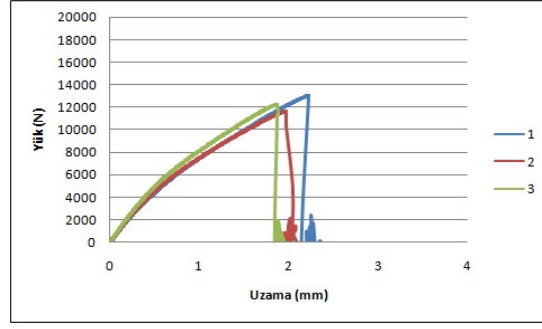
Şekil 4. 33. 18 ay suda bekletilmiş halde tek yüzü yamalı Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

Lap 20mm de Hasar 5000 N'a kadar çıkmışken bu durum Lap 40 mm'de 8000 N civarındadır. Yama uzunluğunun artırılması hasar yüklerinde değişikliklere neden olmuştur, yama uzunluğunun artması aynı zamanda uzamayı arttırmıştır.

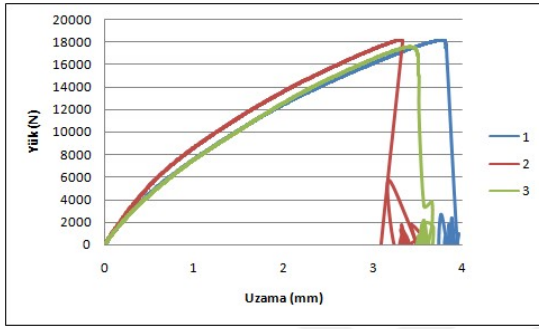
Şekil 4.34'de 18 ay boyunca deniz suyunda bekletilmiş ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin yama uzunluk değişimine göre yük-uzama grafikleri aşağıda sunulmuştur.



Lap 20 mm



Lap 30 mm



Lap 40 mm

Şekil 4. 34. 18 ay suda bekletilmiş halde çift yüzü yamalı Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhalar için elde edilen yük-uzama grafikleri

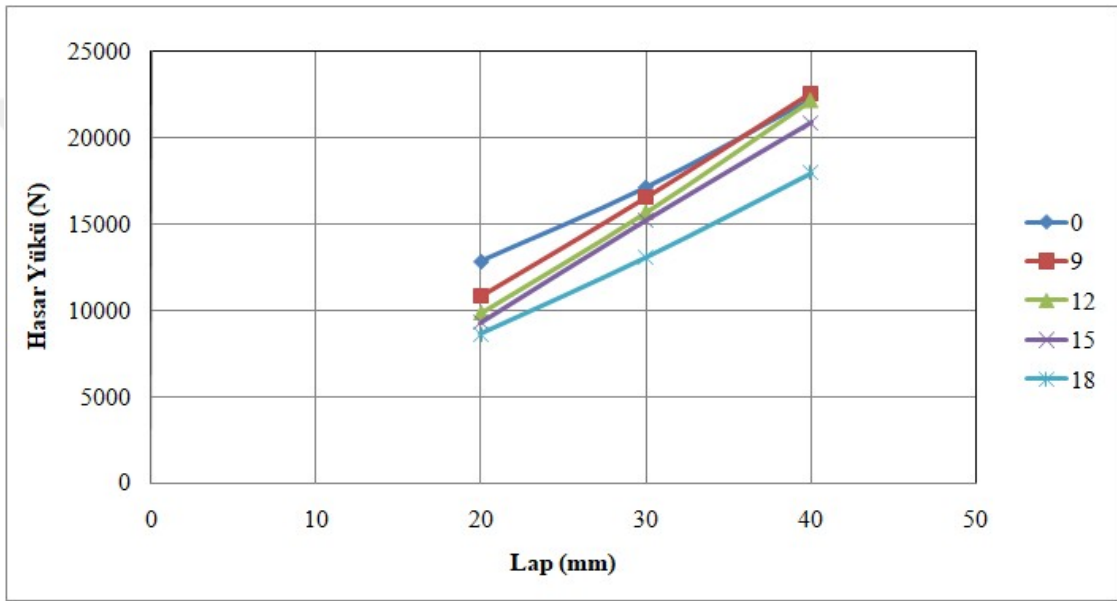
Her üç parametrede grafik eğrileri benzerlik göstermektedir. Yama uzunluğunun arttırılması hasar ve uzamayı önemli ölçüde arttırmıştır. Lap 20 mm’de 10000 N olan maksimum hasar Lap 30 mm de 14000 N’a yaklaşırken Lap 40 mm’de 18000 N’a çıkmıştır. Tek yüzü yama yapılmış numuneler ile karşılaştırıldığında hasar iki katından daha fazla artmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Deneysel Çalışma Sonuçlarının Tablo ve Grafikler ile Açıklanması

Bu bölümde kompozit malzemelerin deniz suyu bekletilme sürelerinin, yama uzunluğu değişimlerinin ve yama fiber takviye açısı değişiminin, yapıştırıcı bağlantı performansına etkileri grafik ve tablolar halinde sunulacaktır.

5.1.1. Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluğuna Göre Değişim Sonuçları



Şekil 5.1. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların hasar yükü

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi yama uzunluklarının arttırılması ile hasar yüklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kuru halde (0 Ay) lap 20 mm’de hasar 12800 N iken bindirme uzunluğu lap 30 mm’ye çıkarılınca hasar 17000 N’a yükselmiştir, yine aynı şartlarda yama uzunluğu 40 mm yapıldığında hasar 20200 N değerine ulaşmıştır. En yüksek hasarın kuru halde Lap 40 mm yama uzunluğunda olduğu, en düşük değer ise 8600 N ile 18 ay boyunca suda bekletilmiş Lap 20 mm’de olduğu görülmüştür. Yapıştırma yüzey alanının arttırılması maksimum hasarı arttırmıştır.

Yama uzunluklarına bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

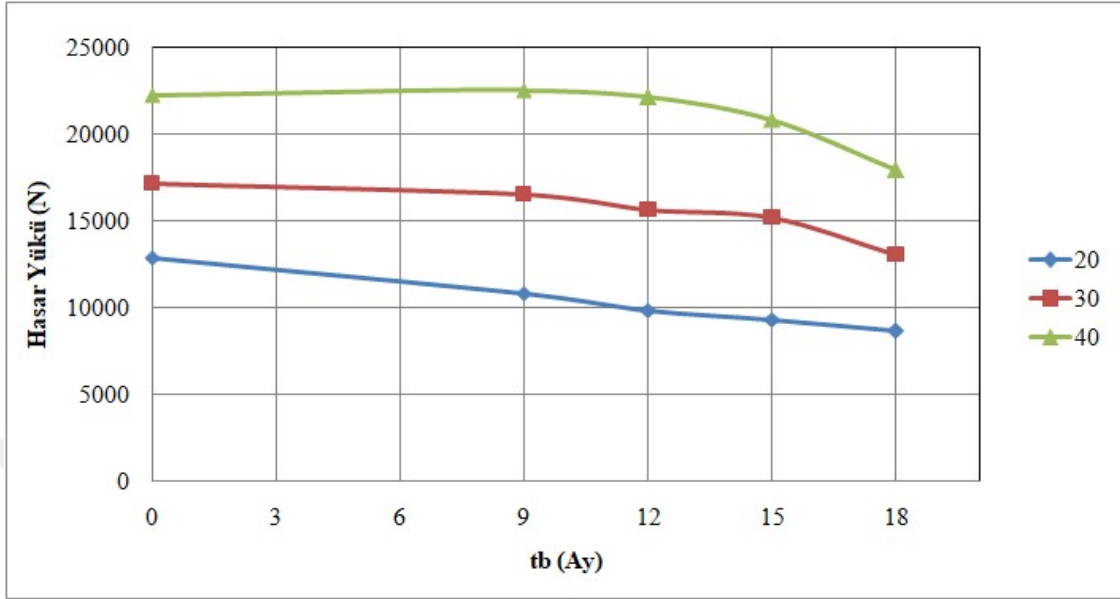
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizelge 5.1. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30m ve Lap 40mm levhaların yüzdelik hasar çizelgesi

Deniz suyunda bekleme süreleri	Karşılaştırma	Lap 30mm	Lap 40mm
Kuru haldeki Numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%33.37 artmıştır	%73.22 artmıştır
9 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%52.89 artmıştır	%108.8 artmıştır
12 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%59.19 artmıştır	%125 artmıştır
15 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%63.50 artmıştır	%124.2 artmıştır
18 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%51.39 artmıştır	%108 artmıştır

Çizelgeye göre yama uzunluklarının arttırılması hasar yüklerini önemli ölçüde arttırmıştır. 12 ay suda bekletilmiş numunelerde lap uzunluğu 20 mm den 40 mm ye çıkarıldığında, hasar %125 artmıştır bu da ortaya çıkan en büyük hasar artışıdır. En küçük hasar artışı ise %33.37 oranı ile kuru halde lap 20 mm den 30 mm ye çıkarılırken yaşanmıştır. Yama uzunluklarının değişimi her grupta kendi aralarında kıyaslandığında yapıştırma yüzey alanının artmasına bağlı olarak hasar artışı gerçekleşmiştir.

