T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPIŞMA BAĞLANTILI KOMPOZİT LEVHALAR ÜZERİNDE ÇEVRESEL ŞARTLARIN ETKİSİ

Engin KOYUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Ocak 2019

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Engin KOYUN tarafından yapılan "Yapışma Bağlantılı Kompozit Levhalar Üzerinde Çevresel Şartların Etkisi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı	
Başkan: Prof.Dr.	Yeliz PEKBEY	
Üye : Dr.Öğr.Üyesi	Gurbet ÖRÇEN (Danışman)	
Üye : Doç.Dr.	Kadir TURAN	

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 03/01/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

03/01/2019

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu yüksek lisans tez çalışmasında yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr Kadir TURAN'a ve gösterdiği anlayışla bana her türlü desteği sağlayan ve beni başarıya yönlendiren saygı değer tez danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN' e sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR……		**I**
İÇİNDEKİLER……		**II**
ÖZET……		**IV**
ABSTRACT……		**VI**
ÇİZELGE LİSTESİ……		**VIII**
ŞEKİL LİSTESİ……		**IX**
KISALTMA VE SİMGELER ……		**XIII**
1.	**GİRİŞ……**	**1**
2	**KAYNAK ÖZETLERİ ……**	**3**
3.	**MATERYAL VE METOT……**	**15**
3.1.	Kompozit Malzeme Tanımı……	15
3.2.	Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları ……..	15
3.2.1	Kompozitlerin Avantajları …….	15
3.2.2.	Kompozitlerin Dezavantajları ……....	16
3.3.	Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları ……..	16
3.4.	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ……..	17
3.4.1	Yapılarındaki Malzemelere Göre ……	17
3.4.2.	Yapı Bileşenlerinin Şekline Göre ……	18
3.5.	Kompozite Kullanılan Temel Bileşenler …….	19
3.5.1.	Matris Malzemeleri ……	19
3.5.2.	Reçineler ……	19
3.5.3.	Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri ……	20
3.6.	Kompozit malzeme üretim yöntemleri …….	21

3.7.	Kompozit Malzemelerde Birleştirme Yöntemleri ……..	21
3.7.1	Yapıştırmalı Birleştirmeler …….	21
3.7.1.1.	Yapışma İşlemi……	21
3.7.1.2.	Yapıştırmayı Etkileyen Faktörler…….	22
3.7.1.3.	Yapıştırma Geometrisi…….	23
3.7.1.4.	Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri……	25
3.7.1.5.	Yapıştırıcı Çeşitleri……..	25
3.8.	Problemin Tanıtılması……..	26
3.8.1.	Deneysel Çalışma Aşamalar…….	29
3.8.1.1	Numunelerin hazırlanması……...	29
4.	**ARAŞTIRMA BULGULARI..... …….**	**35**
4.1.	Tek Tesirli Bindirme Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları ……..	35
4.2.	Tek Tesirli Yamalı ve Çift Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları …….	44
4.2.1.	Tek Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları ……	44
4.2.2.	Çift Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları ……	52
4.3.	Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Levhaların Deney Sonuçlar……	59
4.4.	Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Nem Emilim Oranları ……...	67
4.4.1.	Tek Tesirli ve Çift Tesirli Yamalı Numunelerin ve Levhaların Nem Emilim Oranları ……...…….	67
4.4.2.	Tek Tesirli Bindirme Bağlantılı Numunelerin ve Levhaların Nem Emilim Oranları …….....	73
5.	**SONUÇ VE ÖNERİLER ……..……**	**79**
6.	**KAYNAKLAR** ……..…….	**83**
ÖZGEÇMİŞ …….....		87

ÖZET

YAPIŞMA BAĞLANTILI KOMPOZİT LEVHALAR
ÜZERİNDE ÇEVRESEL ŞARTLARIN ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Engin KOYUN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2019

Bu çalışmada, yapışma bağlantılı kompozit levhalar üzerinde çevresel şartların etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yapışma bağlantılı olarak hazırlanan, tek tesirli bindirme bağlantılı, tek tesirli yamalı bağlantılı, çift tesirli yamalı bağlantılı ve levhalar olmak üzere dört farklı numune geometrisi üzerinde sıcak suyun etkisi incelenmiştir. Çalışmada, her geometride fiber takviye açısı (örgülü) $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olmak üzere iki çeşit cam fiber takviyeli epoksi kompozit levha kullanılmıştır. Tek tesirli bindirme bağlantısında, bindirme uzunluğu her iki oryantasyona sahip kompozit numuneler için 25 mm ve 35 mm olarak belirlenmiştir. Tek ve çift tesirli yamalı bağlantılarda kullanılan yamalar için ise levha ile aynı ve levha ile farklı fiber oryantasyonları kullanılmıştır. Levhaların her iki oryantasyonda genişlikleri 25 mm ve 30 mm olarak ele alınmıştır.

Bütün numuneler 40 ^{0}C, 60 ^{0}C ve 80 ^{0}C sıcaklığa sahip suyun içerisinde 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilmişlerdir. Süre sonunda numunelerin nem emilim oranları tespit edilerek, kendi aralarında karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda süre sonunda çekme testine tabi tutulan numunelerin hasar yükleri de tespit edilerek, karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada; fiber takviye açısı $[0^0]_8$ olan cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinin, fiber takviye açısı $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çekme testi sonucu kuru numunelerden elde edilen maksimum hasar yük değerinin, sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin en fazla nem emilim oranının ve en düşük hasar yük değerlerinin 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde

edildiği tespit edilmiştir. Bu anlamda sıcak suda bekleme süresi ve suyun derecesi arttığı zaman numunelerin emilim oranlarının arttığı ancak maksimum hasar yük değerlerinin sıcaklık derecesine de bağlı olarak düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar kelime: Yapışma bağlantısı, kompozit levha, çevresel şartlar, sıcak su, hasar analizi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON ADHESIVE CONNECTION COMPOSITE PLATES

M.Sc. THESIS

Engin KOYUN

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

2019

In this study, the effect of environmental conditions on bonded composite sheets was investigated experimentally. The effect of hot water was investigated on four different sample geometries, which were prepared in connection with bonding, with single effect overlap connection, single effect patched connection, double effect patched connection and sheets. In the study, two different types of glass fiber reinforced epoxy composite sheets were used in each geometry, including fiber reinforcement angle (woven) $[0^0]_8$ and $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$. For the single-effect thrust joint, the thrust length was determined as 25 mm and 35 mm for the composite samples with both orientations. In the patch orientation used in the single and double acting patched connections, the samples with the same and different orientation with the plate were used in the patch orientation. The plates are considered as 25 mm and 30 mm in both orientations.

All samples were kept in water with a temperature of 40 ^{0}C, 60 ^{0}C and 80 ^{0}C for 15 days, 30 days and 45 days. At the end of the period, the absorption rates of the samples were determined and compared between each other. At the same time, the maximum damage loads of the samples subjected to tensile test were determined and compared.

In the experimental study; damage load values obtained from glass fiber reinforced epoxy composite samples with fiber reinforcement angle $[0^0]_8$ were found to be higher than glass fiber reinforced epoxy composite samples with fiber reinforcement angle $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$. As a result of the tensile test, it was determined that the maximum damage load value obtained from the dry samples was higher than the damage load values obtained from the samples kept in the hot water. It was determined that the highest moisture absorption rate and

the lowest damage load values of the samples were obtained when it was kept in 80 ^{0}C hot water for 45 days. In this sense, it was determined that the absorption rate of the samples increased when the waiting time and degree of hot water increased, but the maximum damage load values decreased depending on the temperature level.

Keyword: Adhesion bond, composite plate, environmental conditions, hot water, damage analysis

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 4.1.	Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin sıcak suda kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen hasar yük değerleri	36
Çizelge 4.2.	Tek tesirli ve çift tesirli yamalı bağlantıların sıcak suda kalma süresine bağlı olarak elde edilen hasar yük değerleri	45
Çizelge 4.3.	Tek tesirli ve çift tesirli yamalı numunelerin ve levhaların sıcak su derecesine ve sıcak suda kalma süresine bağlı olarak olarak nem emilim oranları	68
Çizelge 4.4.	Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin ve levhaların sıcak su derecesine ve sıcak suda kalma süresine bağlı olarak olarak nem emilim oranları	74

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Açılı tabakalı kompozitlerin gösterimi (Sayman, 2007)	19
Şekil 3.2.	Değişik tipte fiber kompozitler (Sayman, 2007)	19
Şekil 3.3.	Elyaf Dokuma Türleri (Sayman, 2007)	20
Şekil 3.4.	Adhezyon ve kohezyon olayları (Özenç, 2007)	22
Şekil 3.5.	Yapıştırma bağlantı geometrileri (Özenç, 2007)	24
Şekil 3.6.	Temel hasar tipleri (Özenç, 2007)	25
Şekil 3.7.	Tek tesirli bindirme uzunluğu (Lap) 25 mm olan yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi	26
Şekil 3.8.	Tek tesirli bindirme uzunluğu (Lap) 35 mm olan yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi	27
Şekil 3.9.	Tek tesirli yamalı yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi	27
Şekil 3.10.	Çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi	28
Şekil 3.11.	175 mm x 30 mm x 2 mm boyutlarındaki kompozit malzemenin geometrisi	28
Şekil 3.12.	180 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarındaki kompozit malzemenin geometrisi	28
Şekil 3.13.	Deney için kullanılan levhaların yüzey zımparalama ve yüzey temizleme işlemi	29
Şekil 3.14.	Kalıplar için kullanılan 3D yazıcı cihazı	30
Şekil 3.15.	3D yazıcı ile üretilmiş kalıplar	30
Şekil 3.16.	Yapıştırma işlemi için kullanılan özel tabanca ve Loctite Hysol-9466 epoksi esaslı yapıştırıcı	31
Şekil 3.17.	Yapıştırıcı sürüldükten sonra numunenin kalıba yerleştirmesi	31
Şekil 3.18.	Yapıştırma işlemi ve kurumaya bekletilen numuneler	32
Şekil 3.19.	Kompozit numunelerin termostatlı sıcak su kazanına yerleştirilmesi	32

Şekil 3.20. Ölçüm işleminin yapıldığı hassas terazi 33

Şekil 3.21. Çekme test cihazı ve deney düzeneği 34

Şekil 4.1. (a,b,c,d) 'de Tek tesirli bindirme bağlantılarına ait her üç numunenin yük-uzama grafiği 35

Şekil 4.2. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği 37

Şekil 4.3. (a,b,c) Tek tesirli bindirme yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği 38

Şekil 4.4. Tek tesirli bindirme (Lap=25mm) bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 40

Şekil 4.5. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği 40

Şekil 4.6. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap=35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği 42

Şekil 4.7. Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 43

Şekil 4.8. (a,b,c) TTY ve ÇTY bağlantılı numunelere ait yük-uzama grafikleri 44

Şekil 4.9. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 46

Şekil 4.10. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha $[0^0]_8$ ve yama $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 47

Şekil 4.11. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 49

Şekil 4.12. Tek tesirli yamalı bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 51

Şekil 4.13. Tek tesirli yamalı bağlantılı yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 51

Şekil 4.14. (a,b,c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 52

Şekil 4.15. (a, b, c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha $[0^0]_8$ ve yama $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 54

Şekil 4.16. (a,b,c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 56

Şekil 4.17. Çift tesirli yamalı bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 58

Şekil 4.18. Çift tesirli yamalı bağlantılı yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 58

Şekil 4.19. Farklı oryantasyona ait levhanın yük-uzama grafiği a) 30 gün 40 ^{0}C b) 15 gün 80 ^{0}C 59

Şekil 4.20. (a,b,c) Levha-25 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 59

Şekil 4.21. (a.b,c) Levha-25 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 61

Şekil 4.22. Levha-25 mm numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 63

Şekil 4.23. Farklı oryantasyona ait levhanın yük-uzama grafiği a) Kuru b) 45 gün 80 ^{0}C 63

Şekil 4.24. (a,b,c) Levha-30 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 64

Şekil 4.25. Levha-30 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği 65

Şekil 4.26. Levha-30 mm numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği 67

Şekil 4.27. TTY levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları (%) 68

Şekil 4.28. TTY levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. 69

Şekil 4.29. TTY levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda sürelerine göre emilim miktarları 70

Şekil 4.30. ÇTY levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları 70

Şekil 4.31. ÇTY levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. 71

Şekil 4.32. ÇTY levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda sürelerine göre emilim miktarları 72

Şekil 4.33. Levha-25 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları 72

Şekil 4.34. Levha-25 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları 73

Şekil 4.35. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. (%) 74

Şekil 4.36. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. 75

Şekil 4.37. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. 76

Şekil 4.38. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. 77

Şekil 4.39. Levha-30 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları 77

Şekil 4.40. Levha-30 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları 78

KISALTMA VE SİMGELER

3D : 3 boyutlu

^{0}C : Sıcaklık

W_0 : Kuru ağırlık (gr)

Ws : Yaş ağırlık (gr)

M_t : Nem oranı (%)

mm : Milimetre

v : Çekme hızı

L : Bağlantı uzunluğu (mm)

Lap : Bindirme uzunluğu (mm)

th : Yapıştırıcı Kalınlığı (mm)

1.GİRİŞ

Günümüzde mühendislik uygulamalarında ve endüstri çalışmalarında yüksek mukavemet, korozyona dayanıklılık, iyi şekillenebilme özelliği ve yorulmaya karsı dayanımından dolayı kompozit malzemelerin, geleneksel malzemelere göre daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

Kompozitler, uzun yıllardır havacılık, uzay, savunma, otomotiv, deniz araçları ve birçok mühendislik alanında kullanılmaktadırlar. Deniz araçları uygulamalarında kullanılan kompozitler nispeten iyi mekanik özellikleri, hafiflik ve fiyatlarından dolayı kanolarda, balık ağlarında, petrol gemilerinde, gemi direklerinde, deniz altı kubbeleri vb. birçok ekipmanlarda kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda sıvı iletim boruları, kıyıdan uzak delme platformlarının gaz işletim ve depolama sistemleri için de kullanılmaktadırlar. Deniz taşıtlarında kullanılan kompozit malzemelerden (uzun süre suya maruz kaldıklarından) daha iyi mukavemet ve mekanik özellikler beklenmektedir. Bu nedenle deniz suyu ile temas halinde bulunan kompozitlerde meydana gelen hasar, bozulma nedenleri ve dayanımları gibi konuların araştırılması deniz araçları uygulamaları açısından önem taşımaktadır (Örçen, 2018).

Uygulama alanlarında kompozitlerin birleştirme yöntemleri de gerilme dağılımı ve hasar yükü açısından önemli konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Kompozit malzemelerin birbirleriyle veya başka malzemelerle birleştirme işlemlerinde pimli, perçinli vb. veya yapıştırma yoluyla bağlantısı yapılmaktadır. Bağlantı elemanı yüke maruz kaldığında, özellikle pimli bağlantı noktalarında oluşan gerilme yığılmaları sebebiyle büyük problemler oluşmaktadır. Bu gerilme yığılmaları da bağlantı elemanına zarar vermektedir. Bu nedenle kompozit bağlantıların birçoğunda yapıştırıcı yardımıyla ile bağlantı biçimi yaygın olarak kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Yapıştırma bağlantısı yoluyla birleştirme düşük maliyeti ve bağlantı parçasına zarar vermemesinden dolayı da sıklıkla kullanılmaktadır.

Kompozit levhaların çeşitli sebeplerle hasar görmeleri uygulama alanlarında karşılaşılan dezavantajlardan biridir. Yapıştırıcı ve yama yardımıyla kompozitlerin tamirat edilmesi işlemiyle, bu kompozitlerin yeniden kullanılması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ancak kompozitlerin ve yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin çevre koşulları etkisi altında değişime uğradığı bilinmektedir. Özellikle sıcaklık ve nem,

kompozit ve yapışma bağlantılarının mukavemetini etkileyen önemli çevresel etkenlerdendir. Bu nedenle yapıştırma bağlantıları üzerine çevresel şartların araştırılması önemlidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kompozit malzemelerle ilgili birçok araştırmacılar tarafından deneysel, analitik ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Kompozit malzemelerin birleştirme tekniklerine göre ve çevresel şartların etkisi, birçok çalışmada araştırılmıştır. Hasarlı kompozitlerin tamiri, yapıştırıcı ve yama yardımı ile gerçekleşmektedir. Yapıştırma ile yapılan birleştirme yöntemi olarak çift ve tek tesirli bindirme, tek ve çift tesirli yamalı birleştirme, pimli birleştirme ve diğer birleştirme çalışmaları devam etmektedir.

Yapılan literatür taramasında çift tesirli bağlantılar ile ilgili;

Ayaz ve Temiz (2012), dört noktada eğilme testi uygulanan çift tesirli yamalı yapıştırma bağlantılarının eğilme davranışını ve yapıştırma bağlantısında numune kalınlığının etkisini sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir. Numune kalınlığının, gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Turan ve Kaman (2011), çift tesirli yapışmayla birleştirilmiş kompozit levhalarda hasar ve gerilme analizini sayısal ve deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Analizlerde, kompozit olarak tek yönlü karbon fiber takviyeli epoksi matriks reçine kullanmışlar ve yapıştırma bağlantısını epoksi yapıştırıcı ile yapmışlardır. Yapışma bağlantısının mukavemeti üzerine yapıştırıcı kalınlığının, yama uzunluğunun ve levha genişliğinin etkilerini araştırmışlar. Sayısal çalışmayı *ANSYS* programı ile gerçekleştirmişler. Sonuç olarak levha genişliğinin ve yama uzunluğunun artması ile hasar yüklerinin arttığını sayısal analiz sonucunda elde etmişlerdir.

Liu ve ark. (2007), çalışmalarında $[(0/90/\pm45/90/0)_2]_2$ dizilimli ortası delikli kompozit plakaya, T300/QY8911 prepreg dış yama yapıştırmışlar ve çekme testine tabi tutmuşlardır. Aynı zamanda 3-D ilerlemeli hasar modelini geliştirmişlerdir. Maksimum gerilme ve yamalı yapıştırma hasar mekanizması üzerinde farklı tamir parametrelerinin etkisini hem deneysel hem de sayısal olarak araştırmışlar. Deneysel ve sayısal tahmin sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Soutis ve ark. (1997), yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların basma yükü altında mekanik davranışlarını deneysel ve sayısal çalışmalar ile incelemişlerdir. Çift tesirli bağlantı üzerinde kritik bağlantı parametrelerini belirlemek için lineer olmayan gerilme analizi uygulamışlar. Yama uzunluğunu arttırmanın yapı ağırlığını artırdığını ve gerilme yoğunlaşmalarına yol açtığını tespit etmişlerdir. Yama kalınlığının düşürülmesi

ve yerel yapıştırıcı kalınlığı artışıyla hem soyulma hemde kesme gerilmelerinde gerilme yoğunlaşmasının düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Üç boyutlu sonlu eleman analizini, en ideal bağlantı geometrisinde gerilmeleri hesaplamak için kullanılmışlardır. Son hasar yükünü tahmin etmek için yapıştırıcı kesme gerilmesini, hasar kriteri olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, tamir edilmiş hasarlı kompozit levhaların mukavemetinin, sağlam kompozit levhaların mukavemetine % 80 oranında yaklaştığını belirtmişlerdir.

Megueni ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada çeşitli hasarlı kompozit plakaların onarılmasında çift taraflı yamalama ve kademeli yama yöntemlerinin performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Kademeli bağlantının sayısal analizde daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Uygulamada ise daha stabil ve garantili olduğundan simetrik çift taraflı yamalama yöntemini önermişlerdir.

Reza ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada çekme gerilmesi altında çift tesirli bağlantıların mekanik davranışlarını ve viskoelastik yapıştırıcı seviyesinde epoksi yapıştırıcının kesme ve gerilme bağlantılarını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma ANSYS programında sayısal olarak modellenmiştir. 100 N' luk çekme kuvveti için yapıştırıcı seviyesindeki maksimum kesme gerilmesinin 12 günlük sürünme olayının sonunda %38, daha uzun süreler için %79 oranında düştüğünü belirlemişlerdir. 100 N' luk çekme kuvvetini 0'dan başlayarak yavaş yavaş yükseltildiği zaman tepe kesme gerilmesinin arttığı belirtilmiştir. Her iki çekme kuvveti içinde yapıştırıcı kalınlığı 0.01 mm'den 0.1 mm'ye arttırıldığında yapıştırıcının en büyük kesme gerilmesi ve şekil değişiminin azaldığını belirlemişlerdir.

Akderya ve ark.(2016), üç farklı sıcaklıkta termal yaşlanmanın; yapıştırıcı ile birleştirilmiş fiber/epoksi kompozitli tek tesirli bağlantıların gerilme özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Öncelikle, yapışkanla birleştirilen kompozit numuneleri, farklı sıcaklıklarda termal yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Daha sonra, yapışkanla birleştirilen tek kat kompozit bağlantılara, farklı enerji seviyelerine sahip serbest düşmeli darbe testleri uygulanmışlardır. Termal yaşlanmanın ve serbest düşüşün düşme etkilerinin gerilme özelliklerine etkisini belirlemek için gerilme testlerini, -18 °C, 25 °C ve 70 °C' lik üç farklı sıcaklıkta

gerçekleştirmişlerdir. Bulgulara göre, -18 °C sıcaklıkta yaşlanmanın, bağlantıların yük taşıma kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir.

Bouiadjra ve ark. (2007), çalışmalarında alüminyum levhanın tek ve çift tesirli boron epoksi yama ile tamirini sonlu eleman yöntemiyle araştırmışlardır. Çalışmada çatlak ucundaki gerilme yoğunluk faktörünü esas alıp tabaka, yama ve yapıştırıcı özelliklerinin çift tesirli yama bağlantıları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çift tesirli yamanın yapıştırıcı hasarını önleyebilmek ve mukavemeti artırabilmek için uygun özellikte yapıştırıcı ve yama seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Yapıştırıcı kayma modülünün yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak faydalı etkiye sahip olacağını ama çift tesirli yamalarda kullanım avantajını düşüreceğini söylemişlerdir. Yapıştırıcı kalınlığı, levha kalınlığı ve kesme modülü düşüşünün çift tesirli yamalarda avantaj olacağını, düşük yapıştırıcı kalınlığının gerilme transferini artırdığını vurgulamışlardır.

Duong ve ark (2006), yaptıkları çalışmada kompozit yamalı bağlantılarda, yorulma ömrünü sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Alüminyum levhanın üzerine çift taraftan farklı ölçülerde (bal peteği, kare ve dikdörtgen şekillerinde) kompozit yamalı bağlantılar yapmışlardır. Çalışmalarında tek tesirli kompozit yamaların oryantasyonundan dolayı başka bir eğilme oluştuğunu ve bu eğilmenin önlenmesi için çift tesirli kompozit bağlantılar yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Papadopoulaos ve Gdouto (2005), çalışmalarında çift taraflı yama ile baskı ön gerilmesi etkisinde onarılmış, çentikli ve çatlaklı parçaların gerilme şiddeti faktörlerinin değişimini araştırmışlardır. Bu çalışmayı yaparken kostik optik yöntemi kullanmışlardır.