5.1.2. Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları



Şekil 5. 2. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği

Şekil 5.2. incelendiğinde deniz suyunda bekleme süresinin artmasına bağlı olarak genel bir hasar düşüşü görülmektedir. Kuru halde hasar yükü 12800 N olan lap 20mm numunesinin 9 ay suda bekletilmesi ile hasarı 10800 N'a düştüğü, 18 ay boyunca deniz suyunda bekletilmesi ile hasarın 8600 N'a indiği görülmüştür. Lap 30mm numuneleri ise kuru halde hasar yükü 17100 N iken 9 ay suda bekletilmesi ile hasarı 16500 N'a inmiştir bu numunelerin deniz suyunda 18 ay bekletilmesi ile hasarı 13000N olarak ölçülmüştür. Lap 40mm numunelerin kuru haldeki hasarı 22500 N civarında iken 9 ay deniz suyunda bekletildiğinde hasar 22300 N'a 18 ay bekletilmesi ile de 17900 N'a düştüğü görülmüştür. Numunelerin deniz suyunda bekletilmesi ile hasarlarının önemli ölçüde azaldığı, deniz suyunun, numunelerin mukavemetine doğrudan etki ettiği söylenilebilmektedir.

Çift yüzü yama yapılmış ve yama uzunlukları değiştirilmiş numunelerin deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

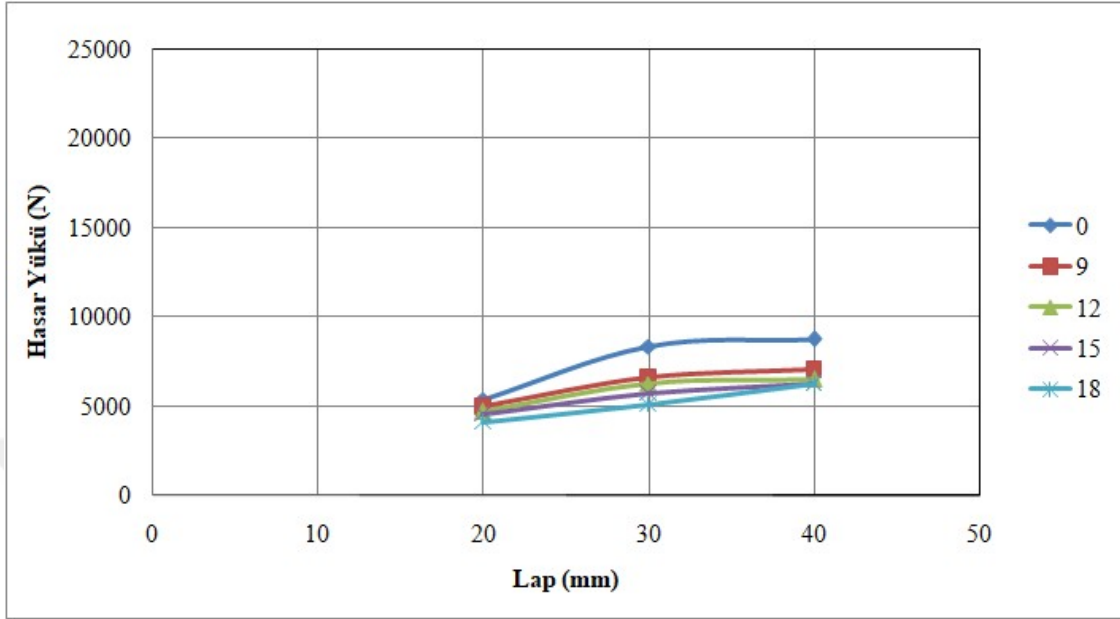
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizelge 5. 2. Çift yüzü yama yapılmış Lap 20mm, Lap 30mm ve Lap 40mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi

Yama uzunlukları	Karşılaştırma	9 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	12 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	15 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	18 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler
Lap 20 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%15.97 azalmıştır	%23.44 azalmıştır	%27.63 azalmıştır	%32.9 azalmıştır
Lap 30 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%3.67 azalmıştır	%8.62 azalmıştır	%11.28 azalmıştır	%23.84 azalmıştır
Lap 40 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%1.3 azalmıştır	%1.84 azalmıştır	%7.53 azalmıştır	%20.47 azalmıştır

Çizelge incelendiğinde en büyük hasar düşünün %32.9'luk oranla lap 20mm numunesinin 18 ay boyunca suda bekletilmesi ile yaşanmıştır. En küçük hasar düşüşü ise lap 40mm numunesinin 9 ay süre ile suda bekletilmesi ile gerçekleşen %1.3'lük değerdir. Numunelerin deniz suyunda bekletilme sürelerinin arttırılması ile hasarlarında ciddi düşüşler yaşanmıştır. Lap 20mm numunelerindeki hasar düşüşü lap 30mm ve lap 40mm'lik numunelerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Deniz suyunda bekletilme olayından en fazla lap 20mm'lik numuneler etkilenmiştir.

5.1.3. Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluğuna Göre Değişim Sonuçları



Şekil 5.3. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların hasar yükü değer grafiği

Genel olarak yama uzunluklarının arttırılması hasar yükü artışını da beraberinde getirmiştir. Kuru halde lap 20 mmlik numunenin hasar yükü 5400 N iken yama uzunluğu 30 mm ye çıkarıldığında hasar 8400 N'a çıkmıştır, yama uzunluğu 40 mm'ye çıkarıldığında ise hasar 8700 N olarak ölçülmüştür. En yüksek hasar kuru halde lap 40mm'lik numunede 8700 N olarak ölçülmüştür. En düşük hasar ise 18 ay suda bekletilmiş lap 20 mm'lik numunede 4100 N'dur. Şekil 5.3 ile şekil 5.1 karşılaştırıldığında kuru halde çift yüzü yama yapılmış lap 40mm numunesindeki hasar 20200 N iken kuru halde tek yüzü yama yapılmış lap 40mm numunesinde hasar 8700 N'dur. Bu durum çift yüzü yama yapılmış numunelerin tek yüzlerine göre iki katı hasara dayanabildiğini göstermektedir.

Yama uzunluklarına bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.3'de sunulmuştur.

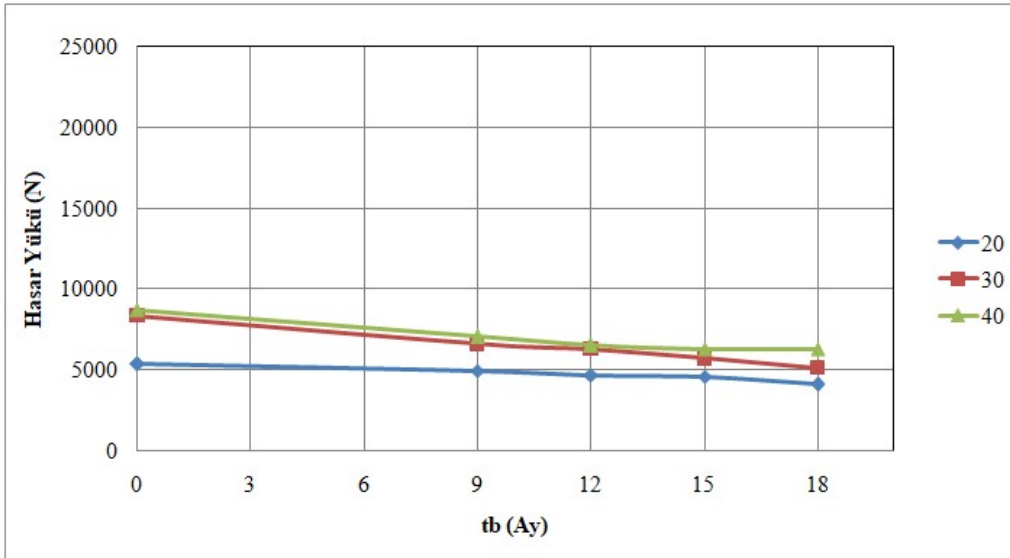
5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çizelge 5.3. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların yüzdelik hasar çizelgesi

Deniz suyunda bekleme süreleri	Karşılaştırma	Lap 30 mm	Lap 40 mm
Kuru haldeki Numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%55.55 artmıştır	%61.11 artmıştır
9 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%32 artmıştır	%40 artmıştır
12 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%36.95 artmıştır	%41.30 artmıştır
15 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%26.66 artmıştır	%40 artmıştır
18 Ay Suda bekletilmiş numuneler	Lap 20 mm'ye göre	%24.39 artmıştır	%51.21 artmıştır

Çizelge incelendiğinde yama uzunluklarının artması hasar yüklerini arttırmıştır. En fazla artış kuru halde lap 20 mm uzunluğunun 40 mm'ye çıkarılması ile gerçekleşen %61.11'lik artıştır. En düşük artış ise 18 ay suda bekletilen, lap 20 mm'den 30 mm'ye çıkarılan numunelerde gerçekleşen %24.39'luk artıştır. Her parametrede yama uzunluğunun yapıştırma yüzey alanını arttırması ile hasar artışı gözlemlenmiştir.

5.1.4. Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Uzunluklarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları



Şekil 5.4. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği

Şekil 5.4 incelendiğinde deniz suyunda bekleme süresinin arttırılması ile numune hasarlarında düşüşler görülmektedir. Lap 30 mm Numunesinin kuru haldeki hasarı 8400 N iken numunenin 9 ay suda bekletilmesi ile hasar 6600 N'a inmiştir, bu süre 12 aya çıkarıldığında ise hasar 6300 N'a, 15 ayda 5700 N ve 18 ayda ise 5100 N'a kadar düşmüştür. Lap 20 mm numunelerinin kuru haldeki hasarı 5400 N, 9 ay suda bekletilmesi ile 5000 N'a ve 18 ay suda bekletilmesi ile de hasar 4100 N'a inmiştir. Lap 40 mm numunelerinde kuru halde hasar 8700 N, 9 ay boyunca suda bekletilmesi ile 7000 N ve 18 ay süre ile suda bekletilmesi ile 6200 N olarak ölçülmüştür. En büyük hasarın kuru halde 8700 N olarak ölçüldüğü lap 40 mm numunelerde, en küçük hasarın 4100 N ile 18 ay boyunca suda bekletilmiş 20 mm'lik numunelerde olduğu görülmüştür. Bu grafikte de deniz suyunun numunelerin hasarlarını etkilediği gözlemlenmiştir.

Tek yüzü yama yapılmış ve yama uzunlukları değiştirilmiş numunelerin deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.4'de sunulmuştur.

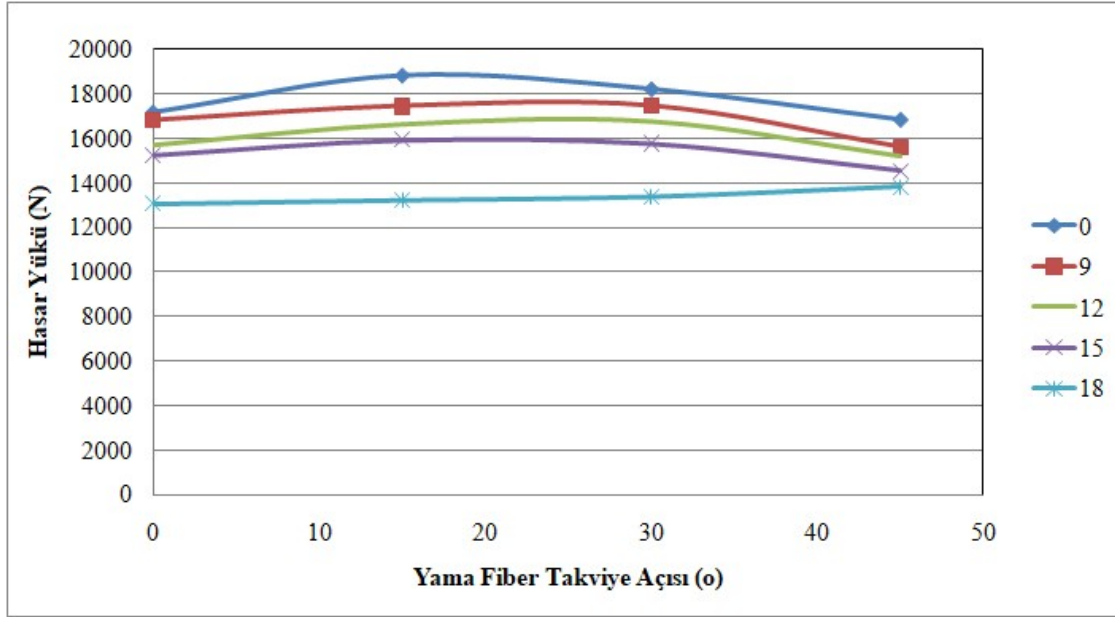
Çizelge 5.4. Tek yüzü yama yapılmış Lap 20 mm, Lap 30 mm ve Lap 40 mm levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi

Yama uzunlukları	Karşılaştırma	9 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	12 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	15 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	18 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler
Lap 20 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%7.40 azalmıştır	%14.81 azalmıştır	%16.66 azalmıştır	%24.07 azalmıştır
Lap 30 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%21.42 azalmıştır	%25 azalmıştır	%32.14 azalmıştır	%39.28 azalmıştır
Lap 40 mm	Kuru haldeki durumlarına göre	%19.54 azalmıştır	%25.28 azalmıştır	%27.58 azalmıştır	%28.73 azalmıştır

Çizelge analiz edildiğinde her parametredeki numunelerin deniz suyunda bekletilmesi maksimum hasarda düşüşlere sebebiyet vermiştir. En büyük hasarın 18 ay süre ile deniz suyunda bekletilmiş lap 40 mm numunelerinde %28.73 oranı ile olduğu en düşük hasarın ise 9 ay deniz suyunda bekletilmiş lap 20 mm numunelerinde %7.40'lık bir oranda gerçekleştiği görülmüştür. Çift yüzünden yama yapılmış

numunelerden deniz suyundan en fazla etkilenen grup lap 30 mm'dir. Lap 30 mm numunelerin 9 ay suda bekletilmesi ile hasar yükü %21.42 düşmüştür, bu süre 18 aya çıkarıldığında hasar %39.28'e kadar düşmüştür.

5.1.5. Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açılarına Göre Değişim Sonuçları



Şekil 5.5. Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların hasar yükü değer grafiği

Yama fiber takviye açıları kendi aralarında incelendiğinde kuru halde $[0^\circ]_8$ de hasar yükü 17200 N, $[15^\circ]_8$ numunelerde 18800 N, $[30^\circ]_8$ 'de 18200N ve $[0^\circ]_8$ 'lik numunelerde 16800 N olarak ölçülmüştür. Yama fiber takviye açılarının değiştirilmesi hasar yüklerinde değişiklikler oluşturmuştur. En büyük hasar, kuru halde $[15^\circ]_8$ numunelerde 18800 N ile gerçekleşmiştir. En düşük hasar ise 18 ay süre ile suda bekletilmiş $[0^\circ]_8$ numunelerde 13000 N ile oluşmuştur. Grafik genel olarak incelendiğinde en büyük hasarların yama açıları $[15^\circ]_8$ olan numunelerde, en düşük hasarın ise yama açısı $[45^\circ]_8$ olan numunelerde gerçekleştiği görülmektedir. Yama fiberlerinde en uygun açının $[15^\circ]_8$ olduğu tespit edilmiştir.