Tek tesirli bağlantılar ile ilgili;

Soykok (2015), çalışmalarında cam elyaf takviyeli epoksi plastiklerin yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantılarını $[0^0/90^0/45^0/\text{-}45^0]_s$ fiber oryantasyonu ile oluşturmuşlar ve hızlandırılmış bir yaşlanma süreci gerçekleştirmişlerdir. Tek taraflı bindirme bağlantılı numunelerin sıcaklık ve suda kalma süresine bağlı olarak statik gerilme özelliklerinde meydana gelen değişimleri, bir ve iki haftalık daldırma süreleri ve üç farklı su sıcaklığı (50 ° C, 70 ° C ve 90 ° C) için araştırmışlardır. Loctite Hysol-9466 epoksi tipi yapıştırıcıyla bağlanan numunelerin, yük-yer değiştirme özellikleri, azami hasar yükleri ve görünür hasar modlarında yaşlandırma sıcaklığı ve daldırma süresinin etkili olduğunu belirtmişlerdir. Hidrotermal maruziyet nedeniyle, maksimum hasar yükleri,

hasar mesafelerine uzaklıklar ve bağlantıların sertliği, daldırma süresi ve sıcaklığına oranla bir miktar azaldığını tespit etmişlerdir. Yaşlanmamış numunelerde ve 50 °C ve 70 °C' de yaşlandırılmış numunelerde ağırlıklı olarak hafif fiber yırtılma hasarları görülürken, 90 °C' de yaşlandırılmış numunelerde, bağlantı boyunca yırtılmalar görüldüğünü belirtmişlerdir.

Rao ve ark.(2009), çalışmalarında tek tesirli yapıştırıcı bağlantılarının, statik analizini sonlu eleman metoduyla üç-boyutlu elastisite teorisiyle çalışmışlardır. Tabaka malzemesi olarak hybrid (frp-çelik) kompozit tabakaları, yapıştırılan levha olarak grafit-epoksi ve yapıştırıcı olarak ise epoksi kullanmışlar. Tabakalar için parametre olarak farklı fiber açılarına sahip levhaları kullanmışlardır. En büyük soyulma gerilmesinin yüksek fiber açılarında elde edildiğini belirtmişler ve hasarı önlemek için düşük açılar önermişlerdir.

Sayman ve ark. (2015), tek eksenli statik çekme yüklemesi altında tek taraflı bindirme bağlantısında hasar analizi yapmışlardır. İlk olarak, bağlantılara farklı sıcaklıklarda farklı enerji seviyelerinde eksenel çekme gerilmesi ile test etmişlerdir. Bu aşamadan sonra; numuneler oda sıcaklığında çekme gerilmesine tutulmuştur. Çalışmalarında, uygulanan yüklemelerin bağlantı mukavemetleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu kanıtlamışlar. Bunun dışında, bazı durumlarda yüksek enerji ve sıcaklık kombinasyonunun, daha eksenel statik testler yapmadan, aniden meydana gelen kırılma etkilerini gösterdiğini belirtmişlerdir.

Turan ve Pekbey (2014), yaptıkları çalışmada tek tesirli takviyeli yapıştırıcılı bağlantıların hasar analizlerini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemişlerdir. Takviyeli yapıştırıcı olarak kompozit parçacıkların karışımı ile epoksi bazlı ticari yapıştırıcı ve takviyesiz yapıştırıcı olarak da (ADH), cam fiber- kompozit parçacık takviyeli epoksi reçine (GFRC) ve karbon fiber-kompozit parçacık takviyeli epoksi reçine (CFRC) olmak üzere 3 çeşit yapıştırıcı kullanmışlardır. Tek tesirli bağlantılar, $[0^0/90^0]_3$ dizilimi tek yönlü cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakalar ve yapıştırıcı ile hazırlamışlardır. Yapıştırıcı kalınlığı 0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm ve 1.6 mm ve bindirme uzunluğunu 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm olarak almışlardır. İlerlemeli hasar analizlerini ANSYS 11.0 sonlu elemanlar programı ile gerçekleştirmişlerdir. Sayısal çalışmalarında, kompozit ve yapıştırıcı hasar yüklerini sırasıyla Hashin hasar

kriteri ve Tresca hasar kriteri ile oluştuğunu incelemişlerdir. Deneysel ve sayısal çalışmalar arasında %2 ile %10 arasında fark oluştuğunu belirtmişlerdir. Tek tesirli takviyeli yapıştırıcı bağlantılardaki hasar yükünün, takviyesiz yapıştırıcılara göre %1.3-%22.8 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Samancı ve Avcı (2007) , çalışmalarında pek çok makine elemanında, özellikle zırhlı askeri araçların gövde malzemesi olarak kullanılan 5086 MG-AL alaşımını, ana madde olarak seçmişlerdir. Deney numuneleri üzerine genişliği 1mm olan freze çakısı ile yüzeyinde eliptik çentikler açılmış. Bir sonraki aşamada yüzey çentiği açılan numunelerin üzerine, eşit kalınlıkta üç farklı kompozit yama yapmışlar. Yama malzemesi olarak, cam, karbon ve kevlar epoksi kompozit kullanmışlar. Yamalı ve yamasız numuneler ile yapılan çekme testi sonucunda, mukavemette en büyük artışın karbon/epoksi ile yapılan yamadan elde edildiği belirtilmiştir.

Vaidyaa ve ark (2005), yaptıkları çalışmada tek katlı yapıştırıcıyla örülmüş birleştirmelerin dengeli ve çapraz darbe yüküne karsı göstermiş oldukları davranışını incelemişlerdir. Bu incelemeyi LS-DYNA 3D sonlu eleman yazılımı ve belirlenen deneylerle gerçekleştirmişlerdir. İncelenen üç farklı yapıştırıcı içerisinde en yüksek kırılma enerjisine sahip olan Magnabond yapıştırıcısında olduğunu belirtmişlerdir.

Toudeshky (2006), yaptığı çalışmada (2024-T3) alüminyum tabakalar ve cam/epoksi kompozit yamalar kullanmıştır. Tek tesirli yama ile tamir edilmiş alüminyum panellerde çatlak ön şeklinin çatlak ilerleyişi üzerine etkilerini incelemiş ve deneysel ve sayısal sonuçlarla çatlak büyümesinin uniform olmadığını ve çatlak ön şeklinin gerilme yoğunluk faktörü ve ilerleme oranı üzerine büyük bir etkisinin olduğu sonucuna vardığını belirtmiştir. Bu çalışmaya ek olarak tabaka ve yama kalınlığının tamir edilmiş panellerin çatlak büyüme ömrüne etkilerini incelemiştir. Çatlak büyüme ömrünü tahmininde kullanılan 2D analiz sonuçlarının deney sonuçlarına uygun olduğu söylenmiştir. Elde edilen çatlak büyüme oranı ve çatlak ön şekli değişik yama kalınlıkları için tartışılmıştır. Metot üretmede 3 boyutlu sonlu eleman analiz sonuçlarını, tek tesirli yama panellerinin çatlak büyüme hesabı için kullanmıştır.

Vijayakumar ve ark. (2005), tek tesirli birleştirme yöntemi ve yapıştırıcı kalitesi değişkenini kullanarak, karbon fiber kompozit tabakalarının birleştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Malzeme olarak 18 katmandan oluşan karbon fiber takviyeli epoksi reçineli levhalar kullanılmış ve sonlu eleman analizini ANSYS programında gerçekleştirilmiştir. Bu değişken yapıştırıcıları farklı miktarlarda poly vinyl alkol katılarak elde edilmiştir. Ultrasonik testler ve x-ray ışınları tekniği uygulanmış X-ray sonuçları ve ultrasonik görüntülerin yapışma kalitesini açıkça gösterdiği tespit edilmiş ve iki işlemin de sonuçlarının birbirinden çok farklı olmadığı ortaya konulmuş ama ses yayılımlarının hasarı tespit etmede daha erken olduğu belirtilmiştir.

Rao ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada polimer fiber takviyeli plastik tabakalarda 3 boyutlu elastisite sonlu eleman yöntemini kullanarak, tek tesirli yapıştırma bağlantılarının termoelastik analizini ortaya koymuşlardır. Normal ve kesme gerilmelerini, yapıştırıcıda ve kompozitin yapışan iç yüzeylerinde hesaplamışlardır. Sonlu eleman analizleri için Ansys programında solid 45 eleman tipini kullanmışlardır. Fiberlerle güçlendirilmiş kompozit tabakalarda tek tesirli bağlantı analizi için üç boyutlu gerilme analizinin uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Apalak ve ark. (2006), tek tesirli yapıştırmalı bağlantıda hasar analizini deneysel ve sayısal metot kullanarak araştırmışlardır. Tek yönlü fiber kompozit levhayla yaptıkları çalışmada, kompozit levha ve yapıştırıcıda meydana gelen hasarları incelemişlerdir. ANSYS sonlu elemanlar programı ile ilerlemeli hasar analizi yöntemini kullanarak yapmışlardır. Sayısal hasar yüklerinin belirlemesinde, kompozite oluşan hasar için Hashin teorisi ve yapıştırıcıda oluşan hasar ise Von Mises hasar teorisine göre belirlemişlerdir.

Aydın ve ark. (2007), çalışmalarında tek tesirli yapıştırma bağlantısının kürleşme basıncı etkisi altında olan bağlantının mukavemetini sayısal ve deneysel metotlarla incelemişlerdir. Drucker Properr akma kriterini hasar yük tespiti için kullanmışlardır.

Tong ve Luo (2009), yapıştırılarak birleştirilmiş tek bindirmeli olarak yapıştırılan kompozit malzemenin sayısal ve analitik olarak çözümlerini yapmışlardır.

Sabelkin ve ark. (2007), kompozit yama ile tek tesirli tamir edilen çatlak içeren alüminyum levhada meydana gelen şekil değiştirme dağılımını, yer değiştirmeyi, kırılma mekaniğini ve artık gerilme faktörlerini araştırmışlardır.

Andersen ve Echtermeyer (2006), çatlak bulunan çelik levhaları farklı bir karbon-epoksi kompozit yama malzemesi ile tamir etmişlerdir. Enerji salıverme oranı yöntemini kullanarak, kırılma mekaniği değerlerini hesaplamışlardır.

Mall ve Schubbe (1999), tek tesirli kompozit yama ile birleştirilmiş çatlak plakalı alüminyumun, yorulma ömrünün hesaplanması için öncülük yaparak, ilk deneysel çalışmaları yapmışlardır.

Panigrahi ve Zhang (2011), tek tesirli kompozit tabakalarda üç boyutlu lineer olmayan sonlu eleman modelini kullanarak adhezyon, kohezyon ve delaminasyon hasarı büyümesini incelemişlerdir. $[0]_8$ grafit/epoksi levhalar ve epoksi yapıştırıcı kullanılmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi olarak ANSYS programında üç boyutlu solid 45 ve solid 46 modelini uygulamışlardır. Yapıştırıcının içinde meydana gelen hasarın yapıştırıcı ile yüzey arasındaki hasardan daha hızlı yayıldığını söylemişlerdir.

Tek ve çift tesirli bağlantılar ile ilgili;

Örçen (2018), yaptığı deneysel çalışmada, örgülü cam fiber takviyeli epoksi kompozitlerin hasar davranışları üzerinde sıcak suyun etkisini araştırılmıştır. Tek ve çift tesirli bindirme bağlantısı yapılmış kompozit numuneleri, oda sıcaklığındaki musluk suyu ile 50 ^{0}C sıcaklıktaki musluk suyunun içerisinde 7 gün ve 21 gün süre ile bekletmiştir. Bekleme süresi sonunda numunelerin nem emilim oranları, maksimum hasar yük değerleri ve hasar tipleri tespit edilerek, kendi içinde karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmada, suda bekleme zamanı ve suyun sıcaklık derecesi arttığı zaman numunelerin nem emilim oranlarının arttığı ancak maksimum hasar yük değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca çift tesirli bindirme bağlantılı numunelerden elde edilen nem emilim miktarlarının ve maksimum hasar yük değerlerinin daha yüksek olduğu deneysel olarak elde edilmiştir.

Bouiadjra ve ark. (2008), tek ve çift taraflı yama ile tamir edilmiş kenar çatlaklı bulunan alüminyum malzemede Mode I ve Mixed Mode şartlarında bor-epoksi yamanın farklı geometri ve mekanik özelliklerinde kırılma mekaniği değişimini araştırmışlardır.

Xiao (2003), yapmış oldukları çalışmada, tek ve çift taraflı birleştirilmiş kompozit malzemelerin mekanik davranışını deneysel olarak incelemiştir. Gerilme testi sırasında, kırılma anını anlamak için yük/deplasman tepkilerini ve akustik emisyonlarını araştırmıştır.

Megueni ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada kompozit malzeme kırıklarının örülmüş kompozit yamalarla onarılması sonrası çatlak ucundaki gerilme şiddeti faktörünü hesaplayan sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar neticesinde tek taraflı yamalama ile çift taraflı yamalama yönteminde gerilme şiddeti faktörünün azaltılması bakımından önemli bir farkın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Campilho ve ark. (2005), karbon fiber kompozit numunelerini, yama ile tek ve çift tesirli tamiratı yapılarak, çekme yükü altındaki gerilme dağılımlarını, artık gerilmelerini, ABAQUS programını kullanarak sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir. Parametre olarak yapışan/yapıştırıcı ve yapıştırıcı/yama, hasar modları için değerlendirmişlerdir. Kohezif karışık-mod hasar modelini sonlu eleman yöntemi olarak seçmişler ve yama kalınlığının, istifleme sırasının ve numune geometrilerinin mekanik davranışı çok fazla etkileyen parametreler olduklarını belirtmişlerdir. Maksimum artık gerilmenin en ideal geometri ile sağlanacağını yaptıkları çalışmada vurgulamışlardır.

Ouinas ve ark. (2005), kenarında yarım daire çentik bulunan zayıf alüminyum levhaların gerilme yoğunluğunu düşürmek için tek ve çift tesirli grafit/epoksi kompozit yamayla tamir ederek çatlak ilerleme davranışlarını araştırmışlardır. Çentik bulunan levhaların performanslarını incelemek için sonlu eleman yöntemini kullanmışlardır. Yapıştırıcı ve yama boyutu çatlak ucundaki gerilme yoğunluk faktörü üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Çentik sayısının artması ve çentik çapının büyümesinin gerilme yoğunluk faktörünü arttırdığını belirtmişlerdir. Tek tesirli yama uygulanmış levhalarda yamasız levhalara oranla gerilme yoğunluk faktörü düşüşü %42 ve çift tesirli yama uygulanmış levhalarda %54 olduğunu söylemişlerdir. Yama tamiri performansını arttırmak için yapıştırıcı özelliklerini en uygun biçimde kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. İdeal yama çapı ve yama kalınlığı seçimiyle, yarım daire yama performansının arttırılabileceğini belirtmişlerdir.

Her (1999), yaptığı çalışmada tek ve çift tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışlarını araştırmıştır. Her iki yapıştırıcı bağlantısını modellemek için basitleştirilmiş tek boyutlu bir yaklaşım geliştirmiş ve iki boyutlu sonlu eleman sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu belirtilmiştir. Kullanılan yaklaşımın basit ama doğru sonuçlar veren bir yaklaşım olduğunu, bundan dolayı bağlantı türünün seçimi için çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Parametre olarak levha kalınlığı, yapıştırıcı kalınlığı ve tipleri gibi değişkenler kullanılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı artışıyla yapışan bölgede kesme gerilmelerinin düştüğünü tespit edildiğini ve levhaların farklı yapıda olması durumunda, yapışan bölgenin yakınında, levha serbest ucunda maksimum kesme gerilmesi meydana geldiğini belirtmiştir.

Taib ve ark. (2006), çalışmalarında tek tesirli ve çift tesirli bağlantı çeşitlerini kullanmışlardır. Numune olarak cam fiber takviyeli vinylester kompozit ve yapıştırıcı olarak epoksi kullanmışlardır. Birleştirilmesiyle oluşturulan tabakaların davranışlarını çekme gerilmesi altında incelemişlerdir. Bağlantı yöntemlerini etkileyen parametreler ise yapıştırıcı kalınlığı, hasar tipleri, nemlilik, uç radus geometrisi ve yapışanların katılığı şeklinde olduğunu belirtmişlerdir.

Belhouari ve ark. (2004), Mode I ve birleşik Mode' da tek ve çift taraflı yama ile tamir edilmiş, farklı açılardan kenar çatlağı olan alüminyum levhanın kırılma mekaniği parametrelerini, yama kalınlığına bağlı olarak değiştiğini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu parametreleri hesaplarken Rose'nin kırılma formülünü kullanmışlardır. Yapılan incelemede; tek taraflı yamaya göre çift taraflı yamanın gerilme şiddeti faktörünün daha az olduğunu belirlemişlerdir.

Bouiadjra ve ark. (2007), cam/elyaf takviyeli kompozit malzeme ile tek ve çift taraflı yama yapılmış, kenar çatlağına sahip olan alüminyum plakanın, yama ve alüminyum kalınlığına bağlı olarak gerilme şiddeti faktörünün değişimini sayısal olarak incelemişlerdir. Araştırmanın sonucunda çatlak ucunda; çift taraflı yamada, tek taraflı yamaya göre gerilme şiddeti faktöründe azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Madani ve ark. (2008), grafit/epoksi kompozit yama ile tek ve çift yönde tamir edilmiş, merkezi çatlaklı alüminyum plakanın farklı kalınlıktaki yama ve yapıştırıcının gerilme şiddeti faktöründeki değişimini sayısal olarak araştırmışlardır. Kompozit yamayı 12 ve 14 katlı olarak kullanmışlardır. İnceleme sonunda, kompozit malzeme ve

yapıştırıcı kalınlığının değiştirilmesiyle, kırılma mekaniği parametreleri ve çatlak ağzı deplasmanlarının önemli ölçüde değiştiğini belirtmişlerdir.

Pimli ve karma tip bağlantılar ile ilgili;

Şen ve Alyanak (2014), karma tip bağlantılı kompozit levhalarda ısıl gerilme analizini yapmışlardır. Bu bağlantıda yapıştırıcı ve paralel iki pim kombinasyonu oluşturmuşlardır. Yapıştırıcı olarak epoksi kullanıldığı varsayımına göre analiz yapmışlardır. Kompozit malzeme olarak çelik fiberlerle takviyeli alüminyum plaka kullanmışlardır. Analiz ve modelleme için ANSYS sonlu elemanlar programını kullanmışlardır. Sıcaklık olarak 5 farklı sıcaklık uygulanmıştır. Karma tip bağlantıya uygulanan sıcaklıklardan dolayı, çelik fiberlerle takviyeli alüminyum plakada ve yapıştırıcının üstünde oluşan ısıl gerilme ve bu ısıl gerilmenin dağılımını belirlemişlerdir. Isıl gerilmesi en düşük olan değerin 60 °C sıcaklıkta, en yüksek ısıl gerilme değerinin ise 100 °C'de elde edildiğini belirtmişlerdir.

Örçen ve ark. (2014), iki paralel pimle bağlantılı dokuma cam elyaf takviyeli epoksi reçine kompozit plakaların, deniz suyunun etkisi altında hasar davranışlarını incelemişlerdir. Deniz suyundaki bağlantı geometrisinin ve daldırma süresinin etkilerini deneysel ve sayısal yöntemlerle analiz etmişlerdir. Deniz suyunun etkilerini gözlemlemek için, numuneleri sıfır, üç ve altı aylık periyotlarda deniz suyunda tutmuşlardır. Hasar davranışı üzerindeki bağlantı geometrisi etkisinin gözlemlenmesi için, kenar mesafesinden üst delik çapına (E / D), iki delikten deliğe merkez çapına (K / D), üst veya numunenin alt kenarı delikten delik çapının merkezine (M / D), ve genişlik-delik çapı (W / D) oranları olarak, geometrik parametreler seçmişlerdir. Hasar analizinin kullanıldığı sayısal yöntem, ANSYS 11.0 program aracılığıyla sonlu elemanlar yöntemi uygulamışlardır. Sayısal analizlerdeki hata yüklerini ve hasar tiplerini tahmin etmek için, Tsai-Wu hasar kriterini malzeme bozulma kuralları ile birlikte kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda, deniz suyundaki dalma zamanının artmasının, daha zayıf mekanik özelliklere ve numunelerin hasar yüklerinin azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ilerlemeli hasar analizinin sonuçlarının deney sonuçları ile tutarlı olduğu belirtmişlerdir.

Chen (2001), yapmış olduğu deneysel çalışmada, cıvata ile birleştirilmiş kompozit malzemenin performansı üzerine çevre şartlarının etkilerini incelemiştir.

Bunun için hidrotermal çevrime tabi tutulan numunelerin yorulma testlerinde oluşan delik hasar uzaması, hidrotermal çevrime maruz kalmayan numunenin yorulma testlerinde meydana gelen delik hasar uzamasından daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Bunun üzerine hidrotermal çevrim etkisine maruz kalan numunelerin nem ağırlık artışlarını belirlemiş ve bu sonuçları analitik sonuçlar ile kıyaslamıştır.

Kweon ve ark. (2006), çift bindirmeli kompozit/alüminyum birleştirmelerinin cıvatalı birleştirme, yapıştırıcı ile birleştirme ve yapıştıcı/cıvatalı birleştirme olmak üzere üç ayrı tip için hasar yüklerini belirlemişlerdir. Kompozit ve Alüminyumun birleştirilmesinde EA9394S macun yapıştırıcı ve FM73 film kullanmışlardır. Macun ile yapıştırılan numunenin, cıvata ile bağlanan numuneden daha sağlam olduğunu tespit etmişlerdir. Karma tip bağlamanın, bağlantının mukavemetini artırdığını gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Kompozit Malzeme Tanımı

Kompozitler; birden fazla malzemenin en iyi özelliklerini sadece bir malzemede toplanmasına veya başka bir özellik çıkarmak amacı ile makro seviyede birleştirilme sonucu elde edilen malzemelerdir (Sayman, 2007).