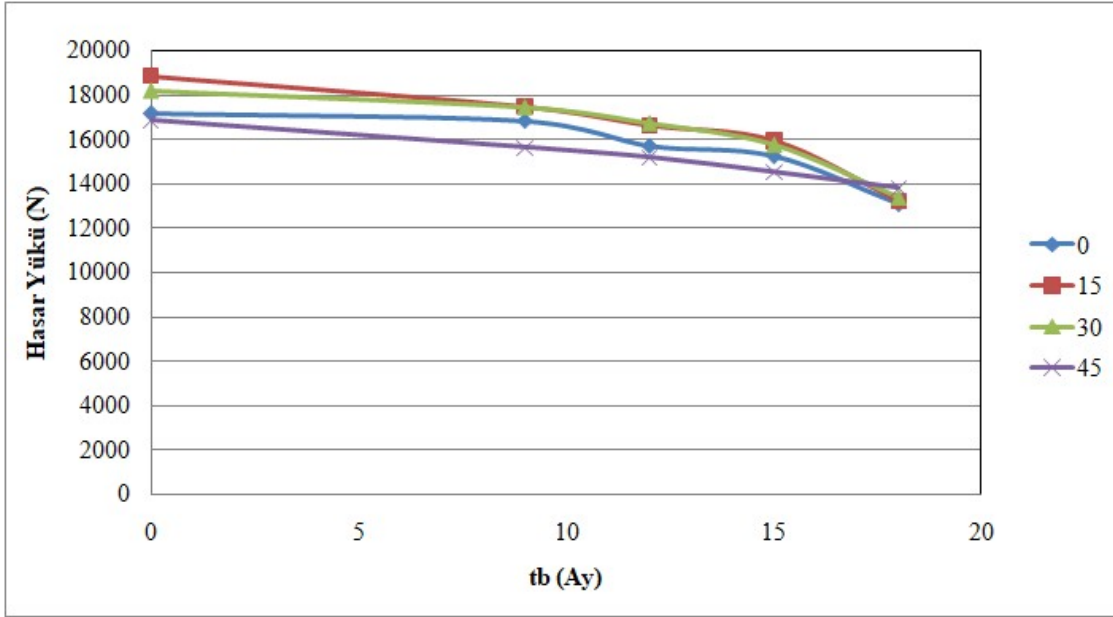
Yama fiber takviye açılarına bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.5'de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların yüzdelik hasar çizelgesi

Deniz suyunda bekleme süreleri	Karşılaştırma	$[15^\circ]_8$	$[30^\circ]_8$	$[45^\circ]_8$
Kuru haldeki Numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%9.55 artmıştır	%6.01 artmıştır	%1.89 azalmıştır
9 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%3.72 artmıştır	%3.79 artmıştır	%7.01 azalmıştır
12 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%5.85 artmıştır	%6.66 artmıştır	%3.17 azalmıştır
15 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%4.57 artmıştır	%3.53 artmıştır	%4.62 azalmıştır
18 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%1.25 artmıştır	%2.37 artmıştır	%5.7 artmıştır

Kuru halde yama fiber takviye açısı $[0^\circ]_8$ 'den $[15^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında hasar 9.55 artmıştır bu aynı zamanda en büyük artıştır, en küçük artış ise 18 ay suda bekletilmiş numunelerde yama fiber takviye açısını $[0^\circ]_8$ 'den $[15^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında %1.25 oranı ile gerçekleşmiştir. Yama açıları $[0^\circ]_8$ 'den $[45^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında hasarlarda genel olarak bir azalma meydana gelmiştir. En düşük azalma oranı kuru halde $[45^\circ]_8$ 'de %1.89 ile gerçekleşirken en yüksek azalma oranı %7.01 ile 9 ay boyunca suda bekletilmiş numunelerde gerçekleşmiştir. Tablo genel olarak incelendiğinde en iyi performansı yama açısı $[15^\circ]_8$ olan numuneler gerçekleştirirken en kötü performansın ise $[45^\circ]_8$ numunelerde olduğu söylenebilir.

5.1.6. Çift Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açılarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları



Şekil 5.6. Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği

Grafik incelendiğinde numunelerin suda bekleme sürelerinin artmasına bağlı hasarlarında düşüş görülmüştür. $[0^\circ]_8$ numunelerde kuru halde hasar 17150 N iken, numuneler 9 ay boyunca suda bekletildiğinde hasarın 16800 N'a düştüğü bu süre 12 ay'a çıkarıldığında hasarın 15600 N'a numunelerin suda bekleme süreleri arttırılıp 15 ay'a çıkarıldığında hasar 15200 N ve 18 ay boyunca suda bekletildiğinde ise hasar 13000 N'a düşmüştür. Deniz suyunun hasarları etkilediği görülen grafikte en büyük hasar kuru halde $[0^\circ]_8$ numunelerde 18800N iken, en düşük hasar ise 18 ay suda bekletilmiş $[0^\circ]_8$ numunelerde 13000 N'dur.

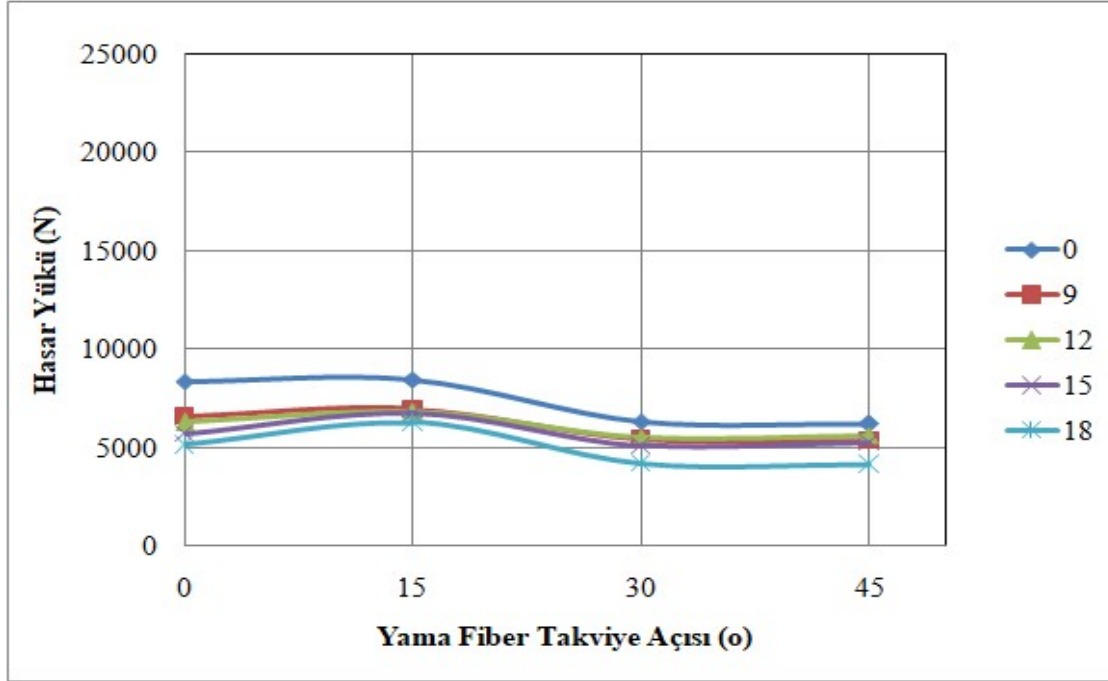
Yama fiber takviye açılarının deniz suyunda bekleme sürelerine bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5. 6. Çift yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi

Yama Fiber Takviye açısı	Karşılaştırma	9 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	12 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	15 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	18 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler
$[0^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%2.03 azalmıştır	%8.62 azalmıştır	%11.28 azalmıştır	%23.84 azalmıştır
$[15^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%7.23 azalmıştır	%11.7 azalmıştır	%15.31 azalmıştır	%29.61 azalmıştır
$[30^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%4.08 azalmıştır	%8.06 azalmıştır	%13.36 azalmıştır	%26.46 azalmıştır
$[45^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%7.14 azalmıştır	%9.81 azalmıştır	%13.75 azalmıştır	%17.95 azalmıştır

Çizelge 5.6’da deniz suyu etkisinin numunelerde hasar düşüşüne neden olduğu görülmektedir. $[0^\circ]_8$ numune kuru haldeki durumu ile karşılaştırıldığında 9 ay suda bekletilmesi ile hasarda %2.03 oranında bir düşüş, suda bekleme süresi 12 ay’a çıkarıldığında hasar %8.62, 15 ay boyunca suda bekletildiğinde %11.28 ve 18 ay suda bekletilmesi ile %23.84’lük bir hasar düşüşü gözlemlenmiştir. Fiber takviye açılarına göre deniz suyundan en fazla etkilenen grup $[15^\circ]_8$ numuneler olduğu gözlemlenmiştir, 9 ay suda bekletilmesi ile kuru haldeki duruma göre %7.23 oranında azalma görülürken bu numuneler 18 ay boyunca suda bekletildiğinde ise hasar %29.61 düşmüştür. Tablo genel olarak incelendiğinde en büyük hasar azalma oranının $[15^\circ]_8$ numunelerin 18 ay suda bekletilmesi ile gerçekleşen %29.61’lik azalma, en düşük azalma oranının ise $[0^\circ]_8$ ’lik numunelerin 9 ay suda bekletilmesi ile meydana gelen %2.03 hasar azalma oranıdır.