Kullanılacak kompozitlerin, üretilecek olan parçaların tasarımı yapılırken, hangi alanlarda kullanılacağı ve kullanım alanına bağlı olarak spesifik gereksiniminin neler olduğunu bilinmesi gerekmektedir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

3.2.1. Kompozitlerin Avantajları

Kompozitler özgül ağırlıklarının az oluşu, hafif yapıya sahip olmaları avantaj sağlarlar. Bununla birlikte fiber takviyeli kompozitler; korozyona dayanıklılık, ses, elektrik ve ısı yalıtımı sağlamaları da kullanılacak alan ile ilgili önemli bir avantaj sunmaktadır. Kompozit malzemelerin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Yüksek mukavemet; bazı kompozitlerin eğilme ve çekme mukavemetleri, çoğu metal malzemelere göre daha iyidir.
- Kolay şekillendirme; kompozit malzemeler tasarlanan kalıplara göre kompleks, büyük parçalar tek parça halinde yapılabilinir. Bu bize işçilik ve malzemeden kazanç sağlamaktadır.
- Elektriksel iletim özelliği; uygun kompozit malzemelerin seçimiyle, diğer saf metallere göre daha iyi elektriksel iletim avantajı bu özelliği ile sağlanmaktadır.
- Titreşim sönümleme; kompozit malzemelerin bu özelliğinden dolayı, titreşimi şok yutabilme ve sönümleme özellikleri vardır. Bu özellik sayesinde kompozit malzemede oluşan çatlağın büyümesi ve ilerlemesi diğer malzemelere göre daha azdır.
- Kimyasal ve korozyon etkilerine karşı dayanıklılık; bazı kompozitler, havadan, kimyasal ve korozyondan etkilenmezler. Bu özelliklerinden kaynaklı, kimyasal madde tankları, borular, aspiratörler ve deniz araçları yapımında güvenle kullanılmaktadırlar.

- Kalıcı renklendirme;
- Aşınma olaylarına karşı dayanıklı olması,
- Düşük ısı geçirgenliği,
- Kompozit yapısına göre sertliğinin, bazı metallere göre 3 ile 5 kat arası fazla olması,
- Yorulma dayanımı bazı metallere göre daha fazla olması, (Sayman, 2007).

3.2.2. Kompozitlerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajlarının olmasının yanı sıra bu malzemelerin bazı dezavantajları da üretilen parçaya yansımaktadır.

- Ham malzeme ve test yöntemleri pahalıdır.
- Karbon veya metal ile temasında korozyona neden olurlar,
- Yüksek sıcaklıkta bozulabilirler,
- Kompozitlerde birleştirme yöntemlerinde pim, perçin vb. için delik, açılması dayanımı azaltıcı yönde rol oynamaktadır,
- Üretim aşamasında tabakaların arasında hava, kabarcık, gazlar vb. kompozit malzemenin ömrünü azaltıcı yönde rol oynamaktadırlar. (Sayman, 2007)

3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Havacılık sanayisinde, ileri kompozit malzemeler geniş alanlarda kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler, hafiflikleri yanında üstün mekanik özellikleri uçaklar ve helikopter vb. araçlarda sadece iç mekân değil yapısal malzeme olarakta kullanılmaktadırlar.

- Bombardıman uçaklarında gövde de bulanan paneller; epoksi -karbon fiber
- Yolcu uçağı kanat panelleri, uçağın burnu ve flapler; epoksi -karbon fiber
- Uçak EAPS kapağı; karbon elyafı-PEEK

Denizcilik endüstrisinde; yelkenlinin gövdesi için balsa, ctp ve polimer köpük üstüne cam olarak kullanılmaktadır. Yat, basamak, tekne arkası platform için; ctp. yelken direği için; kevlar-epoksi kullanılmaktadır.

Spor araç ve gereçlerde; kompozitlerin kullanıldığı yeni sektörler olarak spor araç ve gereçlerinde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Cam -karbon elyaf takviyeli

kompozitler özellikle hafif olmasından dolayı hareket kabiliyetini ve dayanıklılığını artırdığı için kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler yat, sörf, ve kanolar için önemli olan darbeye karşı dayanım ve malzeme yoğunluğu konusunda üstün özelliklere sahiptirler. Korozyona karşı dayanımı, şok yutabilme ve mukavemet gibi üstün özellik kazandırmaktadır.

Sağlıkta; tekerlekli sandalyelerde karbon ve cam elyaf takviyeli polyesterler, tıbbi cihazların dış muhafazalarında; CTP kulanılmaktadır.

Otomotiv sektöründe; otomobil firmaları müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için çevresel şartların baskısı altında hafif otomobil üretmektedirler. Hafiflikten kaynaklı çabucak hızlanan ve durabilen küçük boyutlu bir motora ve az yakıta ihtiyaç duyan araç anlamına gelmektedir. Örnek olarak cam silecekleri, filtre kutuları, pedallar, dikiz aynaları vb. (Sayman, 2007).

Müzik aletlerinde: gitar; karbon lamine tabakalar arası polimer köpük, keman; karbon fiber/epoksi ve akustik gitar; grafit/epoksi kullanılmaktadır.

Yapı sektöründe; Köprü tabanları, tırabzan, taşıyıcı konstrüksiyonlar, yürüme yolları, balkon korkulukları, kapı, yer karoları, havuz, kapı saçakları, lavabo kullanılmaktadır. (Sayman, 2007).

3.4. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerini iki şekilde sınıflandırabiliriz; yapılarındaki malzemelere göre ve yapı bileşenlerinin şekline göre ayırabiliriz (Sayman 2007).

3.4.1. Yapılarındaki Malzemelere Göre

Plastik-plastik kompozit malzemeler; plastikler fiber olarak kullanıldığında, yük taşıyıcı özelliğe sahip olarak karşımıza çıkarken, matris olarak kullanıldığında, esneklik, darbe emici ya da istenile amaca göre kullanılabilen plastik olabilir.

Plastik-metal fiber kompozitler; sanayide kullanılan fiber malzemesi metalden oluşan kompozitler mukavemetli ve hafif bir özelliğe sahiptir. Bu kompozit malzemeler, metal fiber olarak çelik, bronz, bakır, alüminyum vb. ve matrisini ise polipropilen ve polietilen plastikler oluşturmaktadır.

Plastik-cam elyaf kompozit malzemeler; fiziksel özelliklerinden kaynaklı cam lifler belli durumlara göre metal, sentetik elyaf, asbest ve pamuk ipliğine nazaran tercih edilebilirler. Ama cam elyaf lifli kompozitler, büyük kuvvetleri iletmede iyi olmasına rağmen camın kırılgan özelliğinden dolayı direnci azdır. Termoset plastiklerde, cam fiberlerin düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilir.

Plastik-köpük kompozitler; bu kompozit türünde köpük, matris olarak kullanılmakta, plastik ise fiber olarak görev yapmaktadır.

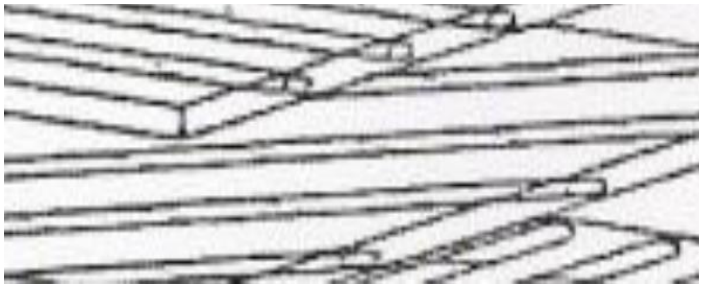
Metal matrisli kompozit malzemeler; birçok metal alaşımların, bazı özelliklerini sağlamasına rağmen yüksek sıcaklıkta kırılgan yapıdadırlar. Ama metalik fiberle takviyeli metal matrisli kompozitler, her iki bileşenin uyumlu çalışması ile çok yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet özellikleri verebilirler. Alüminyum/bakır matrisli, Molibden ve wolfram fiber yapılı en iyi kompozit örneklerdendir.

Seramik kompozitler; bileşim malzemesi olarak metal ya da metal olmayan malzemelerden oluşan bu kompozitler, çok yüksek sıcaklığa dayabildikleri gibi, gevrek ve rijit bir yapıya sahiptirler. Çok iyi elektriksel, yalıtkanlık özelliği vardır (Sayman, 2007).

3.4.2. Yapı Bileşenlerinin Şekline Göre

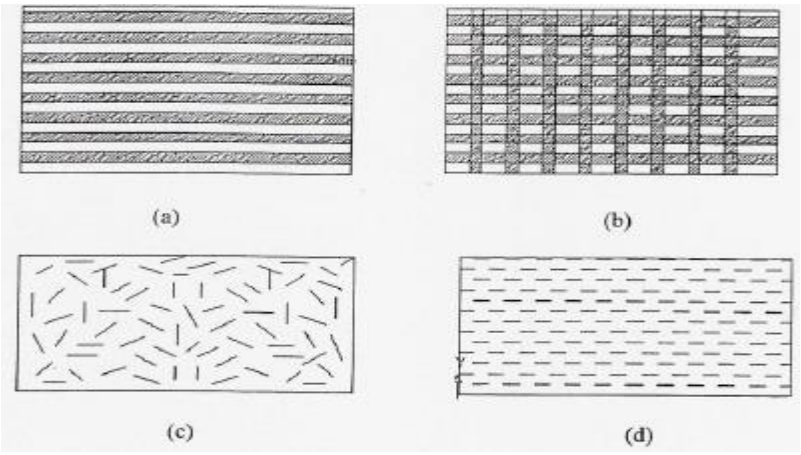
Partikül esaslı kompozit malzemeler; mukuvemet ve rijitliği artıran küçük boyutlu granül dolgu maddesinin ilave edilmesi ile şekil verilerek üretilir. Partikül esaslı kompozitler, bir veya iki boyutlu partiküllerinden ya da boyutsuz şekilde kabul gören küçük boyutlu partiküllerin matrisini oluşturduğu malzemelerdir.

Lamel esaslı kompozitler; yüksek değerlerde yük taşıyabilen, büyük uzunluk/çap oranına sahip ve dolgu malzemesinin ilavesi ile üretilmektedirler. Matrisin içinde bulunan pul konsantrasyonu az olduğu gibi pulların birbiriyle temas etmesini sağlayacak şekilde de olabilirler. Düzlemsel yapısı olan pullar ile sıkı paketleme üretilebilinir. Sistem yüksek maliyetli ancak özellik olarak mukavemetlidir.



Şekil 3.1. Açılı tabakalı kompozitlerin gösterimi (Sayman, 2007)

Fiber oryantasyonlu kompozitler; mühendislikte kullanılan kompozit malzemelerin bir çoğu fiber esaslı üretildiklerinden rijitlikleri ve mukavemeti kütle biçimindeki değerlerinden çok yüksek seviyede olabilmektedir.



Şekil 3.2. Değişik tipte fiber kompozitler (Sayman, 2007)

Şekil 3.2. ‘de görüldüğü gibi değişik tipte fiberler

a) Tek yönlü sürekli fiber kompozitler.

b) Örgülü formda fiber kompozitler .

c) Rastgele yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozitler.

d) Yönlendirilmiş süreksiz fiber kompozitler (Sayman, 2007).

3.5. Kompozite Kullanılan Temel Bileşenler

3.5.1. Matris Malzemeleri

Kompozitlerin matrisi üç ana fonksiyonları vardır; yükü elyaflara dağıtmak, elyafları çevresel etkilerden korumak ve elyafları birlikte tutmaktır. Uygun bir şekildeki

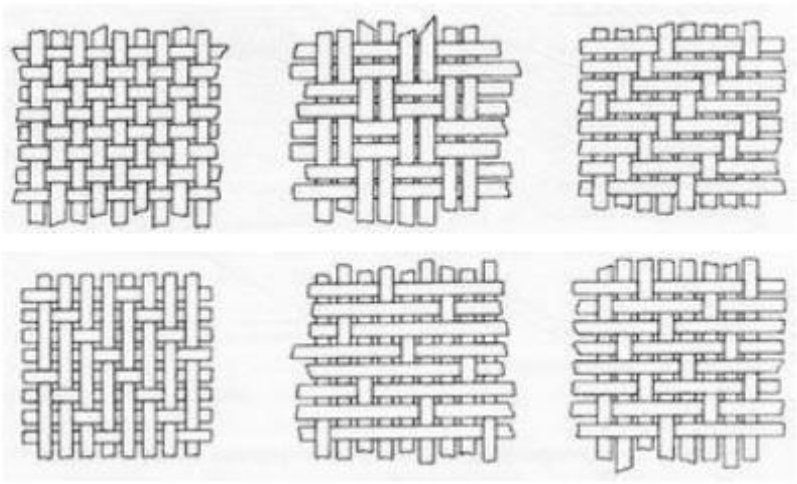
matris malzemeleri başta akışkan bir yapıya sahipken daha sonra elyafları ideal ve sağlam biçimde çevreleyecek katı yapıya rahatlıkla geçmelidir.

3.5.2. Reçineler

- Epoksi reçineler
- Polyesterler
- Üretan reçineleri
- Fenolik reçineler

3.5.3. Elyaf Çeşitleri ve Özellikleri

Matrisin içinde bulunan elyafların kompozit yapının en temel mukavemet parçalarından biridir. Düşük özgül ağırlıklarının yanında sertliğe ve yüksek elastite modülüne sahiptir. Ayrıca elyaflar kimyasal korozyona da dayanıklıdır.



Şekil 3.3. Elyaf Dokuma Türleri (Sayman, 2007)

Cam elyaflar; herhangi bir camdan yüksek saflığa sahip, kuartz camı gibi birçok tipte üretilmektedir. Cam polimerik yapıdadır. Üç boyutlu yapıya sahip silisyum ve oksijen atomundan oluşur.(SiO_4) Cam elyafın özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Çekme mukavemeti yüksektir,
- Isıl dirençleri düşüktür.
- Kimyasallara karşı dirençlidirler.
- Nemi absorbe etme özelliği yoktur, ama cam elyaflı kompozit malzemelerde cam elyaf ile matris arasında nem etkisi ile bir ayrılma oluşabilir.

- Elektrik iletimi yoktur (Sayman, 2007).

Diğer elyaf çeşitleri;

- Bor elyaflar
- Silisyum karbür elyaflar
- Alumina elyaflar
- Grafit (Karbon) elyaflar
- Aramid elyaflar

3.6. Kompozit malzeme üretim yöntemleri

Kompozit malzeme üretimi aşağıdaki yöntemlere göre yapılmaktadır;

- Elle yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Elyaf sarma Yöntemi
- Reçine Enjeksiyonu Yöntemi
- Profil çekme
- Hazır kalıplama
- Hazır kalıplama pestili
- Hazır kalıplama hamuru
- Vakum Yöntemi
- Otoklav
- Preslenebilir takviyeli termoplastik vb. (Sayman, 2007).

3.7. Kompozit Malzemelerde Birleştirme Yöntemleri

Kompozit malzemelerde birleştirme yöntemleri; çözülemeyen ve çözülebilen olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

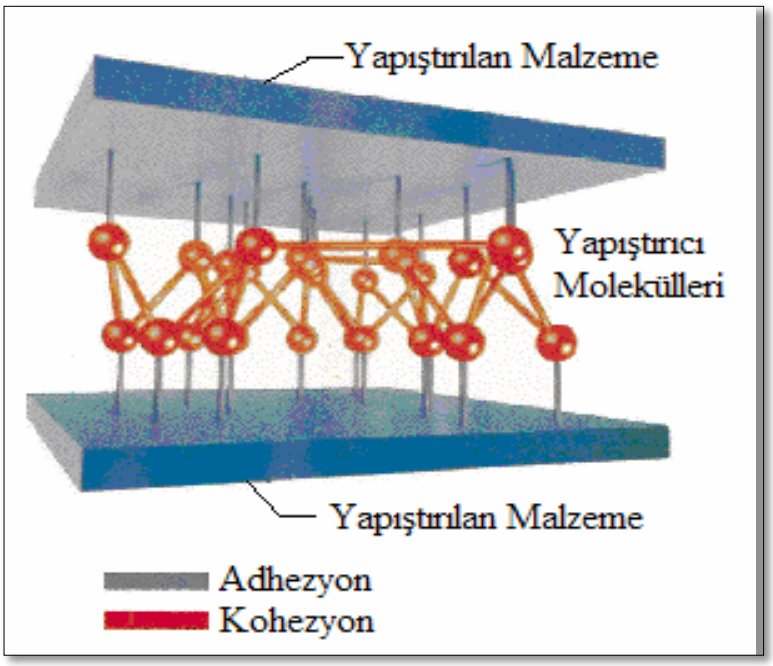
- Çözülebilen bağlantılar; gerektiğinde sökülerek başka yerlerde kullanılabilecek şekilde yapılan birleştirme elemanlarıdır. Birleştirmek için civata, bulon, perçin, kullanılabilir.
- Çözülemeyen bağlantılar; ise sökülmek istendiğinde kesilerek alınan malzemelerdir. Birleştirmek için kaynak ve yapıştırıcı yardımıyla yapılan yapıştırma yöntemidir.

3.7.1. Yapıştırmalı Birleştirmeler

3.7.1.1. Yapışma İşlemi

Yapışma işlemi, yapıştırıcı ile malzeme arasında ve yapıştırıcı içinde oluşan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda gerçekleşmektedir. Kohezyon ve adhezyon olayı olarak ikiye ayrılır.

Adhezyon; bu olay yapıştırıcı ile yapıştırılacak malzeme arasında oluşur. Yapıştırıcı ve malzeme yüzeyinin, ara yüzey kuvveti sonucu bir arada tutulması olayıdır.



Şekil 3.4. Adhezyon ve kohezyon olayalar (Özenç, 2007)

Kohezyon; bu olay ise yapıştırıcıların kendi içinde oluşur. Yapıştırıcıları oluşturan kütle bileşenlerinin fiziksel ve kimyasal kuvvetleri tarafından bir arada tutulması olayıdır. Kohezyon olayı yapıştırıcıların polimerleşme evresinde meydana gelir. Şekil 3.4.'te kohezyon ve adhezyon olayları şematik olarak verilmiştir.

3.7.1.2. Yapıştırmayı Etkileyen Faktörler

Bazı kimyasal ve fiziksel olayların etkisiyle, yapıştırıcı bileşenlerinde bulunan polimer bileşenler yapıştırmayı sağlamaktadır. Aşağıda belirtilen yapıştırma işlemini etkileyen faktörler önemli bir yer tutmaktadır. (Özenç, 2007) Yapıştırma işleminin gerçekleşmesinde, bu faktörlerden biri ya da birden fazlası etkilemektedir. Herhangi bir

yapıştırıcı için etkili olan bir faktör bir diğer yapıştırıcı için etkili olamayabilir. Bu nedenle, yapıştırıcıların yapıştırma işlemini yerine getirmesinde yapışmayı sağlayan polimer maddeler kadar yapışma işleminden sorumlu olan kimyasal ve fiziksel faktörlerde önemli bir yer tutmaktadır. Yapıştırma işlemini etkileyen faktörler;

Basınç: bant ve film şeklinde olan yapıştırıcı çeşitleri kullanıldıklarında, hem kullanıldıkları yerin şeklini almaları için hem de yapışmayı tam sağlamak için hafif bir basınç uygulayarak etkili olmaları sağlanabilir. Ayrıca basınç uygulamak yapışma işlemini kısa bir sürede olmasını sağlamaktadır.

Sıcaklık: Yapıştırıcıların birçoğu oda şartlarında etkili olmaktadırlar. Ama bazı yapıştırıcıların yüksek sıcaklıkta yapışma işlemi daha etkin olur ve yapışma süresi azalır. Kimyasal reaksiyonların birçoğunda olduğu gibi sıcaklık, reaksiyon hızını artırır. Ama sıcaklık kontrolü yapılmalıdır. Aksi taktirde yapıştırıcıda oluşan polimerik malzemenin bozulmasına neden olabilir.

Zaman: Yapıştırıcı kurumaya bırakılarak veya ısıtılarak etkin hale gelmesi için birkaç saniye ya da birkaç güne varan bir zamanın geçmesi gerekebilir. Geçen bu zaman zarfı yapıştırıcının etkin hale gelme süresidir.

Katalizör*:* Bazı yapıştırıcıların etkin olması için katalizör gibi reaksiyon hızını artırıcı ve başlatıcı maddelerin bileşeninde olması gerekmektedir. Bu nedenle kullanılan kimyasalların her biri için farklı sıcaklıklarda etkinliklerini göstererek yapışma olayını sağlarlar.

Oksijen: Bazı yapıştırıcı çeşitleri etkilerini oksijen olmadığında gösterirler ya da oksijeni olmayan ortamlarda yapışırlar. Oksijensiz ortamda bozulmadan çok uzun zaman saklanabilirler.

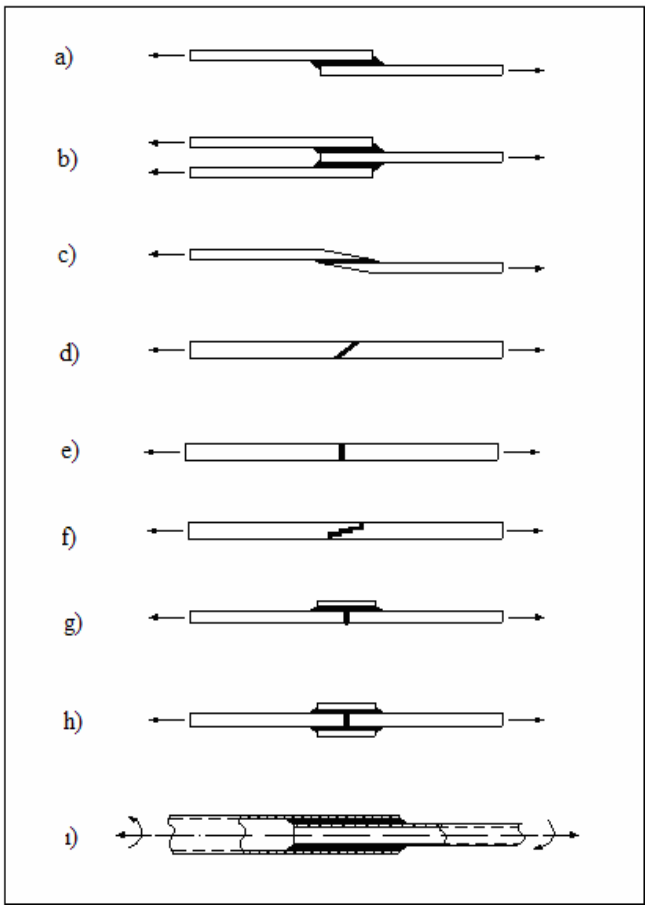
Nem ve Su: Silikonlu ve Poliüretan siyanoakrilatlı yapıştırıcılar atmosferde bulunan nemden veya uygulandıkları yerde bulunan nem veya su aracıyla tepkimeye girerler ve yapışma işlemini sağlarlar.

3.7.1.3. Yapıştırma Geometrisi

Yapıştırmalı bağlantıların istenilen mekanik özellikte olması için, bazı şartları yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu şartlar;

- Bağlantının geometrisinin içinde bulunduğu yer ve uygun şekilde baskılamak,
- Yapışma işleminin uygulanacağı yüzeyin uygun şekilde temizlenmesi,
- Uygun yapıştırıcı seçimi ve yapıştırıcının uygulanması,
- Yapıştırma bağlantısının geometri seçimi.

Yapıştırmalı bağlantıda basma, çekme, soyulma, kayma veya bütün bu durumların farklı kombinasyonu olarak yüklenilebilinir. Bundan dolayı yapıştırmalı bağlantıların tasarımını, bağlantıda oluşacak yüklemeler göz önünde bulundurularak ve yapıştırmalı bağlantıda hangi yükleme faktörü için en iyi performansın sağlandığı ve o yüklenme duruma göre uygun bağlantı geometrisi seçilmelidir. Mühendislikte kullanılan yapıştırma bağlantı tiplerinden en yaygın olanları Şekil 3.5.'de verilmiştir (Özenç, 2007)



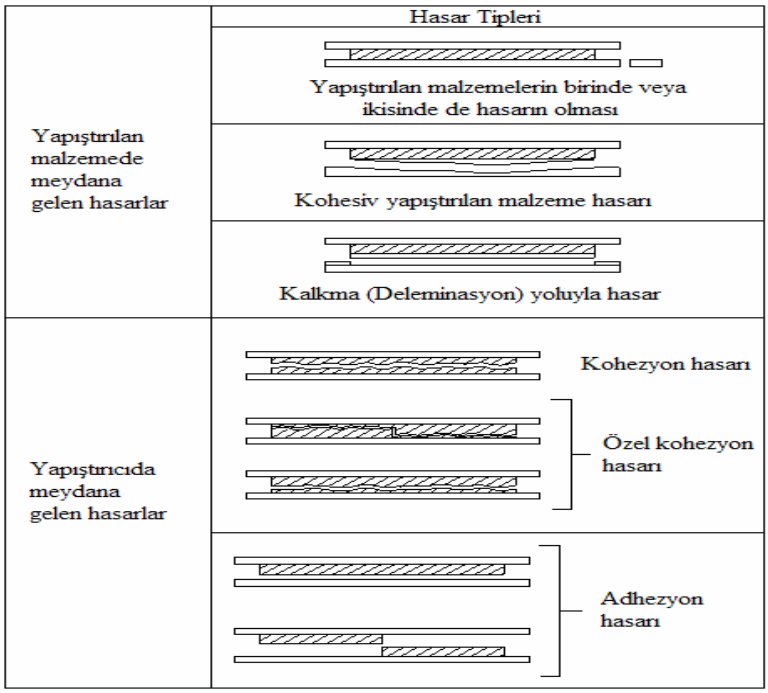
Şekil 3.5. Yapıştırma bağlantı geometrileri (Özenç, 2007)

a) Tek taraflı bindirme bağlantısı
b) Çift taraflı bindirme bağlantısı
c) Pahlı bindirme bağlantısı
d) Açılı bindirme bağlantısı
e) Alın bağlantısı
f) Kademeli bağlantı
g) Tek taraflı takviyeli alın bağlantısı
h) Çift taraflı takviyeli alın bağlantısı
ı) Silindirik bindirmeli bağlantı

3.7.1.4. Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hasar Tipleri

Farklı şekilde yüklenmiş yapıştırmalı bağlantıların veya yapıştırıcıdaki mekanik davranışlarının anlaşılması için, hasar tiplerini ayırt etmek gerekmektedir. Yapıştırmalı bağlantılarda iki tip hasar modeli (kohezyon ve adyezyon) ile karşılaşılmaktadır. (Özenç, 2007)

Temel hasar tiplerinin tespiti; yapıştırmalı bağlantılara uygulanılan herhangi bir mekanik yüklemenin sonuçlarını daha iyi anlamamızı ve hasar tiplerinin sınıflandırılmasına olanak sağlamaktadır. Temel hasar tipleri Şekil 3.6.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Temel hasar tipleri (Özenç, 2007)

3.7.1.5. Yapıştırıcı Çeşitleri

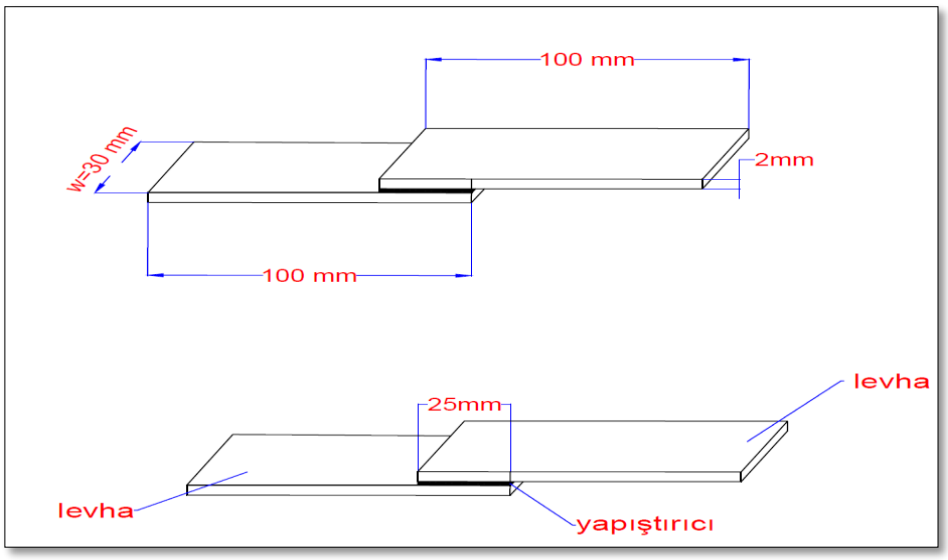
Yapıştırıcılar farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan bazıları; tek ve iki bileşeni olan sıvı şeklinde olan yapıştırıcılar ve filmli yapıştırıcılar olarak

isimlendirilmektedirler. Fiziksel durumlarına göre sınıflandırırsak; metal-metal, ahşap ve kağıt yapıştırıcı bu grupta yer almaktadırlar. Epoksi, polikloropen ve siyanoakrilit yapıştırıcılar ise kimyasal olarak sınıflandırılmaktadırlar (Özenç, 2007).

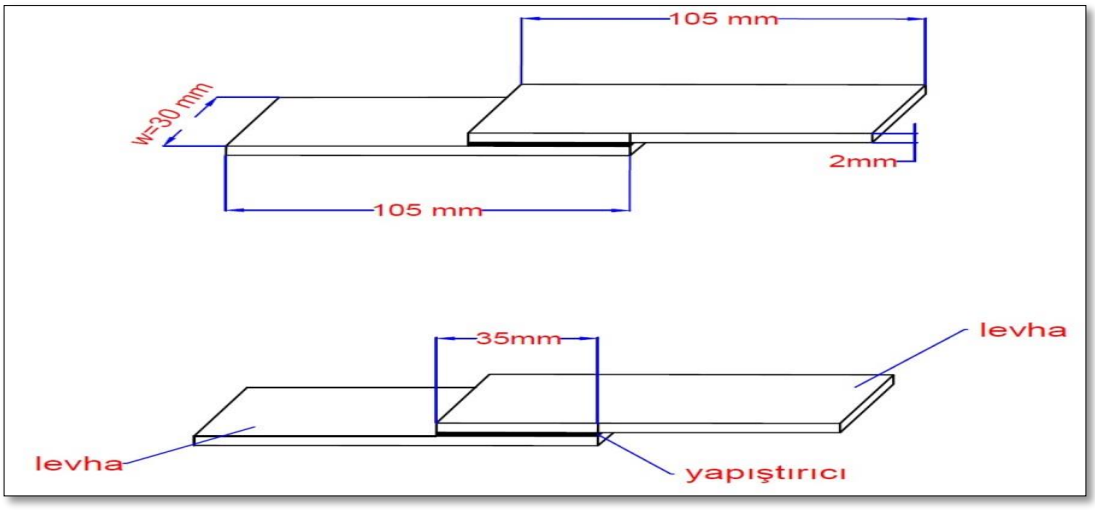
3.8. Problemin Tanıtılması

Bu yüksek lisans tezi, "Mühendislik.17.018" proje numarası ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (DÜBAP) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmadaki numunelerin hazırlanma süreci ve işlemleri; Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Bu çalışmada (örgülü) $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ takviye açılarına sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhalar İzoreel Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Bağlantılı kompozit levhalar tek tesirli bindirme, tek tesirli yama ve çift tesirli yama bağlantısı olarak gruplara ayrılmıştır. Yapıştırıcı olarak Loctite Hysol-9466 epoksi esaslı yapıştırıcı kullanılmış ve yapıştırıcı kalınlığı 0.25 mm (th) olarak alınmıştır.

Tek tesirli bindirme bağlantısı için $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakalardan sırasıyla 100 mm x 30 mm x 2 mm (Şekil 3.7.), 105 mm x 30 mm x 2mm (Şekil 3.8.) boyutlarda levhalar kesilmiştir. Tek tesirli bindirme bağlantısı için; farklı iki bindirme uzunluğu (Lap) seçilmiş olup, bunlar sırasıyla 25 mm (Şekil 3.7.), 35 mm (Şekil 3.7.)' dir. Tek tesirli bindirme bağlantısı Şekil 3.7. ve Şekil 3.8. 'deki geometriye göre yapıştırılmıştır.

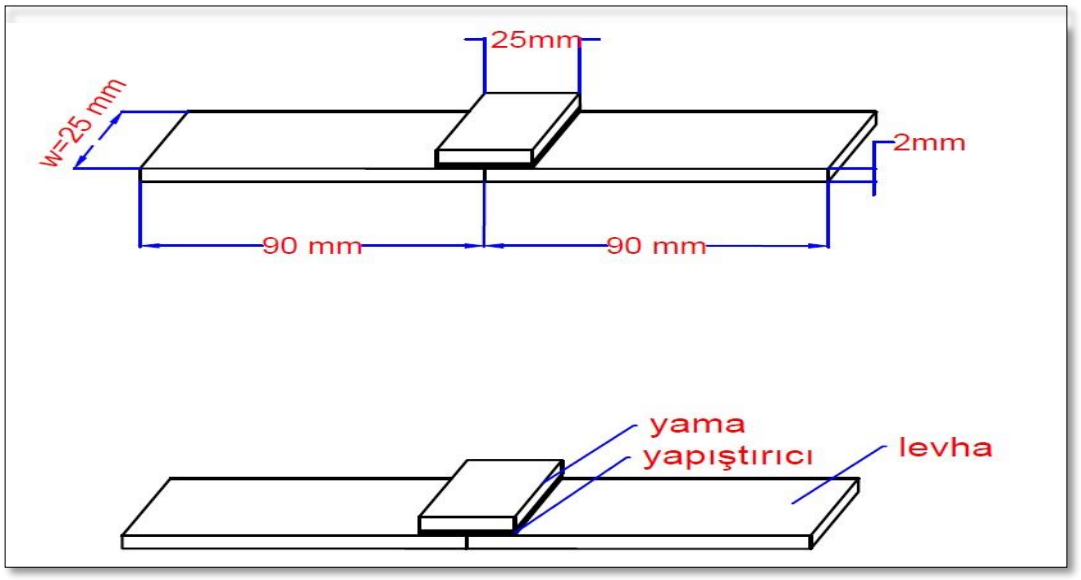


Şekil 3.7. Tek tesirli bindirme uzunluğu (Lap) 25 mm olan yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi

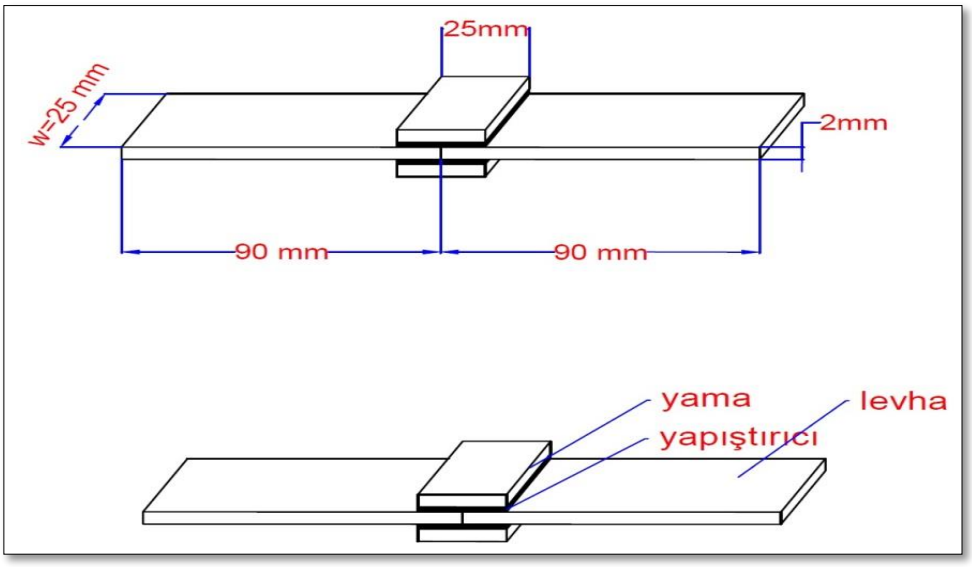


Şekil 3.8. Tek tesirli bindirme uzunluğu (Lap) 35mm olan yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi

Tek tesirli ve çift tesirli yamalı bağlantı için $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakadan 90 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarında levha ve 25 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarında ise yama kesilmiştir. Levha ve yama Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da verilen geometriye göre birleştirilmiştir.

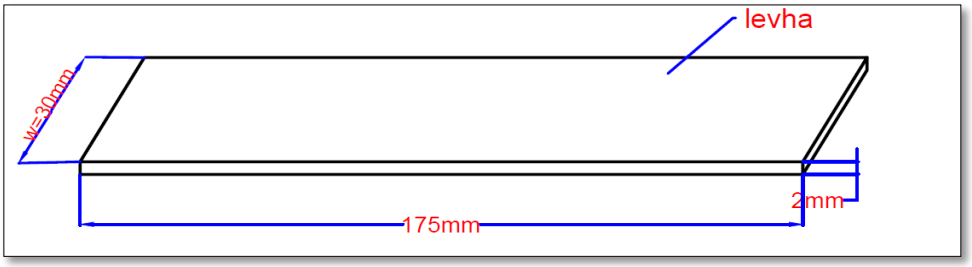


Şekil 3.9. Tek tesirli yamalı yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi

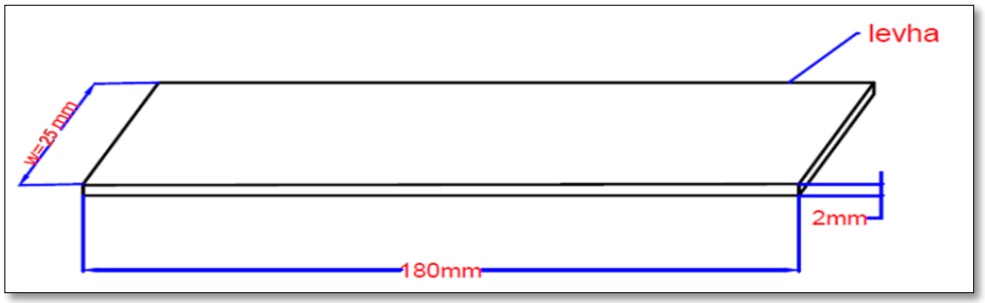


Şekil 3.10. Çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı kompozit numunelerin geometrisi

Ayrıca deney için $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit plakalardan 175 mm x 30 mm x 2 mm (Şekil 3.11.) ve 180 mm x 25 mm x 2mm (Şekil 3.12.) boyutlarında levhalar kesilmiştir.



Şekil 3.11. 175 mm x 30 mm x 2 mm boyutlarındaki kompozit numunelerin geometrisi



Şekil 3.12. 180 mm x 25 mm x 2 mm boyutlarındaki kompozit numunelerin geometrisi

Bu çalışmada; kuru (oda şartlarında) numuneler ile, 40 ^{0}C, 60 ^{0}C ve 80 ^{0}C sıcaklığa sahip suyun içerisinde 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilecek numuneler hazırlanmıştır. Her geometriden 3' er adet numune hazırlanmıştır.

3.8.1. Deneysel Çalışma Aşamalar

Bu bölümde kesilen levhaların işaretlenme, zımparalama, temizleme ve yapıştırma işlemi için yapılacak kalıpların üretimi ve işlem aşamaları belirtilmiştir.

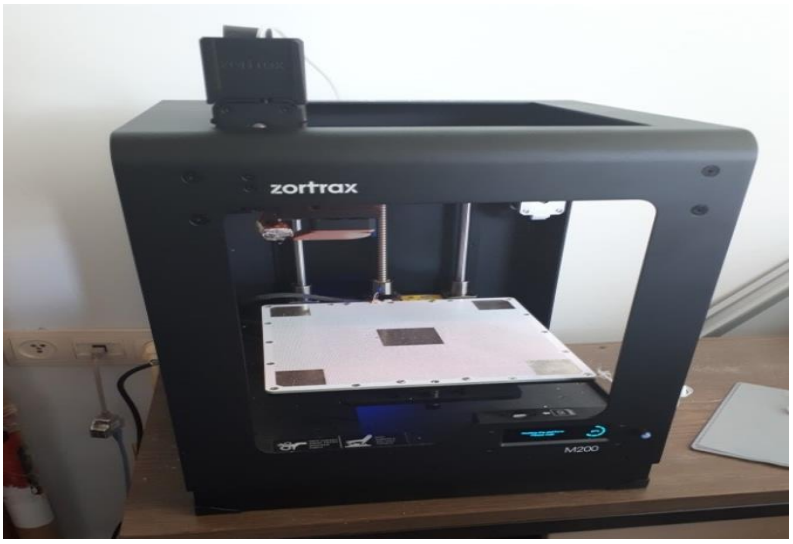
3.8.1.1. Numunelerin hazırlanması

Bu bölümde, numunelerin yapıştırma bağlantısının yapılacağı yüzeylerin hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yapıştırılacak yüzeyler ASTM D2093-03 standardına göre hazırlanmıştır. Bu levhaların yapıştırılacak yüzeyleri cetvel ve asetatlı kalem yardımı ile işaretlenmiştir.



Şekil 3.13. Deney için kullanılan levhaların yüzey zımparalama ve yüzey temizleme işlemi

Daha sonra işaretlenen yüzeyler, yapışma kalitesini artırmak için zımpara ile temizlenmiştir (Şekil 3.13). Zımparalama sonucu yüzeyde kalan kompozit partiküller ise asetonla ıslatılmış pamuk ile silinmiştir.



Şekil 3.14. Kalıplar için kullanılan 3D yazıcı cihazı

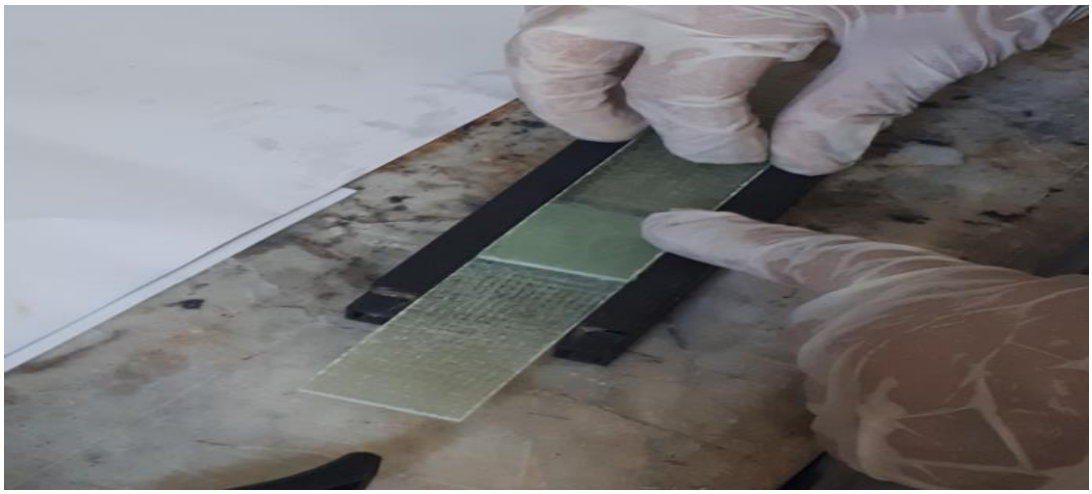
Yapıştırma işleminde kullanılacak levhalar için 3D yazıcı kullanılarak özel kalıplar imal edilmiştir (Şekil 3.15.). Kalıplar hazırlanırken, numune geometrisi ve yapıştırma kalınlığına göre tasarlanmış; tek tesirli bindirme bağlantılı, tek tesirli ve çift tesirli yamalı bağlantılar için ayrı ayrı kalıplar 3D cihazında üretilmiştir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.15. 3D yazıcı ile üretilmiş kalıplar



Şekil 3.16. Yapıştırma işlemi için kullanılan özel tabanca ve Loctite Hysol-9466 epoksi esaslı yapıştırıcı



Şekil 3.17. Yapıştırıcı sürüldükten sonra numunenin kalıba yerleştirilmesi

Tüm numuneler ASTM D5868-01 test standardına uygun bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.18.) Yapıştırma işleminde özel bir tabanca ve Loctite 9466 epoksi bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.16.). Numuneler kalıba Şekil 3.17'deki gibi yerleştirilmiştir. Yapıştırma işlemi bittikten sonra, numuneler oda sıcaklığında muhafaza edilmiş ve kürleme şartlarına uygun olarak 15 gün süre ile kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Yapıştırma işlemi ve kurumaya bekletilen numuneler

Bu deneysel çalışma için 40 ^{0}C, 60 ^{0}C ve 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilmesi için özel olarak 3 adet termostatlı sıcak su kazanları imal edilmiştir. Termostatlı sıcak su kazanlarında numunelerin birbirine değmeden ve suyun her tarafa nüfuz etmesi için özel askılar tasarlanmıştır. Kazanlardaki numunelerin sıcak suda bekletilme işlemi kapalı ortamda yapılmıştır (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Kompozit numunelerin termostatlı sıcak su kazanına yerleştirilmesi

Laboratuvarda hazırlanan numuneler özel olarak hazırlanmış, sıcak su kazanlarında bekleme süresi bittikten sonra sudan çıkarılmışlardır. Çıkarılma işleminde numuneler üzerindeki fazla su bir bez yardımıyla kurutulduktan sonra hassas terazi (Şekil 3.20.) ile ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçülen ağırlıklar, suya konulmadan önceki ağırlıklarla kıyaslanarak her numunenin nem emilim oranı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her numuneden üçer adet olduğu için ölçülen değerler toplanarak, elde edilen ortalama değer çizelgelere (Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.) aktarılmıştır.