5.1.7. Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açılarına Göre Değişim Sonuçları



Şekil 5.7. Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların hasar yükü değer grafiği

Kuru numunelerde $[0^\circ]_8$ 'de hasar 8400 N, yama fiber takviye açısı $[15^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında hasar 8500 N'a yükselmiştir, $[30^\circ]_8$ 'de ise hasar yükü 6300 N ve $[45^\circ]_8$ numunelerinde ise hasar yükü 6200 N olarak ölçülmüştür. Her test grubunun yama fiber takviye açısına göre hasar eğrileri benzerlik göstermiştir, $[15^\circ]_8$ her grupta diğer açılardan daha iyi performans göstermiştir. Grafik genel olarak incelendiğinde ise en yüksek hasar kuru haldeki $[15^\circ]_8$ de 8500 N iken en düşük hasar ise 18 ay boyunca suda bekletilmiş $[45^\circ]_8$ numunelerde 4100 N olarak ölçülmüştür. Şekil 5.7. ve şekil 5.5. karşılaştırıldığında grafik eğrileri benzerlik gösterse de çift yüzü yama yapılmış numuneler tek yüzü yama yapılmış numunelere göre iki kat daha fazla hasar yükü taşımıştır, tek yüzü yapıştırılmış kuru haldeki $[15^\circ]_8$ numune hasarı 8500 N iken çift yüzü yama yapılmış halde hasar 18800 N'dur.

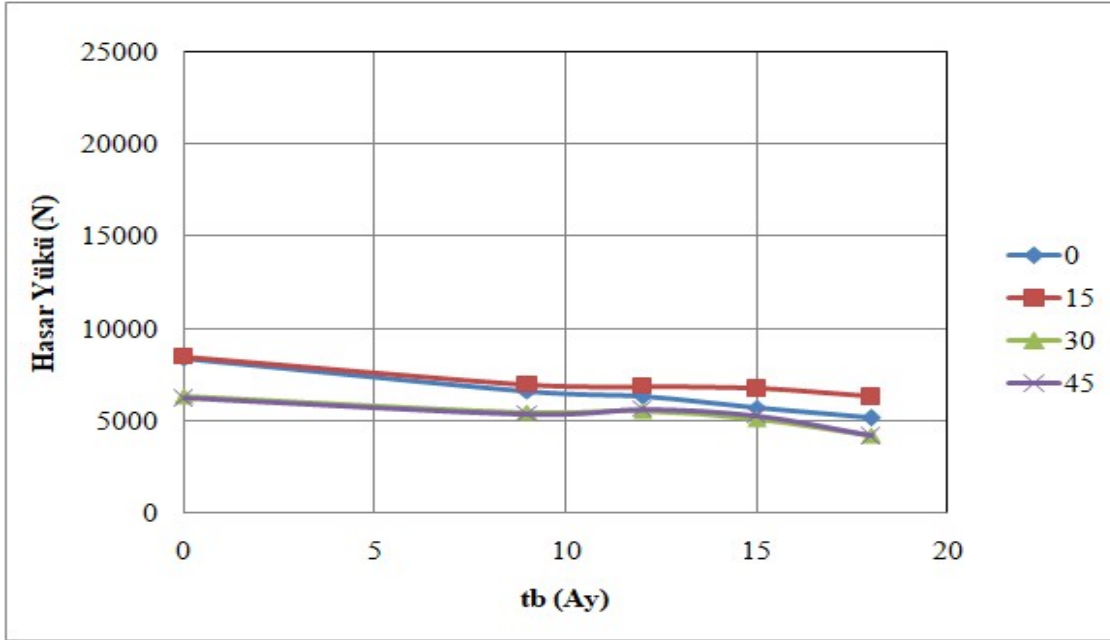
Yama fiber takviye açılarına bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Çizelge 5.7'de sunulmuştur.

Çizelge 5.7. Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların yüzdelik hasar çizelgesi

Deniz suyunda bekleme süreleri	Karşılaştırma	$[15^\circ]_8$	$[30^\circ]_8$	$[45^\circ]_8$
Kuru haldeki Numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%1.18 artmıştır	%24.38 azalmıştır	%25.72 azalmıştır
9 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%5.9 artmıştır	%16.99 azalmıştır	%18.45 azalmıştır
12 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%8.79 artmıştır	%11.94 azalmıştır	%10.79 azalmıştır
15 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%17.9 artmıştır	%10.28 azalmıştır	%8.12 azalmıştır
18 Ay Suda bekletilmiş numuneler	$[0^\circ]_8$ 'ye göre	%22.77 artmıştır	%17.93 azalmıştır	%18.76 azalmıştır

Çizelge incelendiğinde yama fiber takviye açısı $[0^\circ]_8$ 'den $[15^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında tüm durumlarda artış görülmüştür. En fazla artışın 18 ay suda bekletilmiş numunelerde %22.77 oranında olduğu en düşük artışın ise kuru halde %1.18 olduğu görülmektedir. Yama açısı kuru halde $[0^\circ]_8$ 'den $[30^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında hasar yükü %24.38 oranında azalmıştır, $[0^\circ]_8$ 'den $[45^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında ise %25.72 oranında azalma görülmüştür. En büyük hasar düşüşleri takviye açıları $[45^\circ]_8$ 'ye çıkarıldığında gerçekleşmiştir. $[45^\circ]_8$ 'de en yüksek azalma oranı kuru halde %25.72 oranında iken en düşük azalma oranı ise 15 ay suda bekletilmiş numunelerde %8.12 oranında olduğu görülmektedir.

5.1.8. Tek Yüzü Yama Yapılmış Numunelerin Yama Fiber Takviye Açılarının Deniz Suyunda Bekletilme Sürelerine Bağlı Hasar Değişim Sonuçları



Şekil 5.8. Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı hasar yükü değer grafiği

Numunelerin suda bekleme süreleri arttırıldıkça, hasar yüklerinin düştüğü gözlemlenmiştir. $[0^\circ]_8$ numunelerin kuru haldeki hasarı 8400 N iken 9 ay suda bekletildiğinde hasar 6600 N'a düşmüştür. Aynı numunenin deniz suyunda bekleme süresi 12 ay'a çıkarıldığında hasar 6300 N, bekleme süresi 15 ay'a çıkarılırken hasar 5700 ve 18 ay boyunca suda bekletilince hasar 5100 N'a düşmüştür. En büyük hasar kuru halde $[15^\circ]_8$ 'de 8500 N iken en düşük hasar ise 18 ay suda bekletilmiş numunede 4100 N olarak ölçülmüştür.

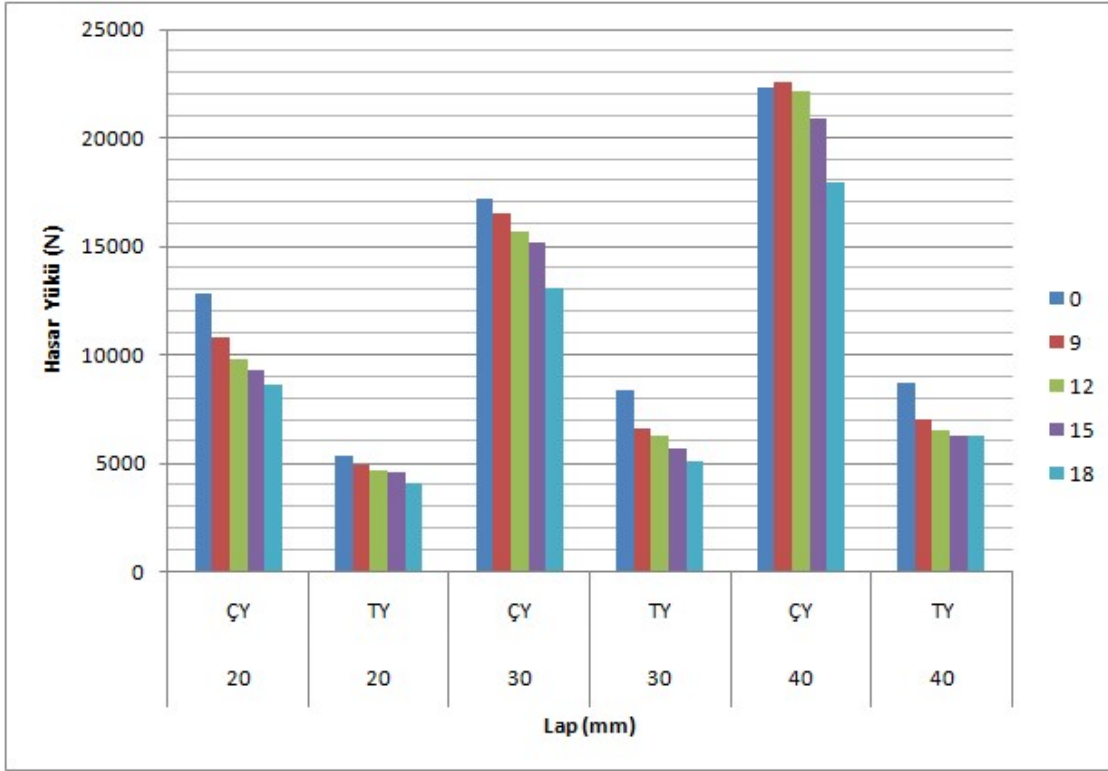
Yama fiber takviye açılarının deniz suyunda bekleme sürelerine bağlı olarak meydana gelen hasar yüklerinin yüzdelik değişimi Tablo 5.8'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. Tek yüzü yama yapılmış $[0^\circ]_8$, $[15^\circ]_8$, $[30^\circ]_8$ ve $[45^\circ]_8$ levhaların deniz suyunda bekletilme sürelerine bağlı yüzdelik hasar çizelgesi