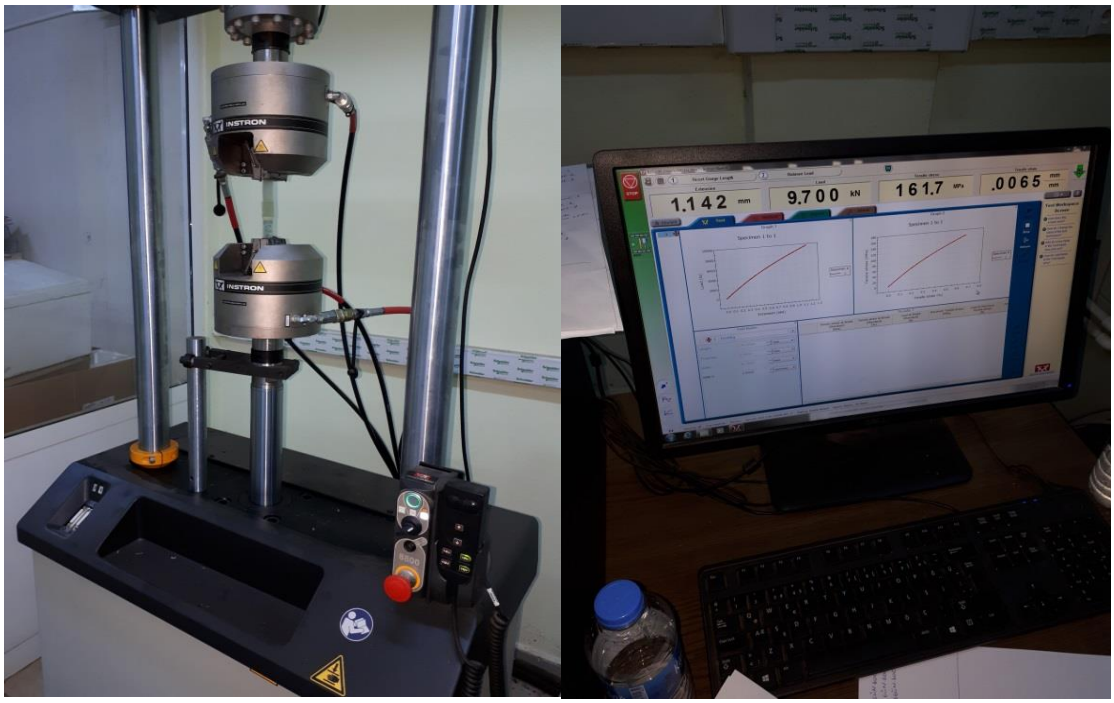


Şekil 3.20. Ölçüm işleminin yapıldığı hassas terazi.

Numuneleri nem emilim oranlarını hesaplamak için kullandığımız formülasyon aşağıda belirtilmiş olup, numunelerin ilk ağırlıkları (w_0), sudan çıkarıldıktan sonraki ölçülen ağırlıkları (w_s) ve her numunenin toplam nem oranı (M_t) 'dir.

$$M_t=[(w_s-w_0)/w_0\ ]x\ 100 \qquad \text{(Akderya ve ark)}$$

Suda bekleme süresi sonunda ağırlık ölçümünden sonra, her numune statik çekme testine tabi tutulmuştur. Numuneler Dicle Üniversitesi Merkezi laboratuvarında bulunan, kapasitesi 10 kN olan Instron marka BS8801 tipindeki çekme cihazında (Şekil 3.21.), 1mm/dk hız ile test edilmiştir. Tüm testler oda sıcaklığında yapılmıştır. Numuneler, önceden hazırlanmış tutulma yerlerinde çenelere bağlantısı yapılıp, teste tabi tutulmuşlardır. Bu test aşamasında numunelerin yük-uzama verileri bilgisayara aktarılmış ve kaydedilmiştir. Bu veriler ışığında deneylere ait grafik ve tablolar oluşturulmuştur.

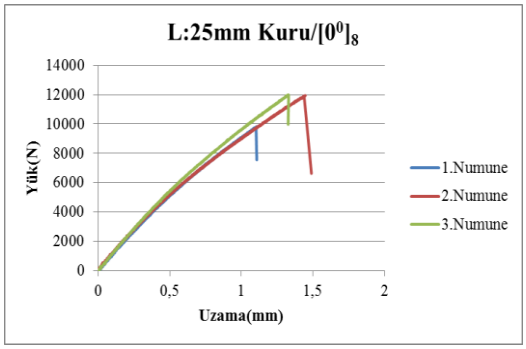


Şekil 3.21. Çekme test cihazı ve deney düzeneği

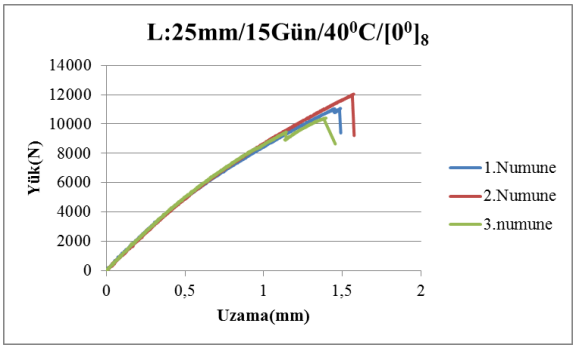
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde (örgülü) $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ fiber takviye açısına sahip cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden oluşan tek tesirli bindirme (Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.), tek tesirli yamalı (Şekil 3.9.) ve çift tesirli yamalı (Şekil 3.10.) bağlantıların ve levhaların (Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.) suda bekleme süresi bittikten sonra, hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçülen ağırlıklar, suya konulmadan önceki ağırlıklarla kıyaslanarak her numunenin nem emilim oranı formülasyonla ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca çekme testi sonucu numunelerden elde edilen maksimum hasar yük değerleri de tespit edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen bu değerler aşağıdaki başlıklarla belirtilmiştir.

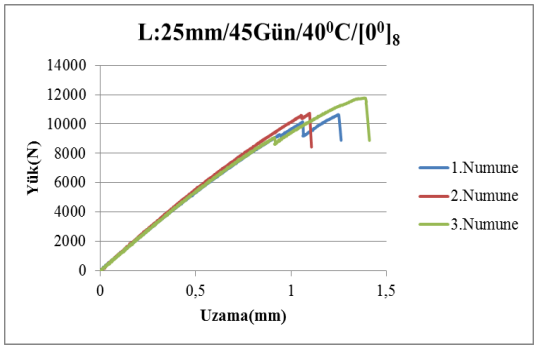
4.1. Tek Tesirli Bindirme Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları



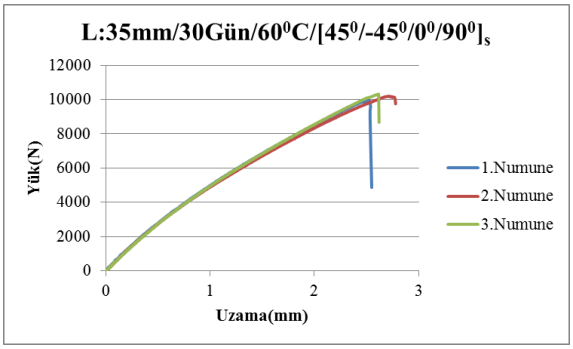
(a) Bindirme uzunluğu 25 mm



(b) Bindirme uzunluğu 25 mm



(c) Bindirme uzunluğu 25 mm



(d) Bindirme uzunluğu 35 mm

Şekil 4.1. (a,b,c,d) 'de Tek tesirli bindirme bağlantılarına ait her üç numunenin yük-uzama grafiği.

Tek tesirli bindirme bağlantılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerin her bir parametresi için 3'er adet çekme testi yapılmıştır. Bunlardan bazılarının Şekil 4.1.(a,b,c,d)' görüldüğü gibi yük-uzama grafikleri örnek olarak verilmiştir. Bu numunelerin ve diğer tüm numunelerden elde edilen maksimum hasar yük değerlerinin ortalaması alınmıştır.

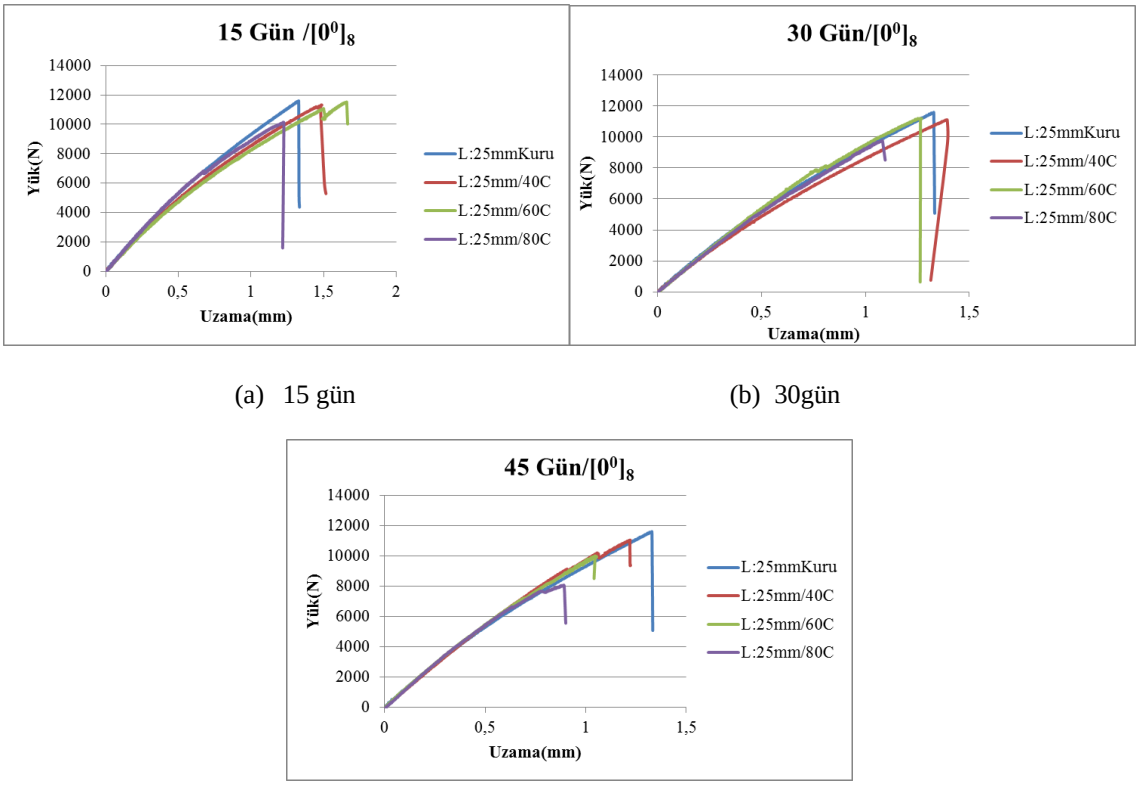
Tek tesirli bindirme bağlantılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden deney sonucu elde edilen maksimum hasar yük değerleri Çizelge 4.1.'e aktarılmıştır. Bu değerler arasında grafiklerle karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin sıcak suda kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen hasar yük değerleri

Numune geometrisi	**Fiber oryantasyonu**	**Kuru (N)**	**Sıcak su ^{0}C /sıcak suda kalma süresine bağlı yük (N)**								
			40 ^{0}C			60 ^{0}C			80 ^{0}C		
			15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün
Lap:25 mm	$[0^0]_8$	1195.70	11554.60	11121.01	11043.50	11527.70	11200.09	9993.15	10147.50	9746.90	8103.45
	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	9731.20	9650.85	9641.75	9055.90	8812.65	8678.175	7651.30	6913.50	6316.35	5695.85
Lap:35 mm	$[0^0]_8$	18729.20	17715.30	17582	16500.60	17643.03	17204.90	16268.85	15704.50	13115.66	11167.16
	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	1122.10	10879.25	10551.45	9317.40	10653.14	10157.66	8578.50	6349.60	5939.70	5892.50
Levha (30 mm)	$[0^0]_8$	2981.25	27337.10	26276.00	26214.50	26068.76	25850.10	25120.50	24541.00	23477.45	22506.53
	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	1220.00	11437.05	10145.20	9891.45	10901.70	10084.75	9366.08	6759.82	6187.06	6044.70

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; kuru halinde elde edilen hasar yükü, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numuneden elde edilen hasar yüküne göre %18.61 oranında daha fazla elde edilmiştir. 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.2.a), süresince bekletilen bu numunelerden elde edilen hasar yük değerinin kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 3.35 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.2.b), sıcak suda bekleyen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen değere göre %3.75 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.2.c), sıcak

suda bekleyen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen değere göre %0.70 oranında düştüğü tespit edilmiştir.



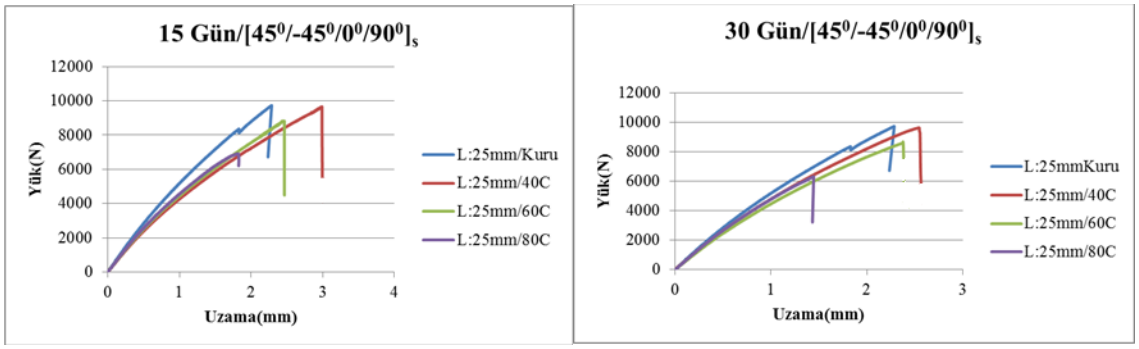
(a) 15 gün (b) 30gün

(c) 45gün

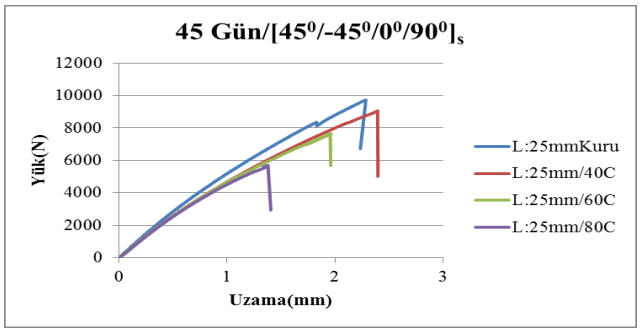
Şekil 4.2. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.2. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.2. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %3.58 ve %0.23 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.2. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün sure ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %2.84 ve %0.71 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.2. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %10.78 ve %9.51 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.2. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %15.12, %11.97 ve %12.18 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.2. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün sure ile ve 60 ^{0}C, 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.95, %12.97 ve %12.36 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.2. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün ve 15 gün sure ile ve 60 ^{0}C - 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %16.86 , %20.14 ile %18.91, %26.62 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün (b) 30 gün



(c) 45 gün

Şekil 4.3. (a,b,c) Tek tesirli bindirme yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün sure (Şekil 4.3. a) bekletildiğinde elde

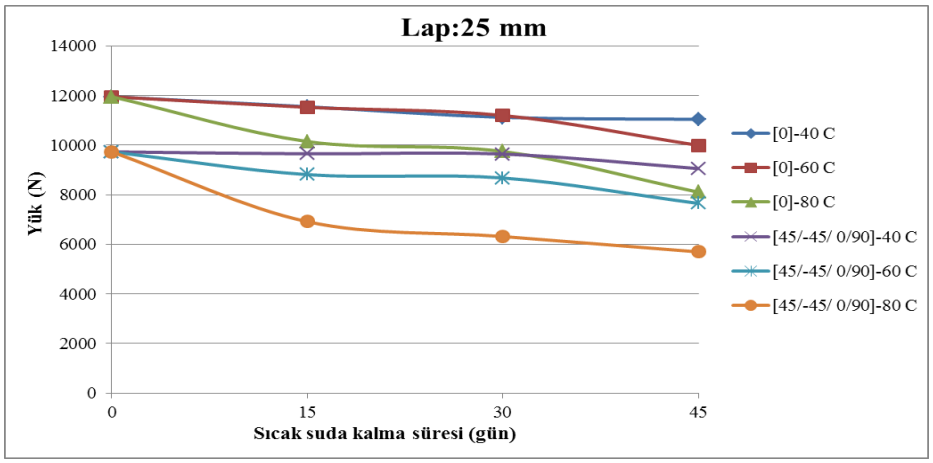
edilen hasar yükünün, kuru numunelerden elde edilen hasar yüküne göre % 0.83 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.3. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %0.09 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.3. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %6.07 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.3. a) süre bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 9.44 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.3.b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 1.53 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.3. c) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %11.83 oranında, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre ise %13.18 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.3. a) süre bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %28.96 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.3. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %8.64 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.3. c) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %9.82 oranında, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre ise %17.61 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

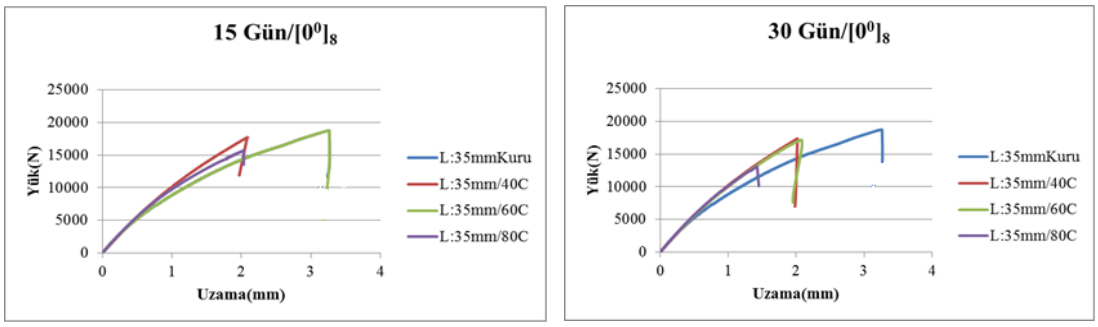
Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün(Şekil 4.3. c) süre bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.3. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %13.65 oranında düştüğü, 40 ^{0}C

sıcak suda 45 gün (Şekil 4.3. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre ise %37.10 oranında düştüğü hesaplanmıştır.

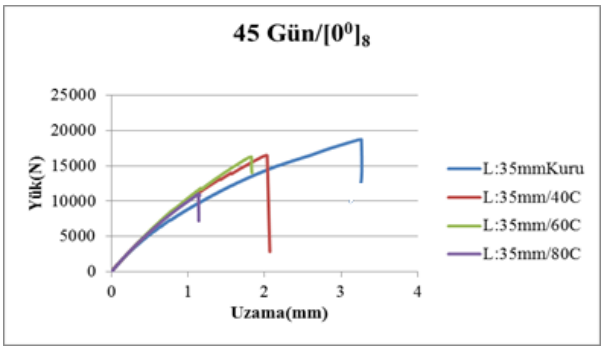


Şekil 4.4. Tek tesirli bindirme (Lap=25mm) bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

Şekil 4.4.' te görüldüğü gibi bindirme uzunluğu 25 mm olan numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık değeri artıkça, hasar yük değerinin azaldığı görülmektedir.



(a) 15 gün (b) 30gün



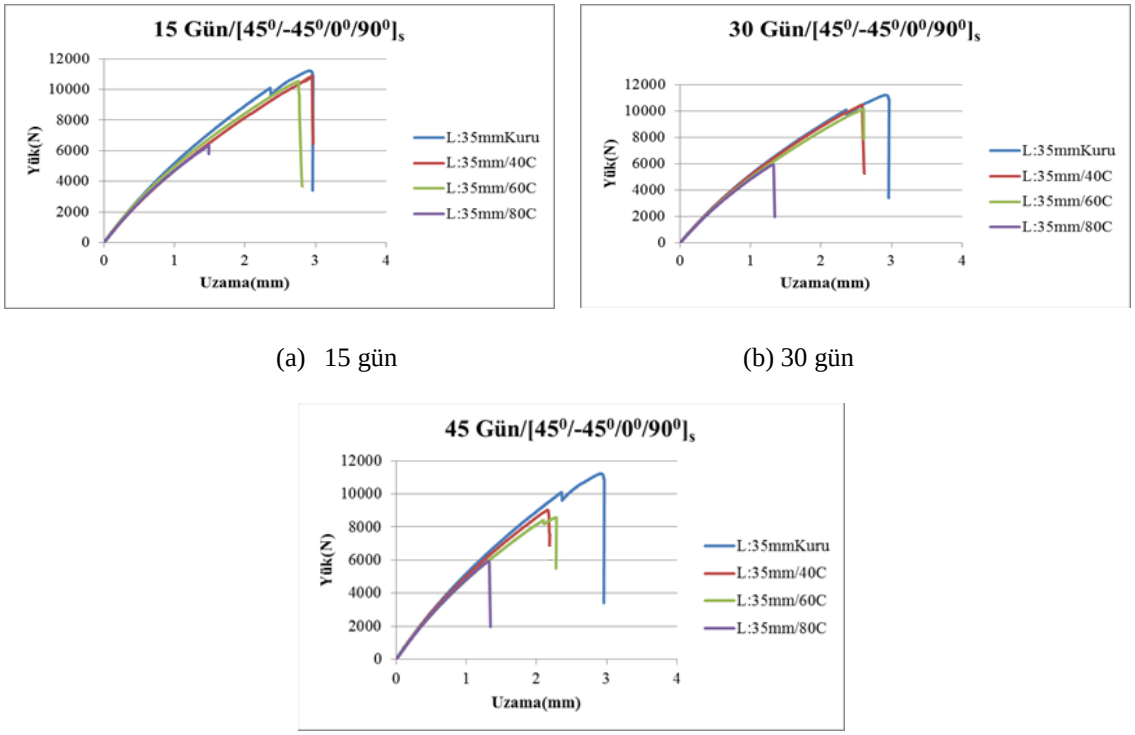
(c) 45 gün

Şekil 4.5. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.5. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %5.41 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.5. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %0.075 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.5. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %6.15 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.5. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %5.80 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.5. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %2.48 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.5. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %5.44 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.5. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %16.15 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.5. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %16.48 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.5. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %14.86 oranında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün (b) 30 gün

(c) 45gün

Şekil 4.6. (a,b,c) Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap=35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin yük-uzama grafiği

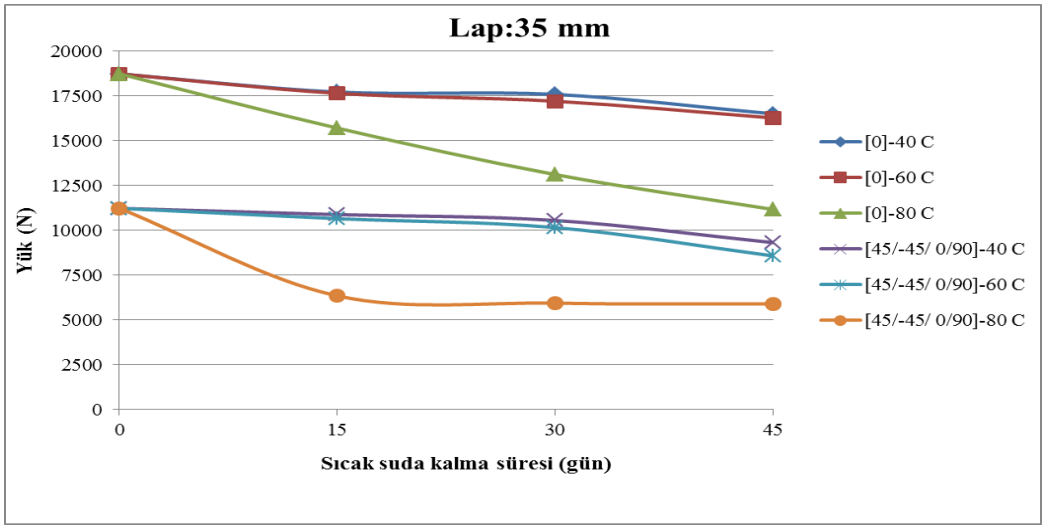
Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.6. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %3.11 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.6. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %3.01 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.6. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %11.70 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.6. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %5.12 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.6. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %4.65 oranında düştüğü

tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.6. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %15.55 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.6. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %43.45 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.6. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %6.46 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.6. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %0.79 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yapışma bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin; kuru halinde elde edilen hasar yükünün, $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numuneden elde edilen hasar yüküne göre % 40.05 oranında daha düşük elde edilmiştir.

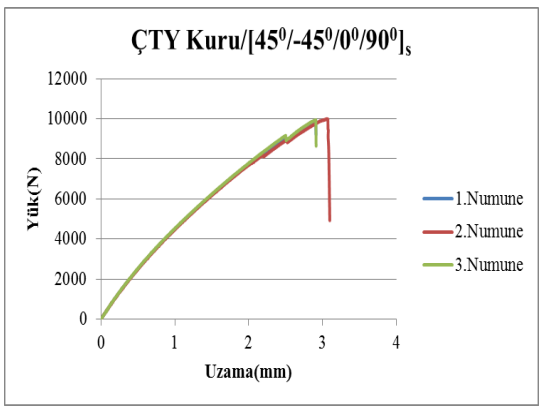


Şekil 4.7. Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

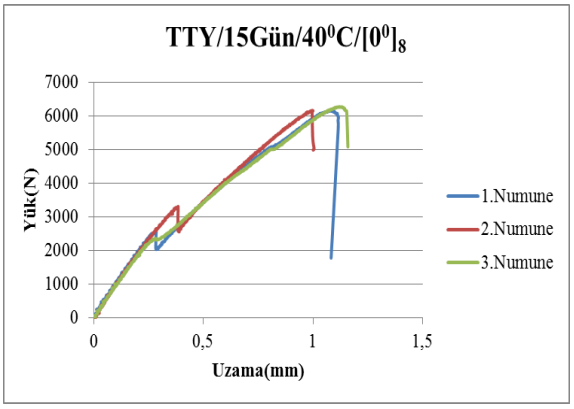
Şekil 4.7.'te görüldüğü gibi bindirme uzunluğu 35 mm numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık derecesi artıkça, elde edilen hasar yük değeri azalmaktadır.

4.2. Tek Tesirli Yamalı ve Çift Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları

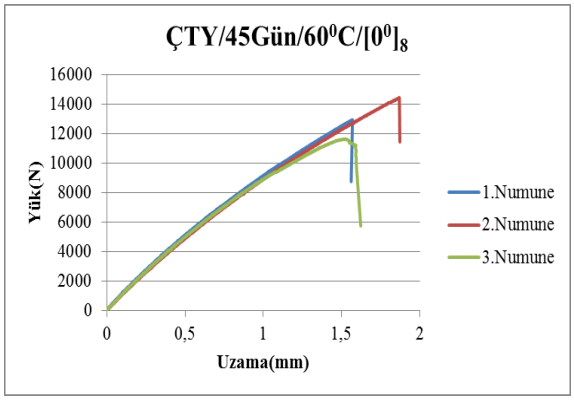
Tek tesirli yamalı ve çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelere ait yük-uzama grafikleri Şekil 4.8. (a,b,c)' de görüldüğü gibi örnek olarak verilmiştir.



(a) 15 gün



(b) 30 gün



(c) 45 gün

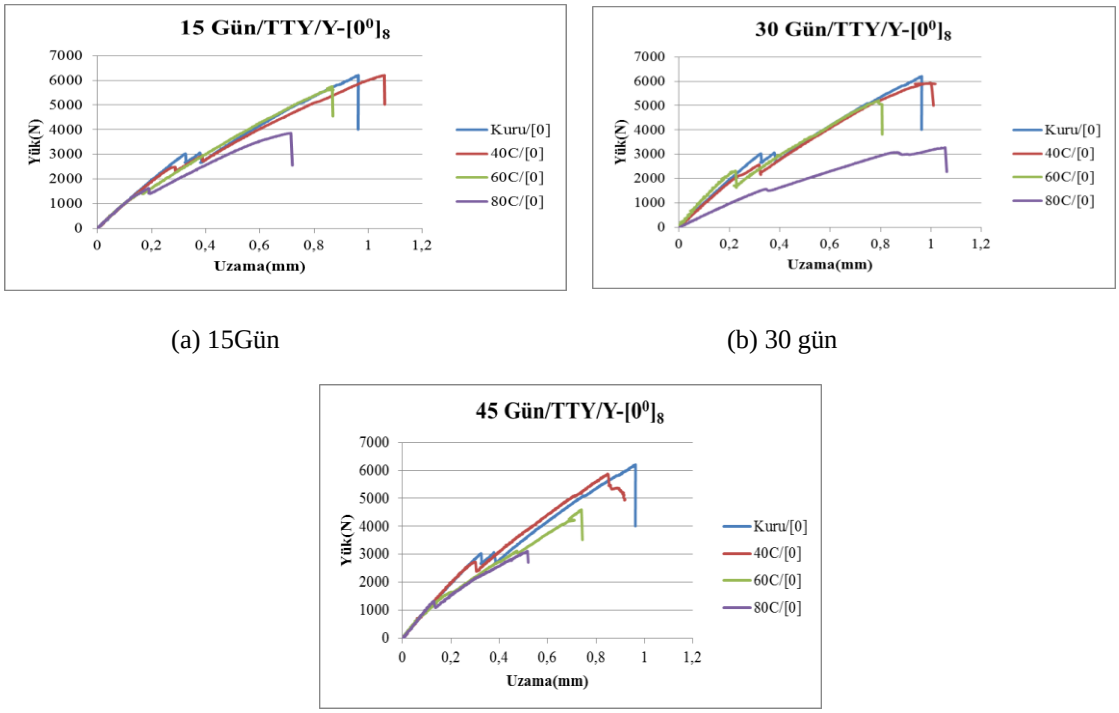
Şekil 4.8. (a,b,c) TTY ve ÇTY bağlantılı numunelere ait yük-uzama grafikleri

4.2.1. Tek Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları

Tek tesirli yamalı ve çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerin elde edilen maksimum hasar yük değerleri Çizelge 4.2.'e aktarılmış ve elde edilen değerler grafiklerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.2. Tek tesirli ve çift tesirli yamalı bağlantıların sıcak suda kalma süresine bağlı olarak elde edilen hasar yük değerleri

Numune geometrisi	Levha oryantasyonu	Yama oryantasyonu	Kuru (N)	Sıcak su ^{0}C /sıcak suda kalma süresine bağlı yük (N)								
				40 ^{0}C			60 ^{0}C			80 ^{0}C		
				15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün	15 gün	30 gün	45 gün
TTY	$[0^0]_8$	$[0^0]_8$	6758.15	6200.43	5910.90	5872.70	5752.30	5204.40	4589.90	3927.05	3270.50	3105.45
		$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	5732.75	5397.70	5316.20	5183	5143.80	5080.70	4883.06	3654.50	2792.60	2620.30
	$[45^0/45^0/0^0/90^0]_s$	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	6208.20	5401.95	5188.24	5048	4843.7	4594.55	4182.00	4697.13	3653.30	3227.26
ÇTY	$[0^0]_8$	$[0^0]_8$	14712.0	13625.60	13697.25	13184.20	13708.15	13433.00	12995.46	12458.30	11545.70	8325.8
		$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	12463.26	11337.40	10183.40	10107.40	10548.10	9939.30	7881.80	6876.50	6098.25	4438.10
	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	1002.16	9308.80	8888.80	8411.88	8593.90	8002.90	7918.00	5793.30	5525.80	5338.40
Levha(25 mm)	$[0^0]_8$	---	2004.00	19353.50	16282.86	15980.10	16444.10	14307.16	13881.33	11471.30	11019.16	1069.10
	$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$	----	10244.20	9388.45	9019.46	8739.30	9187.38	8983.00	8647.00	6075.93	5468.70	5355.25



(a) 15Gün

(b) 30 gün

(c) 45gün

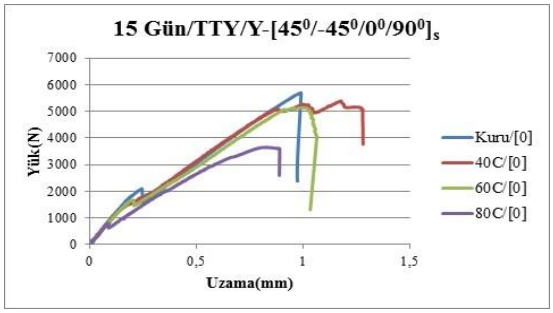
Şekil 4.9. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.9. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 8.25 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.9. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %4.67 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.9.c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %0.65 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

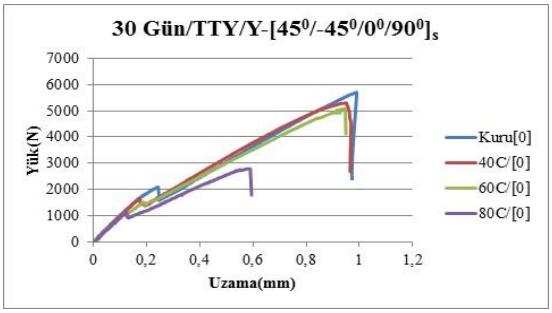
Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.9. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.9. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %14.88 ve %7.23 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.9. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %9.52 ve %11.95 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C

sıcak suda 45 gün (Şekil 4.9. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %11.81 ve %21.84 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

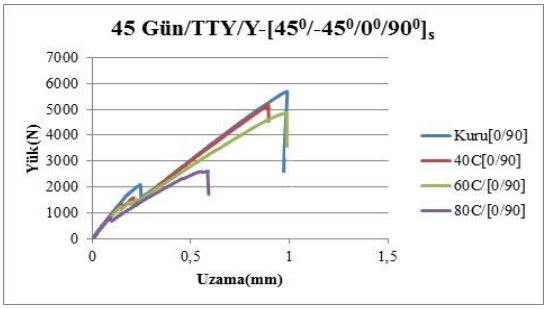
Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.9. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %41.89, %31.73 ve %36.66 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.9. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %16.72, %37.16 ve %44.67 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.9. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %5.05, %32.34 ve %47.12 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün



(b) 30 gün



(c) 45 gün

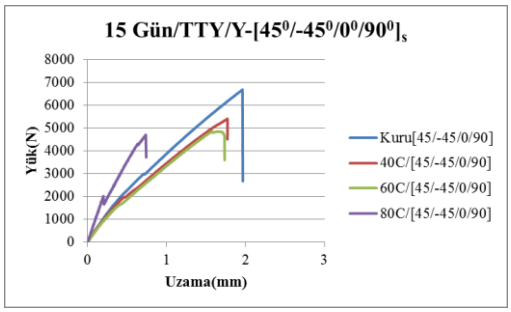
Şekil 4.10. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha $[0^0]_8$ ve yama $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

Tek tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.10. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 5.84 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.10. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %1.51 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.10. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %2.51 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

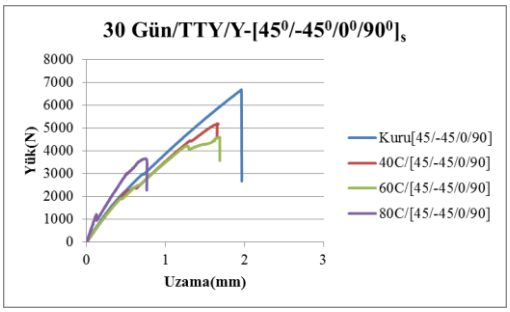
Tek tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.10. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %10.27 ve %4.70 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.10. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %1.23 ve %4.43 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.10. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.89 ve %5.79 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.10. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %36.25, %28.95 ve %32.30 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.10. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %23.58, %45.04 ve %47.47 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.10. c) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen

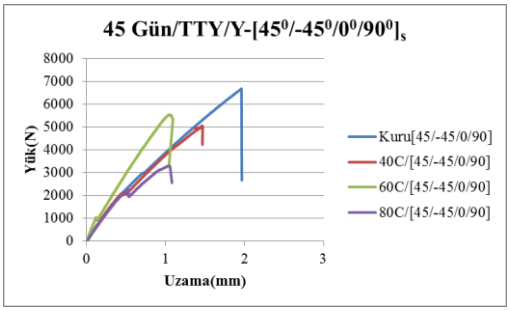
hasar yük değerlerine göre sırasıyla %6.17, %46.34 ve %49.44 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün



(b) 30 gün



(c) 45 gün

Şekil 4.11. (a,b,c) Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

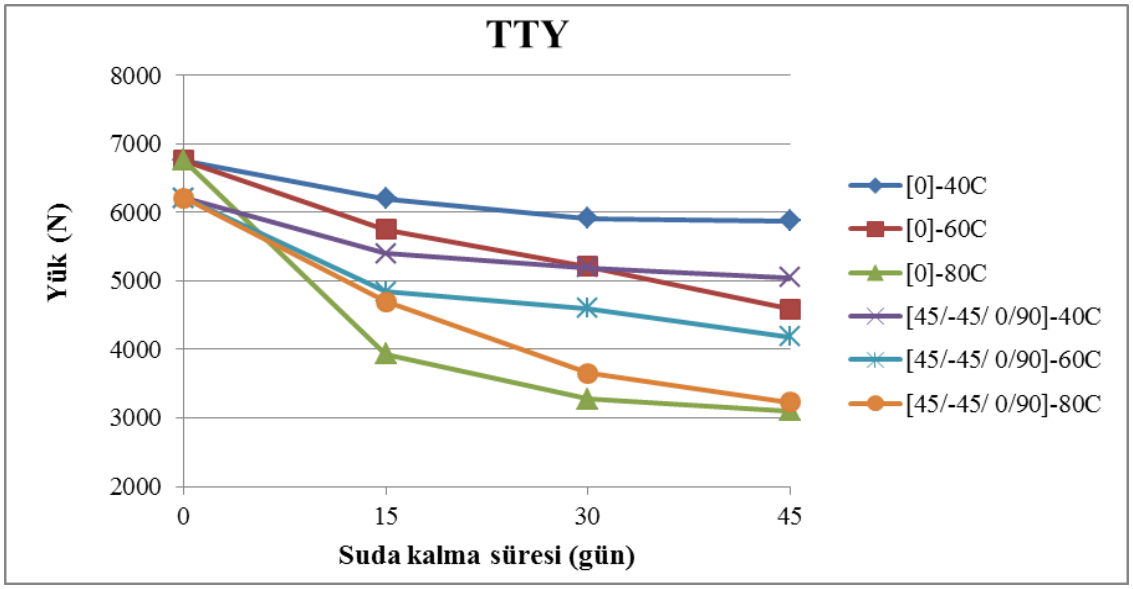
Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.11. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 12.99 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.11. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %3.96 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.11. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %2.70 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.11. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla

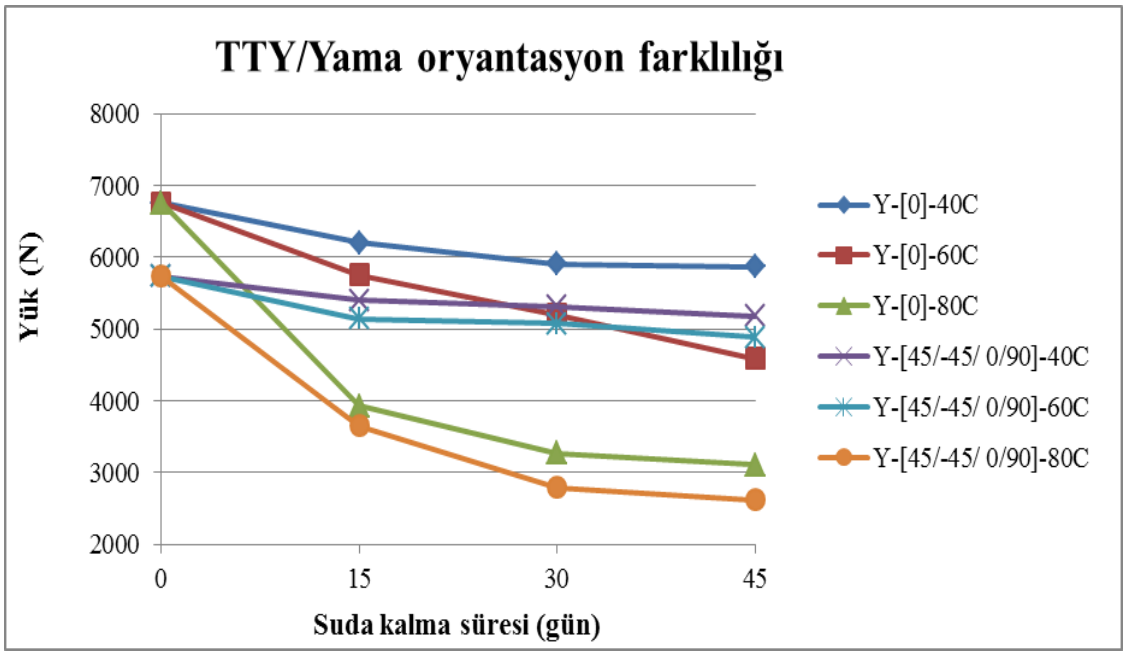
%21.98 ve %10.33 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.11. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %5.14 ve %11.44 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.11. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %8.98 ve %17.16 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun [45^0/-45^0/0^0/90^0]$_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.11. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %24.35, %3.03 ve %13.05 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.11. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %22.22, %20.49 ve %29.58 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.11. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %11.66, %22.83 ve %36.07 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun [0^0]$_8$ olduğu numunelerin kuru halinde elde edilen maksimum hasar yük değerinin, levha ve yama fiber oryantasyonunun [45^0/-45^0/0^0/90^0]$_s$ olduğu numunelerden elde edilen değere göre % 8.86, levha fiber oryantasyonunun [0^0]$_8$ ve yama fiber oryantasyonunun [45^0/-45^0/0^0/90^0] olduğu numunelerden elde edilen değere göre ise %17.89 oranlarında daha fazla elde edildiği tespit edilmiştir.



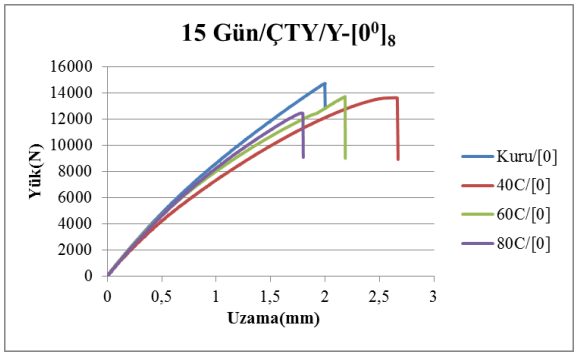
Şekil 4.12. Tek tesirli yamalı bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği



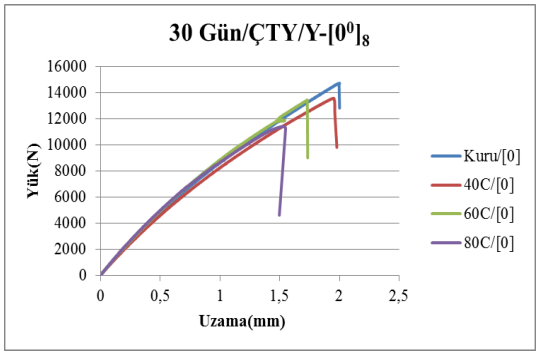
Şekil 4.13. Tek tesirli yamalı bağlantılı yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'te görüldüğü gibi tüm geometrilere ait numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık değerleri artıkça, hasar yük değerleri azalmaktadır.