Yama Fiber Takviye açısı	Karşılaştırma	9 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	12 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	15 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler	18 ay deniz suyunda bekletilmiş numuneler
$[0^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%21.23 azalmıştır	%24.75 azalmıştır	%31.75 azalmıştır	%38.72 azalmıştır
$[15^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%17.55 azalmıştır	%19.08 azalmıştır	%20.42 azalmıştır	%25.64 azalmıştır
$[30^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%13.53 azalmıştır	%12.37 azalmıştır	%19.03 azalmıştır	%33.48 azalmıştır
$[45^\circ]_8$	Kuru haldeki durumlarına göre	%13.52 azalmıştır	%9.62 azalmıştır	%15.58 azalmıştır	%32.97 azalmıştır

Çizelge incelendiğinde numunelerin deniz suyunda bekletilme süreleri arttıkça hasar yüklerinin azaldığı görülmektedir. $[0^\circ]_8$ numunesi 9 ay suda bekletildiğinde kuru haldeki durumuna göre hasarı %21.23 azalmıştır. Suda bekleme süresi 12 ay'a çıkarıldığında hasar %24.75 azalmıştır, aynı numune deniz suyunda 15 ay bekletildiğinde hasar %31.75 azalırken bu süre 18 ay'a çıkarıldığında hasar %38.72 azalmaktadır. En büyük hasar düşüşü %38.72 oranı ile 18 ay suda bekletilmiş $[0^\circ]_8$ numunelerde görülürken en küçük hasar düşüşü ise deniz suyunda 9 ay bekletilmiş yama fiber takviye açısı $[45^\circ]_8$ olan numunelerde gerçekleşmiştir.

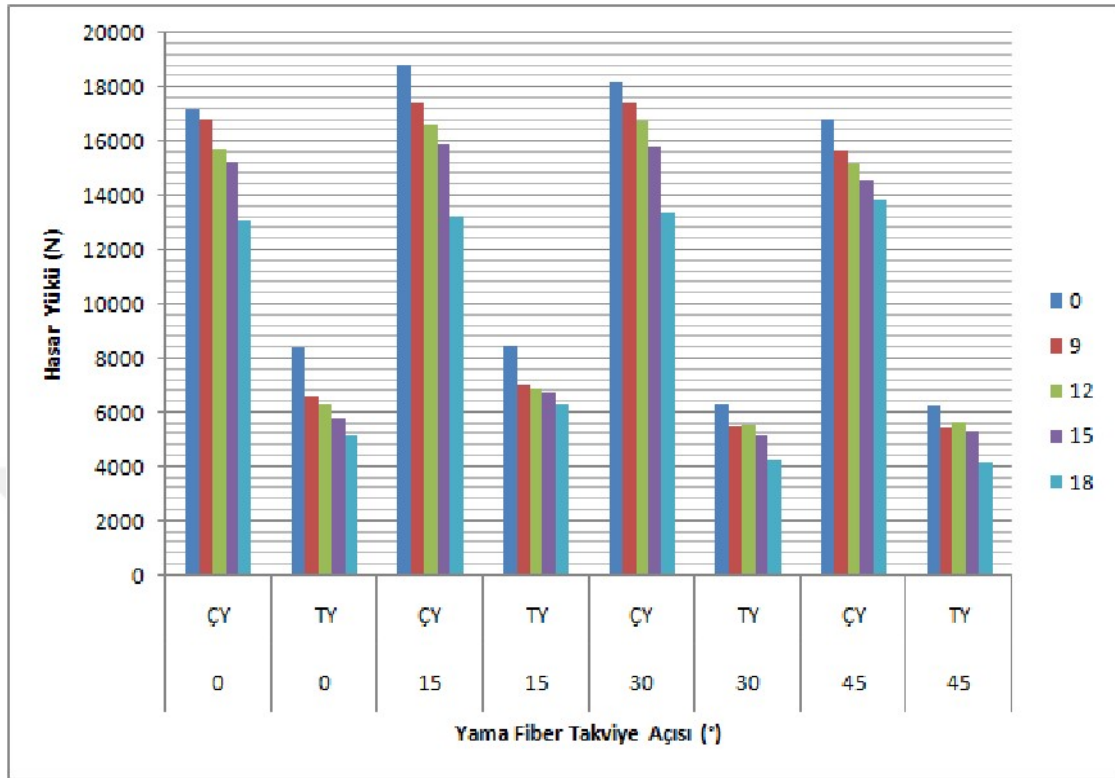
5.1.9. Yama Uzunluğu Değiştirilmiş Numunelerin Tek Tesirli ve Çift Tesirli Durumlarına Bağlı Hasar değişim Sonuçları



Şekil 5.9. Yama uzunluğu değiştirilmiş numunelerin tek tesirli ve çift tesirli durumlarına bağlı hasar değişim sonuçları grafiği

Çift yüzü yama yapılmış numunelerin hasar yüklerinin tek yüzü yama yapılmış numunelere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. En büyük hasar yükü çift yüzü yama yapılmış ve Lap 40 mm uzunluğuna sahip olan numunelerden elde edilirken en düşük hasar yükü ise tek yüzü yama yapılmış Lap 20 mm uzunluğuna sahip numunelerde ortaya çıkmıştır. Yama uzunluğu arttıkça tek yüz ve çift yüzünden yama yapılmış numunelerin hasar yükeleri arasındaki fark artmıştır.

5.1.10. Yama Fiber Takviye Açıları Değiştirilmiş Numunelerin Tek Tesirli ve Çift Tesirli Durumlarına Bağlı Hasar değişim Sonuçları



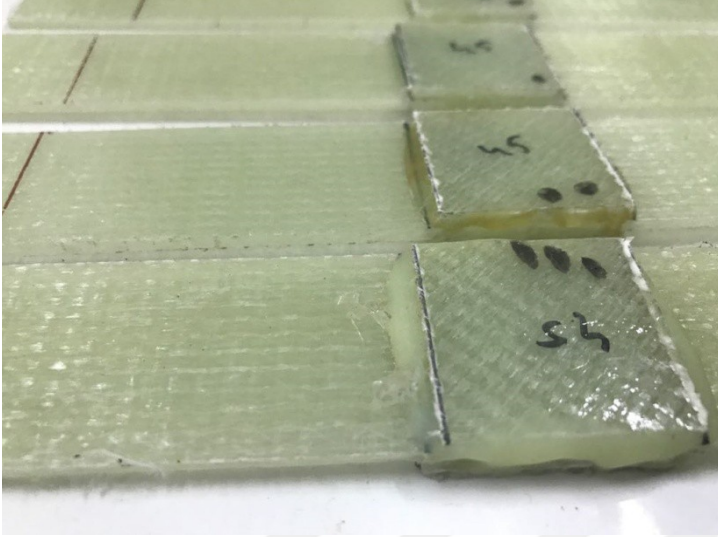
Şekil 5.10. Yama fiber takviye açıları değiştirilmiş numunelerin tek tesirli ve çift tesirli durumlarına bağlı hasar değişim sonuçları grafiği

Yama fiber takviye açılarının değiştirildiği numunelerde çift yüzünden yama yapılmış numunelerin hasar yükleri tek yüzünden yama yapılmış numunelerin hasar yüklerine kıyasla daha iyi performans gösterdikleri gözlemlenmiştir. En yüksek hasar yükü çift yüzünden yama yapılmış 15° yama açısına sahip numunelerde elde edilirken, en düşük hasar yükü ise tek yüzü yama yapılmış 45° yama açısına sahip numunelerde görülmüştür.

5.2. Numunelerde Deneysel Çalışma Sonucu Ortaya Çıkan Hasar Tipleri

Bu kısımda deneysel çalışma sonucu numunelerde görülen hasar tipleri ve olağan dışı durumlar incelenmiştir.

Suda bekletildikten sonra yapıştırıcısında renk değişimi gerçekleşen numune Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. Suda bekledikten sonra yapıştırıcı rengi değişmiş numune

Numunelerde kullanılan yapıştırıcı rengi saydam bir renge sahip iken suda bekletildikten sonra yapıştırıcı koyu sarı-kahverengi bir renge dönüşmüştür.



Şekil 5.10. Kırılmanın numunede gerçekleştiğini gösteren durum

Bazı numunelerde kırılma yama yapıştırıcı veya yama üzerinden olmak yerine kompozit malzemenin üzerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 5.11.Yama fiber açısı yönünde kırılma

Yama fiber takviye açısı $[45^\circ]_8$ olan numunelerde kırılma, genellikle yama açısının yönünde gerçekleşmiştir.



Şekil 5.12.Yapıştırma kırılması

Bazı numuneler yapıştırıcının ayrılması ile kırılmıştır.



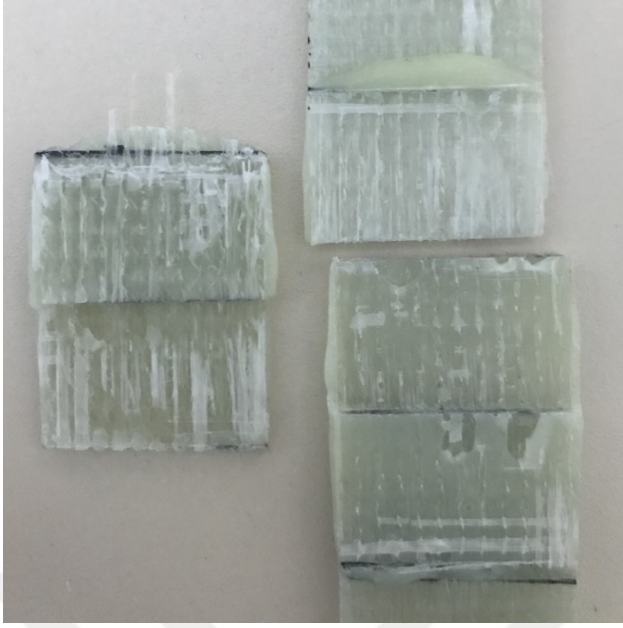
Şekil 5.13. Numune ayrılması

Bazı numunelerde, yamalar numunenin bir yüzünde kalırken numunenin diğer parçası bağlantıdan ayrılmıştır. Bu tip kırılmalar genellikle lap 20mm numunelerde görülmektedir.



Şekil 5.14. Birden fazla bölgede kırılma

Yapıştırıcı yerine yamadan kırılan bu tip numuneler genellikle $[0^\circ]_8$ 'den farklı olan açılı yamaya sahip numunelerdir. Kırılma yamanın farklı bölgelerinden gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15. Soyularak kırılma

Yukarıdaki kırılma tipini gösteren numuneler genellikle lap 40mm yama uzunluğuna sahiptir. Ayrılma yapıştırıcı ile kompozit levha arasında gerçekleşirken yapıştırıcı kompozit malzemeye de hasar vererek kırılmıştır.

5.3. Sonuç ve Değerlendirme

Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının hasar davranışları üzerine deniz suyu etkilerinin araştırıldığı çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Yama uzunluğu değişim sonuçları;

- Yama uzunluklarının artırılması ile yapıştırma yüzeyi arttığından hasar yükü artmıştır.
- Çift yüzü yama yapılmış numunelerde en büyük hasar kuru halde lap 40mm yamalarda 22500 N hasar yükü olarak ölçülmüştür. En düşük hasar yükü ise 18 ay suda bekletilmiş lap 20 mm numunesinde 8600 N olarak ölçülmüştür.
- Tek yüzü yama yapılmış numunelerde ise en büyük hasar yine kuru halde lap 40 mm yamaya sahip 8700N ve en düşük hasar değeri 18 ay suda bekletilmiş lap 20mm numunelerin 4100N olarak elde edilmiştir. Çift ve tek yüz numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında çift yüzü yama yapılmış numunelerin tek yüze göre iki kat daha fazla hasara dayanabildiği elde edilmiştir.
- Yama uzunluğu değişiminde en büyük hasar yük artışı çift yüzlerde lap 20 mm'den lap 40 mm'ye çıkarken %125 oranında gerçekleşmiştir. Tek yüzlerde ise yamalı numunelerde en büyük hasar yük artışı yine kuru halde lap 20 mm'den 40 mm'ye çıkarken %61.11 oranında artmıştır.

Fiber takviye açısı değişim sonuçları;

- Fiber takviye açılarının değiştirilmesi ile numunelerde hasarlar değişiklik göstermiştir.
- Çift yüzü yama yapılmış numunelerde en büyük hasar yük kuru halde $[15^\circ]_8$ numunelerde 18800N olarak ölçülmüştür. En düşük hasar yükü ise 18 ay boyunca suda bekletilmiş $[0^\circ]_8$ numunelerde 13000 N olduğu gözlemlenmiştir.
- Tek yüzü yama yapılmış numunelerde ise en yüksek hasar yükü kuru halde $[15^\circ]_8$ 'de 8500 N, en düşük hasar 18 ay suda bekletilmiş halde $[45^\circ]_8$ numunelerde 4100 N olarak ölçülmüştür. Tek ve çift yüzlü yamalar karşılaştırıldığında çift yüzü yama yapılmış numuneler tek yüzü yama yapılmış numunelere göre iki kat daha fazla hasar yüküne sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Fiber takviye açıları değişiminde $[0^\circ]_8$ ile karşılaştırıldığında en büyük hasar artışı çift yüzölümlü numunelerde kuru halde $[15^\circ]_8$ de %9.55 oranındadır, tek yüzölümlü yama yapılmış numunelerde ise 18 ay suda bekletilmiş numunelerde yine $[15^\circ]_8$ de %22.77 oranında gerçekleşmiştir.
- $[15^\circ]_8$ yama fiber takviye açıları arasında en iyi performansı göstermiştir.
- $[0^\circ]_8$ ile karşılaştırıldığında hasar yükü açısından en kötü performansı $[45^\circ]_8$ yama açısına sahip numuneler göstermiştir.

Deniz suyunda bekleme süresine bağlı değişim sonuçları;

- Bütün numunelerin deniz suyunda bekletilmesi ile hasar yükleri düşmüştür.
- Çift yüzölümlü yama yapılmış ve yama uzunlukları değiştirilmiş numunelerin suda bekletilmesi ile gerçekleşen en büyük hasar yük düşüşü 18 ay boyunca suda bekletilen lap 20 mm numunelerde %32.9 oranında gerçekleşmiştir.
- Tek yüzölümlü yama yapılmış ve yama uzunlukları değiştirilmiş numunelerin suda bekletilmesi ile gerçekleşen en büyük hasar yük düşüşü 18 ay boyunca suda bekletilmiş lap 40mm numunelerde %28.73 oranında gerçekleşmiştir.
- Genel olarak deniz suyundan hasar yükü açısından en fazla lap 20 mm numuneleri etkilenmiştir.
- Farklı yama fiber takviye açılı numunelerin, deniz suyunda bekletilmesi ile çift yüzölümlüde en büyük hasar düşüşü 18 ay suda bekletilmiş $[15^\circ]_8$ numunelerde %29.61 oranında gerçekleşirken, tek yüzölümlü yama yapılmış numunelerde en büyük hasar düşüşü %38,72 oranı ile 18 ay boyunca suda bekletilmiş $[0^\circ]_8$ numunelerde görülmüştür.



6. KAYNAKLAR

- Aldaş, K., Palancıoğlu, H., Sen, F. 2009. Thermal stresses in adhesively bonded double lap joints by FEM, *Electronic Journal of Machine Technologies* Vol: 6, No: 4, 2009 (55-64).
- Apalak, M.K., Engin, A. 2004. Elasto-plastic Stress Analysis of an Adhesively Bonded Single Lap Joint , Institute of Natural Sciences and Technology, Erciyes University, Kayseri, Turkey.
- Apalak, Z.G., Apalak, M.K., Genc, M.S. 2006. Progressive Damage Modeling of an Adhesively Bonded Unidirectional Composite Single-lap Joint in Tension at the Mesoscale Level, Department of Mechanical Engineering, Erciyes University Kayseri 38039, Turkey.
- Ascione, F. 2008. Ultimate behaviour of adhesively bonded FRP lap joints, Department of Civil Engineering, University of Rome “Tor Vergata”, Italy.
- Atas, C., Akgün, Y., Dagdelen, O., Icten, B.M., Sarıkanat, M. 2011. An experimental investigation on the low velocity impact response, *Composite Structures* 93 (2011) 1178–1186.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A. 2007. Yapıştırma bağlantılarının dayanımı üzerine kürleşme basıncının etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007.
- Campilho, R.D.S.G., de Moura, M.F.S.F., Domingues, J.J.M.S. 2005. Modelling single and double-lap repairs on composite materials, Departamento de Engenharia Mecaânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. Anto’nio Bernardino, Porto, Portugal.
- Campilho, R.D.S.G., de Moura, M.F.S.F., Pinto, A.M.G., Morais, J.J.L., Domingues, J.J.M.S. 2009. Modelling the tensile fracture behaviour of CFRP scarf repairs, *CITAB/UTAD*, Departamento de Engenharias, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, Portugal.
- Charalambides, M. N., Kinloch, A.J., Matthews, F.L. 1998. Adhesively-bonded repairs to fibre-composite materials II: Finite element modelling.
- Çelik, A. 2015. Yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş çentikli kompozit levhaların hasar davranışlarının araştırılması, Yüksek lisans Lisans Tezi, D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Dell’Anno, G., Lees, R. 2012. Effect to fwater immersion on the interlaminar and flexural performance of lowco st liquid resin infused carbon fabric composites, Cranfield University, *Composites Centre*, Cranfield, Bedfordshire, MK430AL, United Kingdom.
- Doğanay, S., Ulcay, Y. 2007. Farklı oranlarda takviye edilmiş cam lifi polyester kompozitlerin deniz suyu etkisi altında yorulma davranışının incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 12, Sayı 2, 2007.
- Feih, S., Shercliff H.R. 2004. Adhesive and composite failure prediction of single-L joint structures under tensile loading, Engineering Department, Cambridge University, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ, UK.
- Gellert, E.P., Turley, D.M. 1999. Seawater immersion ageing of glass-fibre reinforced polymer laminates for marine applications, DSTO, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Maritime Platforms Division, Melbourne, Victoria 3001, Australia.
- Her, S.-C. 1999. Stress analysis of adhesively-bonded lap joints, Department of Mechanical Engineering, Yuan-Ze University, 135 Yuan-Tung Road, Chung-Li, Tao-Shian 320, Taiwan, ROC.
- Hu, F.Z., Soutis, C. 2000. Strength prediction of patch-repaired CFRP laminates loaded in compression, Imperial College of Science, Technology & Medicine, Prince Consort Road, London SW7 2BY, UK.

- Kaya, M. 2005. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisi, *UTED Aylık Havacılık Dergisi* Aralık 2005, Türkiye.
- Kayacan, R. 1988. Yapıştırma ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 167 s., İstanbul, Türkiye.
- Kootsookos¹, A., Mouritz, A.P. 2003. Sea durability of glass- and carbon- polymer composites, School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, Vic. 3001, Australia.
- Liu, X. ve Wang, G. 2006. Progressive failure analysis of bonded composite repairs, *Composite Structures* 81 (2007) 331–340.
- Loctite European Group. 1998. Loctite Handbook, Erasmusdruck GmbH, Almanya.
- Onat, A. 2015. Kompozit malzemeler ders notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu Metalurji Programı, 104, Sakarya.
- Oudad, W., Bouiadjra, B.B., Belhouari, M., Touzain, S. ve Feaugas, X. 2009. Analysis of the plastic zone size ahead of repaired cracks with bonded composite patch of metallic aircraft structures.
- Örçen, G., Gür, M., Turan, K. 2013. Progressive failure analysis on two parallel pinned joint glass/epoxy composite plates under the effect of seawater, DOI: 10.1177/0021998313510541.
- Rezaeepazhand, J., SAbouri, H. 2010. Shear buckling of perforated metallic plates reinforced with square composite patches, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad Mashhad 91775–1111, Iran.
- Saharudin, M.S., Atif, R., Inam, F. 2017. effect of short-term Water exposure on the mechanical properties of halloysite nanotube-multi Layer graphene reinforced polyester nanocomposites, Institute of Product Design, Universiti Kuala Lumpur, Malaysia.
- Seo, D.-C., Lee, J.-J. 2002. Fatigue crack growth behavior of cracked aluminum plate repaired with composite patch, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea.
- Sheppard, A., Kelly, D., Tong, L. 1997. A damage zone model for the failure analysis of adhesively bonded joints, Department of Aeronautical Engineering, University of Sydney, Sydney, N.S.W., 2006, Australia.
- Sobrinho, L.L., Ferreira, M., Bastian, F.L. 2009. The effects of water absorption on an ester vinyl resin system, Department of Metallurgical and Materials Engineering, F 212, *COPPE/UFRJ*, 21941-972 Rio de Janeiro - RJ, Brazil.
- Solmaz, M.Y. 2008. Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mekanik analiz ve tasarımları, Doktora Tezi, E.Ü., Elazığ, 150.
- Soutis, C., Duan, D-M., Goutas, P. 1999. Compressive behaviour of CFRP laminates repaired with adhesively bonded external patches, Department of Aeronautics, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Prince Consort Road, London SW7 2BY, UK.
- Temiz, V. 2003. Yapıştırma Bağlantıları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 35, İstanbul.
- The marine outdoors. [Çevrimiçi] [Alıntı Tarihi: 25 04 2018.] https://tahe-marine.taheoutdoors.com/tm_en/revail-midi-pe.html.
- Toudeshky, H.H., Mohammadi, B. 2009. Mixed-mode numerical and experimental fatigue crack growth analyses of thick aluminium panels repaired with composite patches, Aerospace Engineering Department, Amirkabir University of Technology, No. 424, Tehran, Iran.

- Turan, K. 2016. Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı etkisi, Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.
- Turan, K. 2018. The sea water effect on the mechanical properties of composite plates. 8th international advanced technologies symposium, elazığ.
- Turan, K., Kaman, M.O. 2010. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi** Cilt 16, Sayı 3, 2010, Sayfa 315-323.
- Turan, K., Kaman, M.O. 2011. Çift tesirli yapışma bağlantısı ile bağlanmış kompozit levhalarda gerilme ve hasar analizi, I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, İzmir.
- Turan, K., Örçen, G. 2016. The effect of reinforced adhesives on the strength of adhesively bonded connections, International Engineering, Science and Education Conference, December 2016. Kaman, M.O., Gündüz, Y., Turan, K. 2011. Kompozit yama ile tamir edilmiş pim delikli levhalarda çatlak problemi, I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu.
- Turan, K., Pekbey, Y. 2015. Progressive failure analysis of reinforced adhesively single-lap joint, **The Journal of Adhesion**, 91:962–977, 2015.
- Zamri, M. H., Akil, H.M., Bakar, A. A., Ishak, Z. A. M., Cheng, L.W. 2011. Effect of water absorption on pultruded jute/glass fiber-reinforced unsaturated polyester hybrid composites, **Journal of Composite Materials** 46(1) 51–61, 10.1177/0021998311410488.
- Zor, M. 2018. Kompozit Malzeme Mekaniği, Dokuz Eylül Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İbrahim NAS

Doğum Yeri : Mardin

E-posta : ibrahimnas0@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

2015- 2018 Yüksek Lisans Dicle Üniversitesi Makina Mühendisliği

Mekanik Ana Bilim Dalı

2017 Erasmus University of Cagliari Mechanical Engineering Faculty / ITALY

2011-2015 Lisans Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği

2013 Erasmus Politechnika University Mechanical Engineering Faculty / POLAND

İŞ TECRÜBESİ

2016 Yüzkor Yüzey Koruma Sistemleri A.Ş. / İstanbul



T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	İbrahim NAS
ÖĞRENCİ NO	15818002
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017/2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Kompozit Malzemelerde Yapışma Bağlantılarının Hasar Davranışları Üzerine Deniz Suyu Etkilerinin Araştırılması

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	85
BENZERLİK ORANI	% 14
RAPORLAMA TARİHİ	29/06/2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 85 sayfalık kısmına ilişkin, 29/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 14 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☐ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

İbrahim NAS

29/06/2018
Doç.Dr. Kadir TURAN
Tez Danışmanı

29/06/2018
Doç.Dr. Vedat ORUÇ
Anabilim Dalı Başkanı