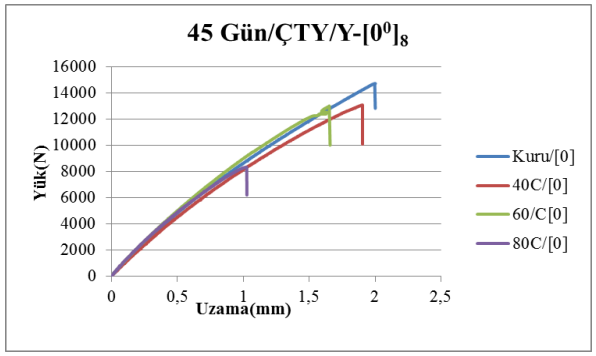
4.2.2. Çift Tesirli Yamalı Bağlantılı Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Numunelerin Deney Sonuçları



(a) 15 Gün



(b) 30 Gün



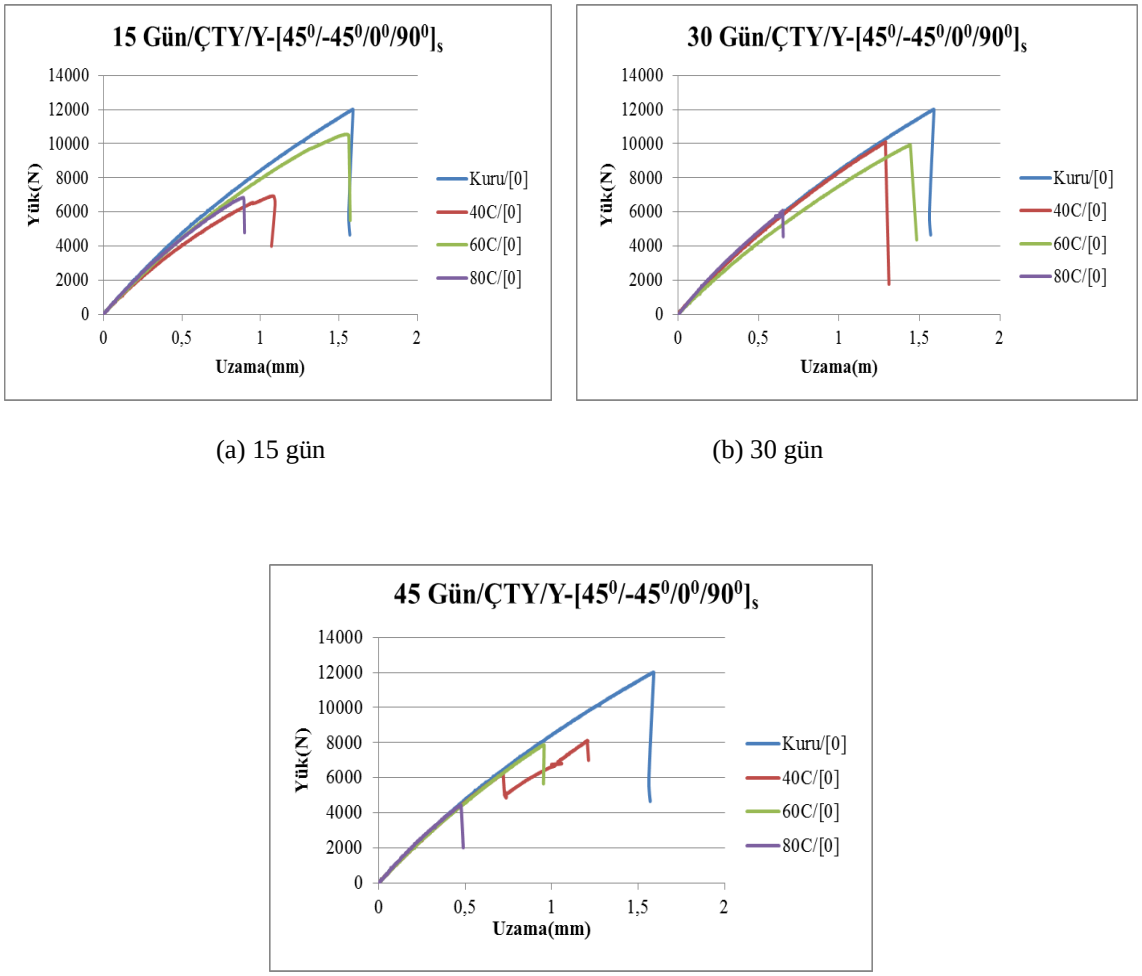
(c) 45 gün

Şekil 4.14. (a,b,c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.14. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 7.38 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.14. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %0.53 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.14. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %3.75 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.14. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %6.76 ve %0.60 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.14. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %2.01 ve %1.93 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.14. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.26 ve %1.43 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.14. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %15.32, %9.12 ve %8.57 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.14. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %7.33, %14.05 ve %15.71 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.14. c) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %27.89, %35.93 ve %36.85 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün

(b) 30 gün

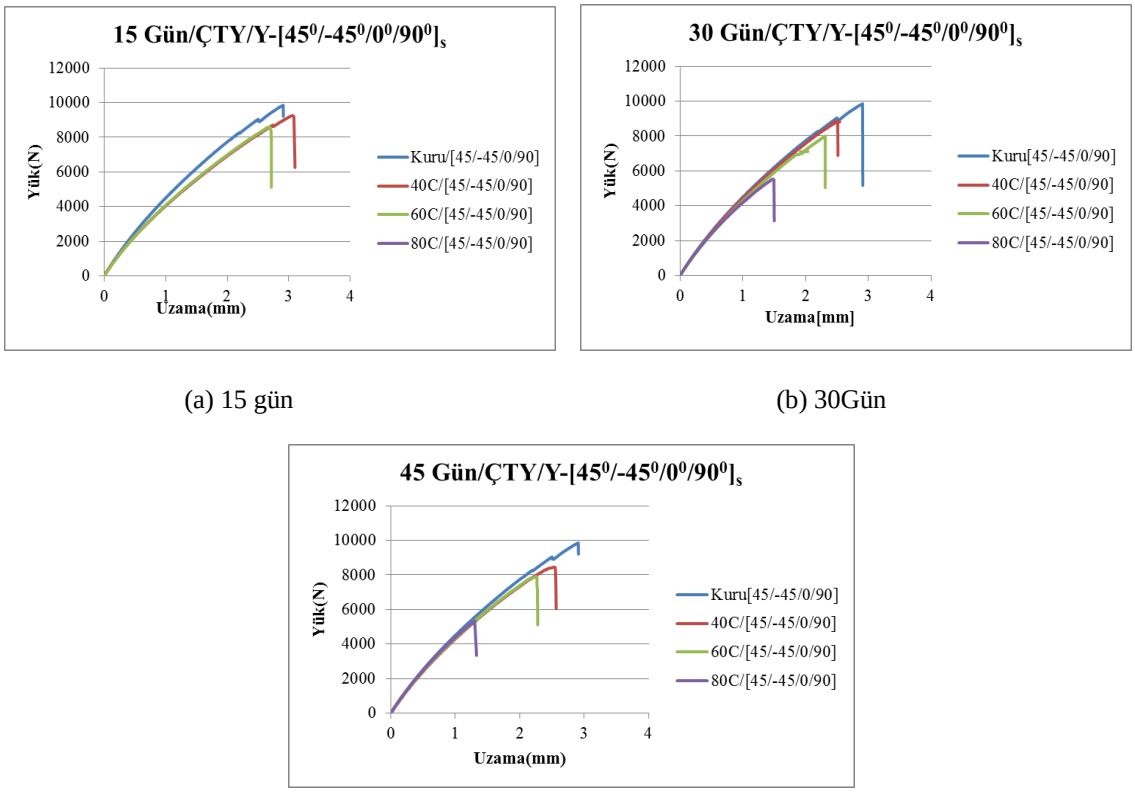
(c) 45 gün

Şekil 4.15. (a, b, c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha $[0^0]_8$ ve yama $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

Çift tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.15. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 9.03 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.15. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %10.18 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.15. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %0.75 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.15. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %15.37 ve %6.96 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.15. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %5.75 ve %2.40 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.15.c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %20.70 ve %22.02 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.15. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %44.83, %34.81 ve %39.35 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.15. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %11.32, %38.65 ve %40.12 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.15. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %27.22, %43.69 ve %56.09 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün (b) 30Gün

(c) 45 gün

Şekil 4.16. (a,b,c) Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama [45^0/-45^0/ 0^0/90^0]$_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

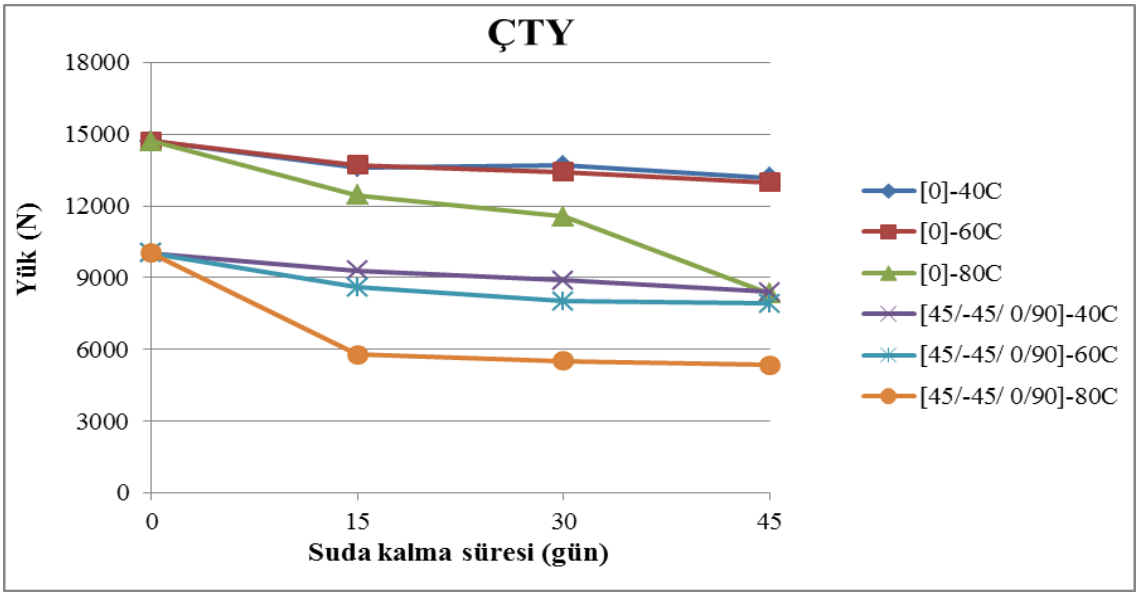
Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun [45^0/-45^0/0^0/90^0]$_s$ olduğu numunelerin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.16. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 7.13 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.16. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %4.51 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.16. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %5.37 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun [45^0/-45^0/0^0/90^0]$_s$ olduğu numunelerin; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.16. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %14.26 ve %7.68 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil

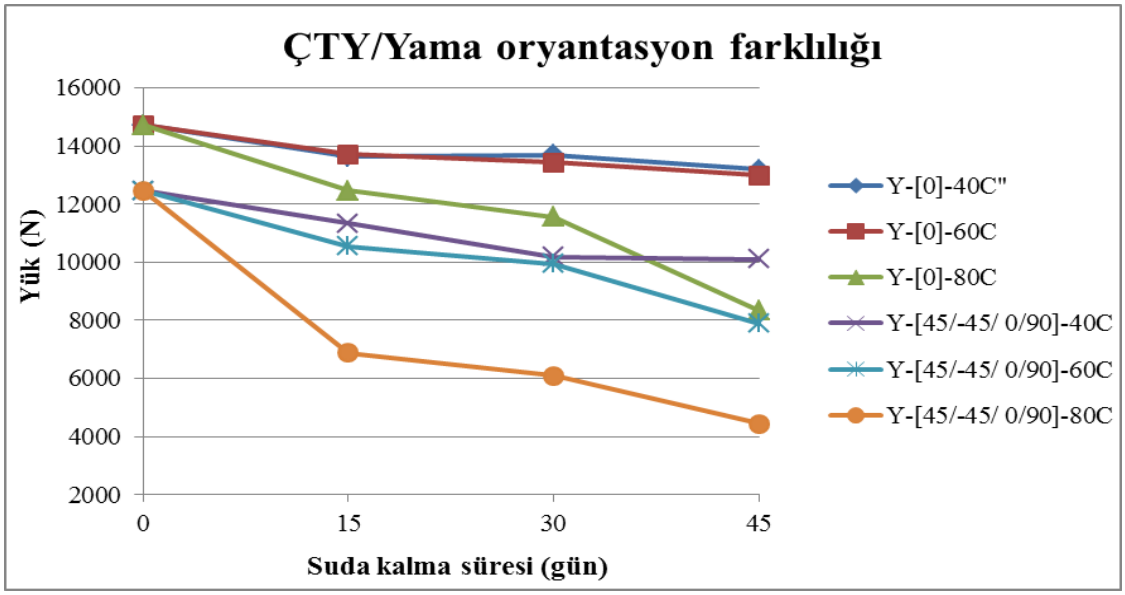
4.16. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %6.88 ve %9.97 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.16. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %1.06 ve %5.87 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.16. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %42.20, %32.59 ve %37.77 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.16. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %4.62, %30.95 ve %37.83 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.16. c) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.39, %32.58 ve %36.54 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin kuru halinde elde edilen maksimum hasar yük değerinin, levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerden elde edilen değere göre % 46.78, levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]$ olduğu numunelerden elde edilen değere göre ise %18.04 oranlarında daha fazla gerçekleştiği tespit edilmiştir.



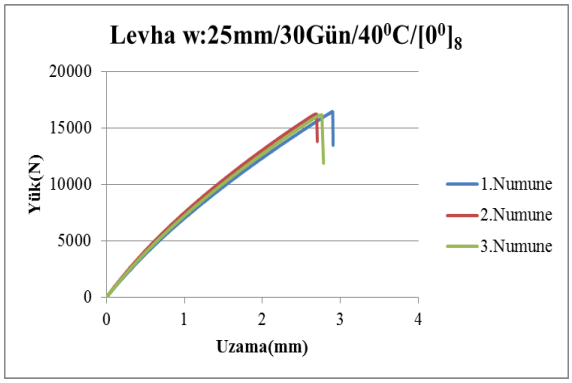
Şekil 4.17. Çift tesirli yamalı bağlantılı numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

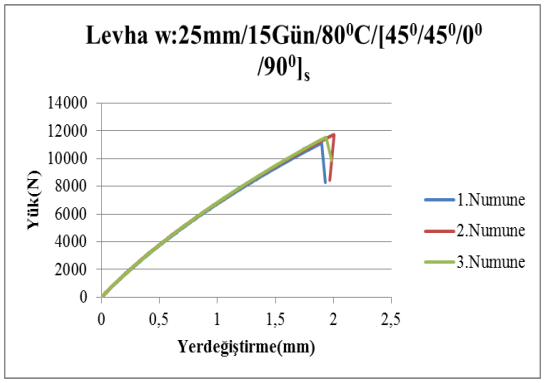


Şekil 4.18. Çift tesirli yamalı bağlantılı yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ olan numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'te görüldüğü gibi çift tesirli yamalı numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık değerleri artıkça, hasar yük değerleri azalmaktadır.

4.3. Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozit Levhaların Deney Sonuçlar

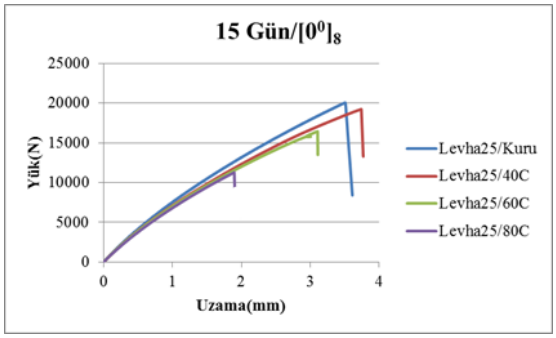


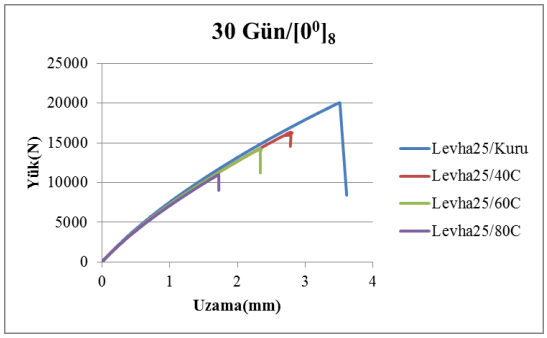


(a) (b)

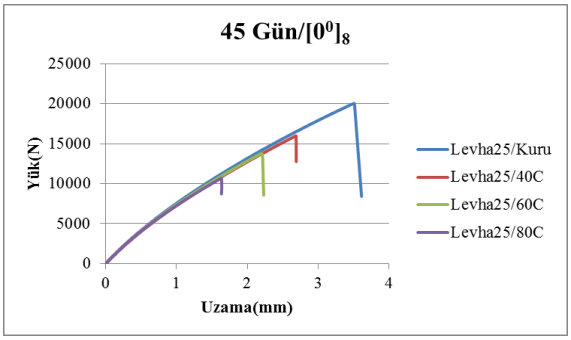
Şekil 4.19. Farklı oryantasyona ait levhanın yük-uzama grafiği a) 30 gün 40 ^{0}C b) 15 gün 80 ^{0}C

Şekil 4.19. (a) ve Şekil 4.19 (b)' de görüldüğü gibi çekme testine tabi tutulan her üç numunenin yük-uzama grafikleri görülmektedir. Bu numunelerin maksimum hasar yük değerlerinin ortalaması alınarak Çizelge 4.1. aktarılmıştır.





(a) 15 gün (b) 30 gün



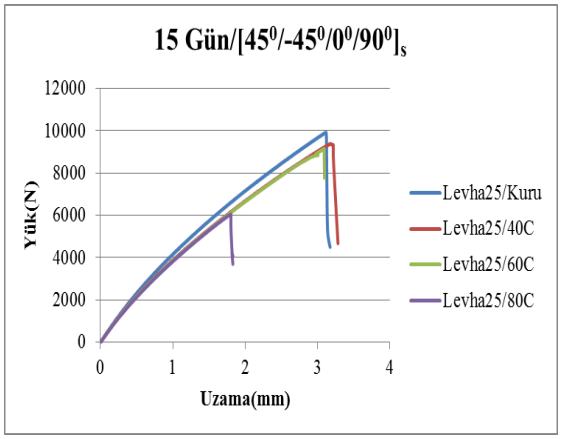
(c) 45 gün

Şekil 4.20. (a,b,c) Levha-25 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

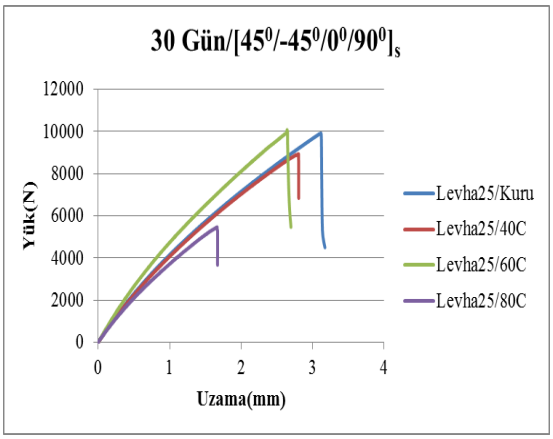
Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan levhanın (25 mm); kuru halinde elde edilen hasar yük değerinin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.20. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 3.43 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.20. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %15.87 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.20. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %1.86 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan levhanın; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.20. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %17.95 ve %15.03 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.20. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %13.00 ve %12.13 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.20. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %2.98 ve %13.13 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

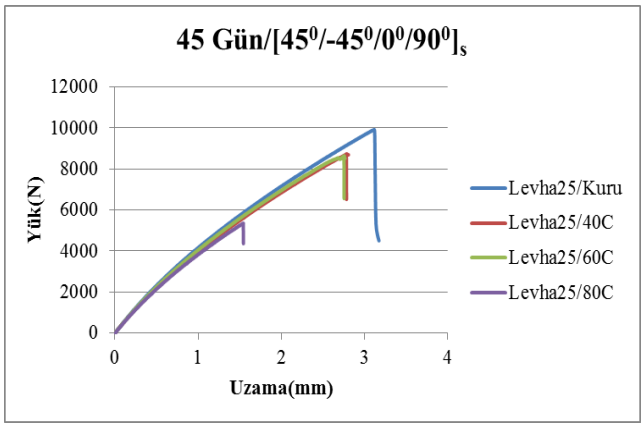
Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan levhanın; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.20. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %42.76, %30.24 ve %40.73 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.20. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.94, %22.98 ve %32.33 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.20. c) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %2.92, %22.94 ve %33.06 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün



(b) 30 gün



(c) 45 gün

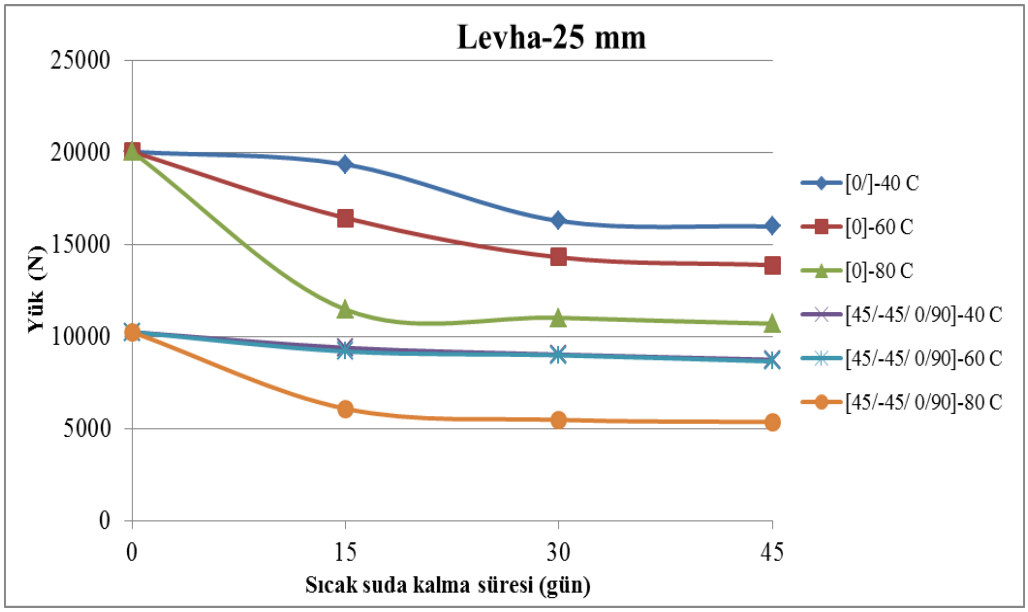
Şekil 4.21. (a.b,c) Levha-25 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama Grafiği

Fiber oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan levhanın; kuru halinde elde edilen hasar yük değerinin; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.21. a) bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre % 8.35 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.21. b) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin, 15 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %3.93 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.21. c) sıcak suda bekletilen numunelerin hasar yük değerlerinin ise 30 gün sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen değere göre %3.11 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Fiber oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan levhanın; 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.21. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %10.32 ve %2.14 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.21. b) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %2.22 ve %0.40 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.21. c) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün süre ile ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %3.74 ve %1.06 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

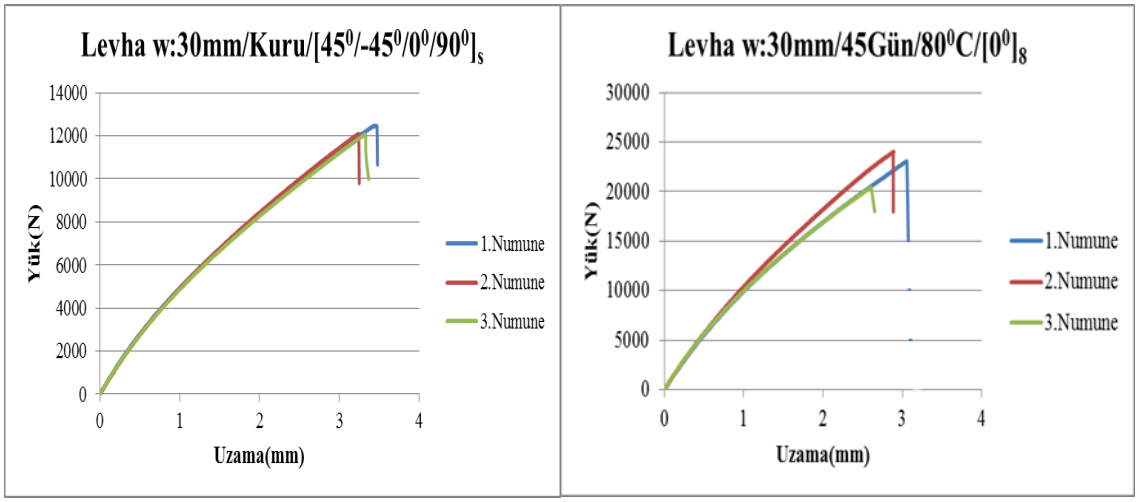
Fiber oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan levhanın; 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.21. a) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, kuru numuneden, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %40.69, %33.87 ve %35.28 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 30 gün (Şekil 4.21. b) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 15 gün süre, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 30 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %9.99, %39.12 ve %39.37 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün (Şekil 4.21. c) süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, aynı sıcaklıkta 30 gün sure, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %2.07, %38.07 ve %38.72 oranlarında düştüğü tespit edilmiştir.

Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan levhanın kuru halinden elde edilen maksimum hasar yükünün, fiber oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan levhadan elde edilen maksimum hasar yüküne göre %95.63 oranında fazla elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4.22. Levha-25 mm numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

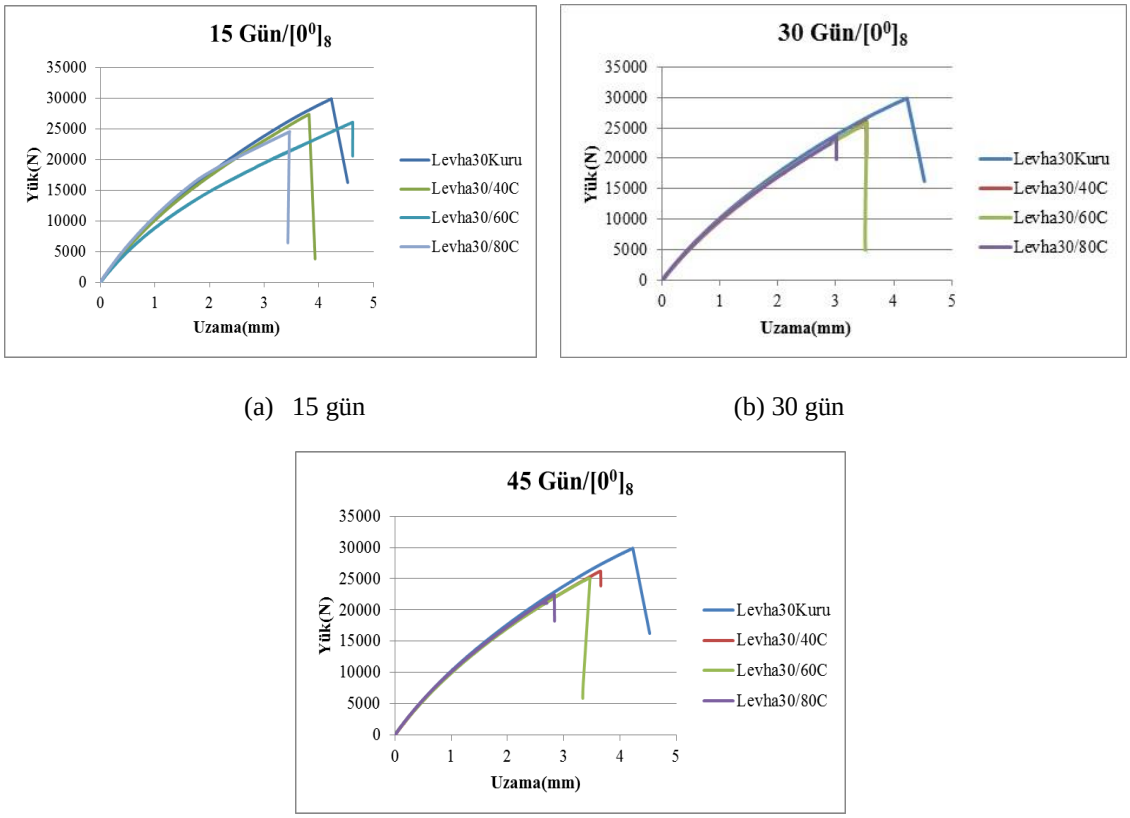
Şekil 4.22.'te görüldüğü gibi numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık değeri artıkça, hasar yükü değeri azalmaktadır.



(a) (b)

Şekil 4.23. Farklı oryantasyona ait levhanın yük-uzama grafiği a) Kuru b) 45 gün 80 ^{0}C

Şekil 4.23. (a) ve Şekil.4.23 (b)' de görüldüğü gibi çekme testine tabi tutulan her üç numunenin yük-uzama grafikleri görülmektedir.



(a) 15 gün (b) 30 gün

(c) 45 gün

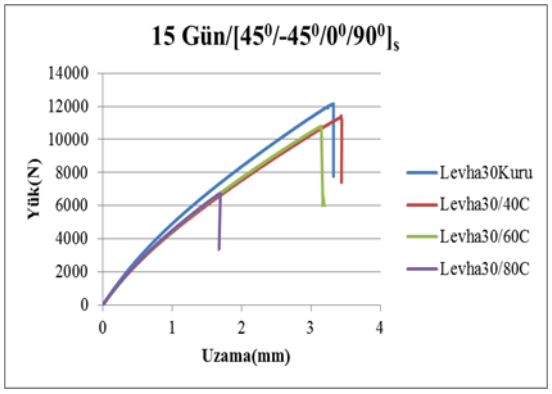
Şekil 4.24. (a,b,c) Levha-30 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

$[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip levha (30 mm); 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.24. a) sure bekletildiğinde elde edilen hasar yükünün, kuru numunelerden elde edilen hasar yüküne göre % 8.31 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.24. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %3.88 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.24. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %0.23 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

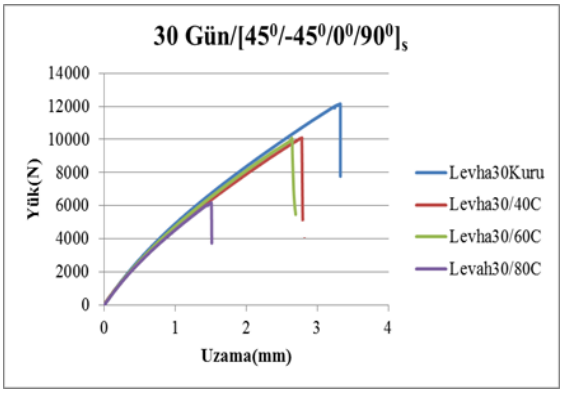
$[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip levha (30 mm); 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.24. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %12.57 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.24. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %0.84

oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.24. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %2.82 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

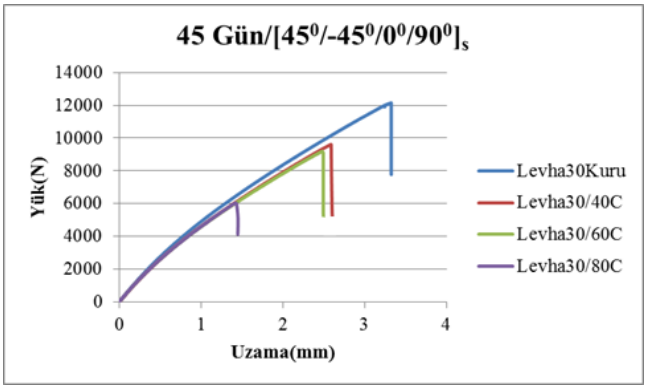
$[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip levha (30 mm); 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.24. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %17.69 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.24. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %4.33 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.24. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %4.14 oranında düştüğü tespit edilmiştir.



(a) 15 gün



(b) 30 gün



(c) 45 gün

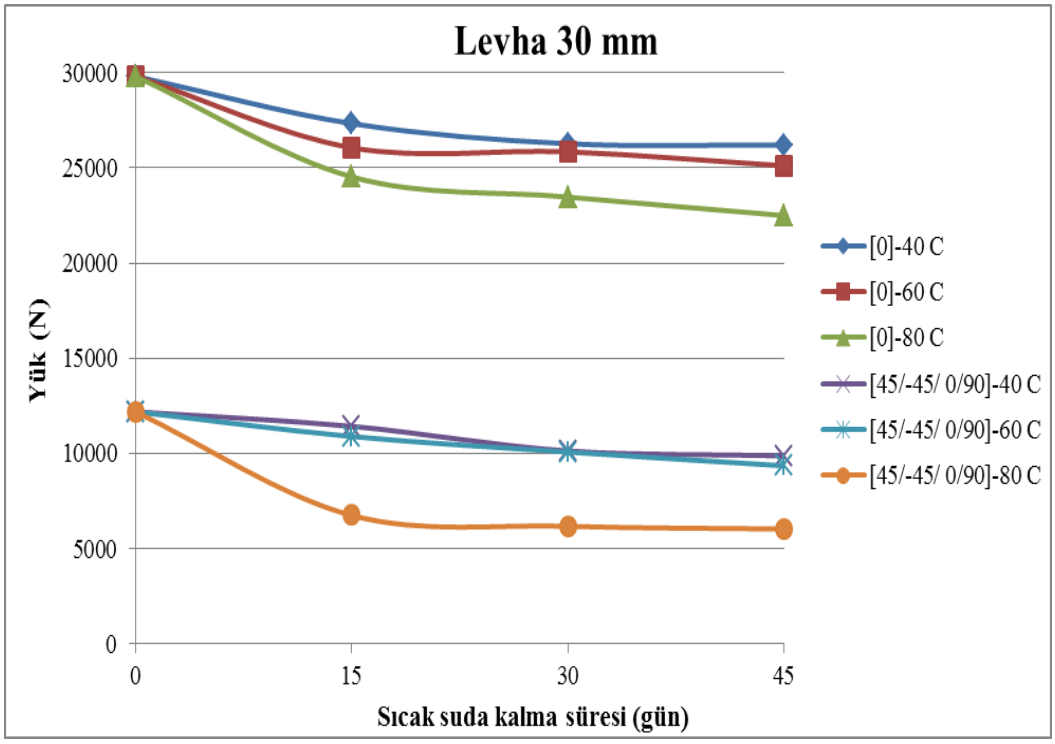
Şekil 4.25. Levha-30 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin yük-uzama grafiği

$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip levha (30 mm); 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.25. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %6.26 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.25. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %11.30 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.25. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %2.50 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip levha (30 mm); 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.25. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %10.65 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.25. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %7.49 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.25. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %7.13 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip levha (30 mm); 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün (Şekil 4.25. a) süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerleri, kuru numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %44.60 oranında düştüğü elde edilmiştir. 30 gün (Şekil 4.25. b) sıcak suda bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerinin, 15 gün sıcak suda bekleyen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre %8.47 oranında düştüğü tespit edilmiştir. 45 gün (Şekil 4.25. c) sıcak suda bekletilen numunelerde elde edilen hasar yük değerinin, 30 gün sıcak suda bekleyenlere göre ise %2.30 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

$[0^0]_8$ oryantasyona sahip levha (30 mm), kuru halde elde edilen hasar yükünün, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip levha (30 mm)'dan elde edilen hasar yüküne göre %144.38 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.26. Levha-30 mm numunelerin sıcak suda bekleme sürelerine göre hasar yük grafiği

Şekil 4.26.'te görüldüğü gibi numunelerin suda kalma süresi ve sıcaklık değeri artıkça hasar yükü değeri azalmaktadır.

4.4. Cam Fiber Takviyeli Epoksi Kompozitlerin Nem Emilim Oranları

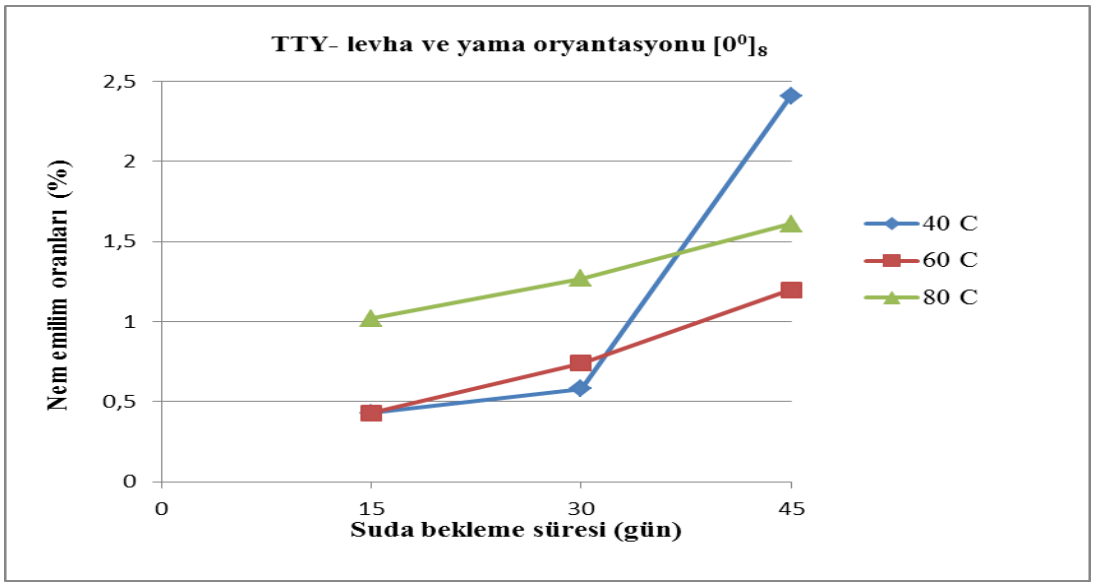
Bu bölümde cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerin ilk ağırlıkları, suda bekleme süresi sonundaki ağırlıkları ve numunenin toplam nem giriş oranı alınmış olup, her numune için hesaplanmıştır. Numunelerin ortalama değerleri, yüzdelik olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.' te aktarılmış ve grafiklere dökülerek karşılaştırılmıştır.

4.4.1. Tek Tesirli ve Çift Tesirli Yamalı Numunelerin ve Levhaların Nem Emilim Oranları

Yapılan deneysel çalışmada ölçümler sonrası elde edilen veriler Çizelge 4.3.'e aktarılmıştır.

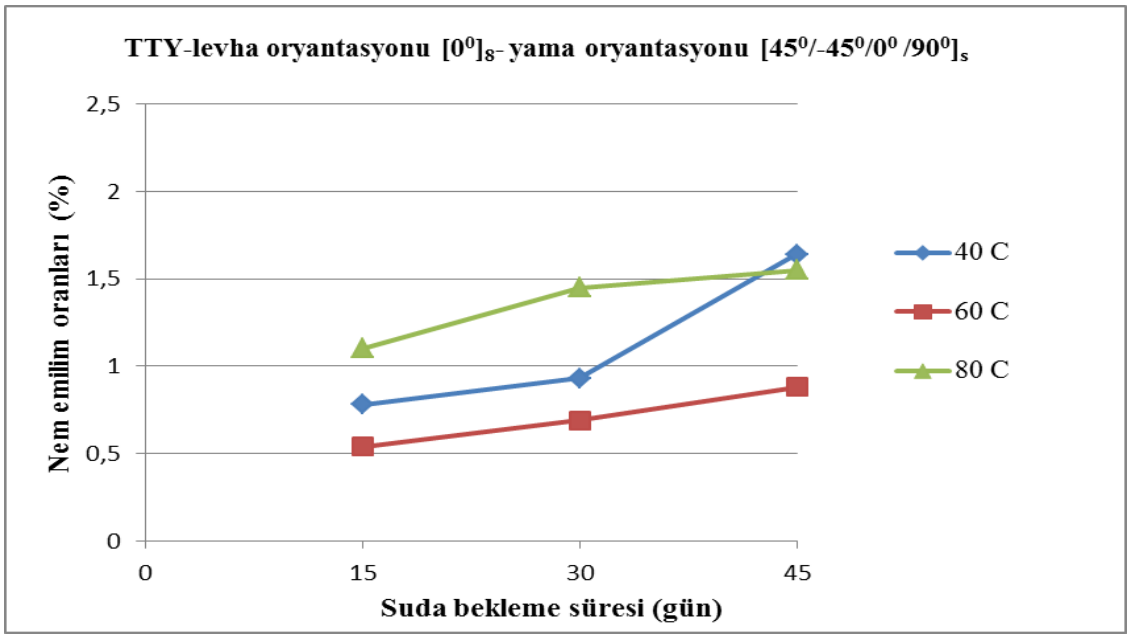
Çizelge 4.3. Tek tesirli ve çift tesirli yamalı numunelerin ve levhaların sıcak su derecesine ve sıcak suda kalma süresine bağlı olarak olarak nem emilim oranları

Numune geometrisi			**TTY**			**ÇTY**			**Levha(25mm)**	
Levha oryantasyonu			**$[0^0]_8$**		**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[0^0]_8$**		**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[0^0]_8$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**
Yama oryantasyonu			$[0^0]_8$	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[0^0]_8$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	------- ---	----------
40 ^{0}C	**15 gün**	**kuru**	21.07	20.46	14.61	24.99	23.45	17.06	17.79	12.66
		su	21.16	20.62	14.84	25.11	23.56	17.37	17.92	12.86
		%	0.43	0.78	1.57	0.48	0.47	1.82	0.73	1.58
	30 gün	**kuru**	20.86	20.40	14.60	23.93	23.08	17.05	17.78	12.7
		su	20.98	20.59	14.85	24.12	23.26	17.41	17.96	12.95
		%	0.58	0.93	1.71	0.79	0.78	2.11	1.01	1.97
	45 gün	**kuru**	21.16	20.09	14.53	23.40	22.70	17.26	17.92	12.88
		su	21.67	20.42	14.82	23.65	22.9	17.68	18.12	13.15
		%	2.41	1.64	2.00	1.07	0.88	2.43	1.11	2.10
60 ^{0}C	**15 gün**	**kuru**	20.89	20.42	14.84	24.92	23.90	17.53	17.88	12.80
		su	20.98	20.53	15.06	25.01	24.03	17.95	18.02	12.94
		%	0.43	0.54	1.48	0.36	0.54	2.40	0.78	1.09
	30 gün	**kuru**	21.57	20.30	14.72	24.43	23.38	17.77	17.86	11.93
		su	21.73	20.44	15.10	24.54	23.54	18.21	18.08	12.15
		%	0.74	0.69	2.58	0.45	0.68	2.48	1.23	1.84
	45 gün	**kuru**	20.85	20.27	14.94	24.58	22.86	17.05	17.93	12.08
		su	21.10	20.45	15.33	24.77	23.03	17.53	18.16	12.33
		%	1.20	0.88	2.61	0.77	0.74	2.82	1.28	2.07
80 ^{0}C	**15 gün**	**kuru**	21.51	20.99	14.79	24.79	22.76	17.64	18.22	12.06
		su	21.73	21.22	15.39	25.04	22.96	18.12	18.57	12.43
		%	1.02	1.10	4.06	1.01	0.88	2.72	1.92	3.07
	30 gün	**kuru**	21.25	20.62	14.61	24.27	23.24	17.50	17.87	11.35
		su	21.52	20.92	15.25	24.59	23.56	18.12	18.23	11.72
		%	1.27	1.45	4.38	1.32	1.38	3.54	2.01	3.26
	45 gün	**kuru**	21.76	20.59	14.84	24.52	23.09	17.76	18.23	11.91
		su	22.11	20.91	15.52	24.87	23.48	18.40	18.60	12.33
		%	1.61	1.55	4.58	1.43	1.69	3.60	2.03	3.53



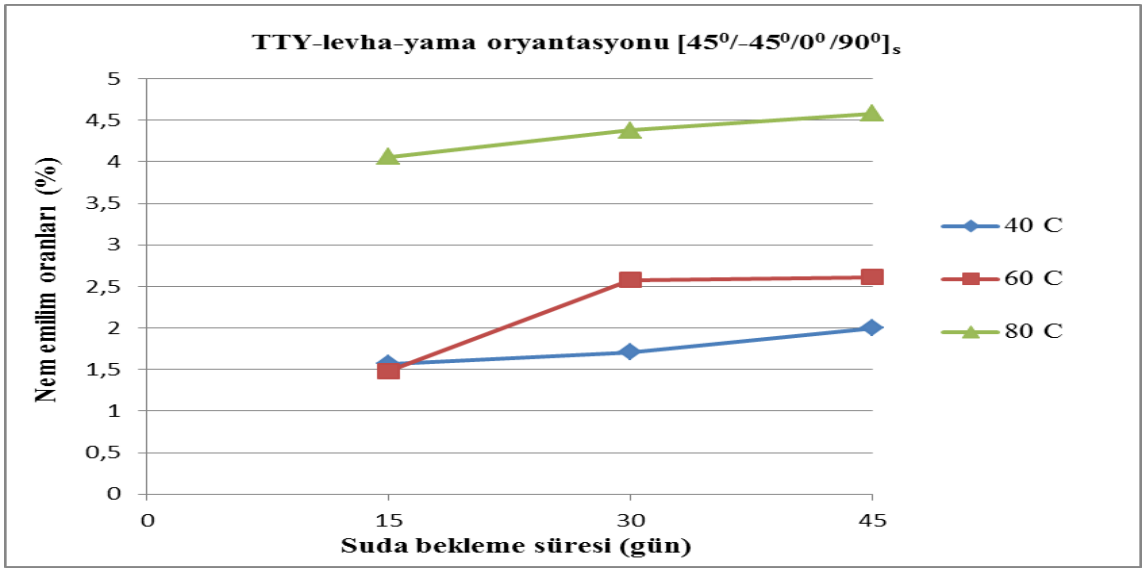
Şekil 4.27. TTY levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları (%)

Tek tesirli yamalı levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numuneler 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletildikten sonra numunelerin % 0.43 oranında ağırlık artışı olduğu tespit edilmiştir. Bu değer 30 gün ve 45 gün süreler sonunda %0.58 ve %2.41 oranlarına ulaşmıştır. Aynı numunede 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletildiğinde oranın değişmediği, 30 gün ve 45 gün süreler sonunda ise %0.74 ve %1.20 oranlarına ulaşmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletildiğinde ise %1.02 oranında, 30 gün ve 45 gün süreler sonunda ise %1.27 ve %1.61 oranlarında artış sağladığı hesaplanmıştır. Dolayısıyla her numunenin suya konulmadan önceki ağırlığına göre sudan çıkarıldıktan sonraki ağırlığının arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.27.).



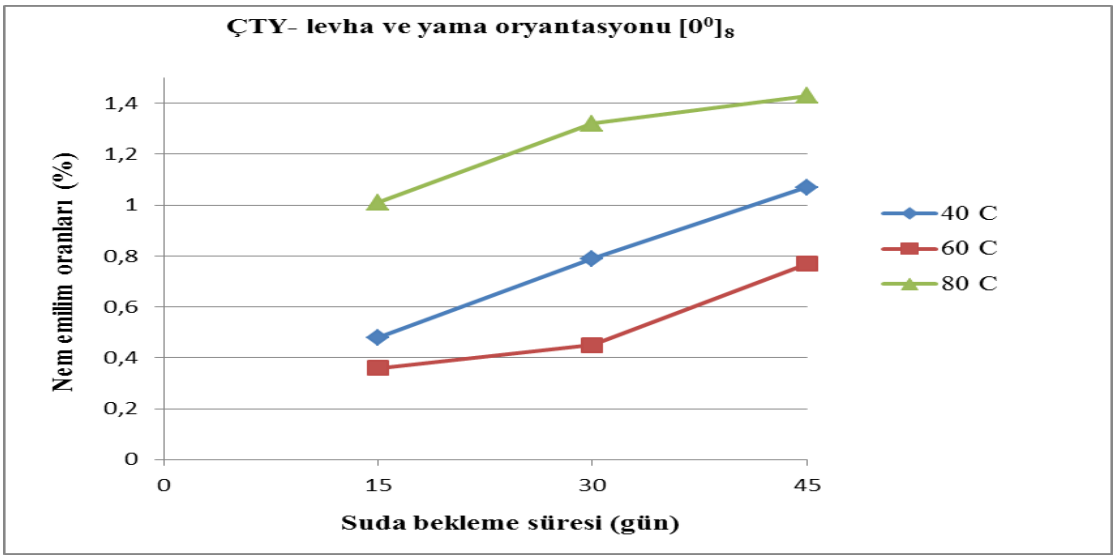
Şekil 4.28. TTY levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Tek tesirli yamalı levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında sırasıyla %0.78, %0.93, %1.64 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında %0.54, %0.69, %0.88 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise ağırlıkların %1.10, %1.45, %1.55 oranlarında artış sağladığı hesaplanmıştır (Şekil 4.28.).



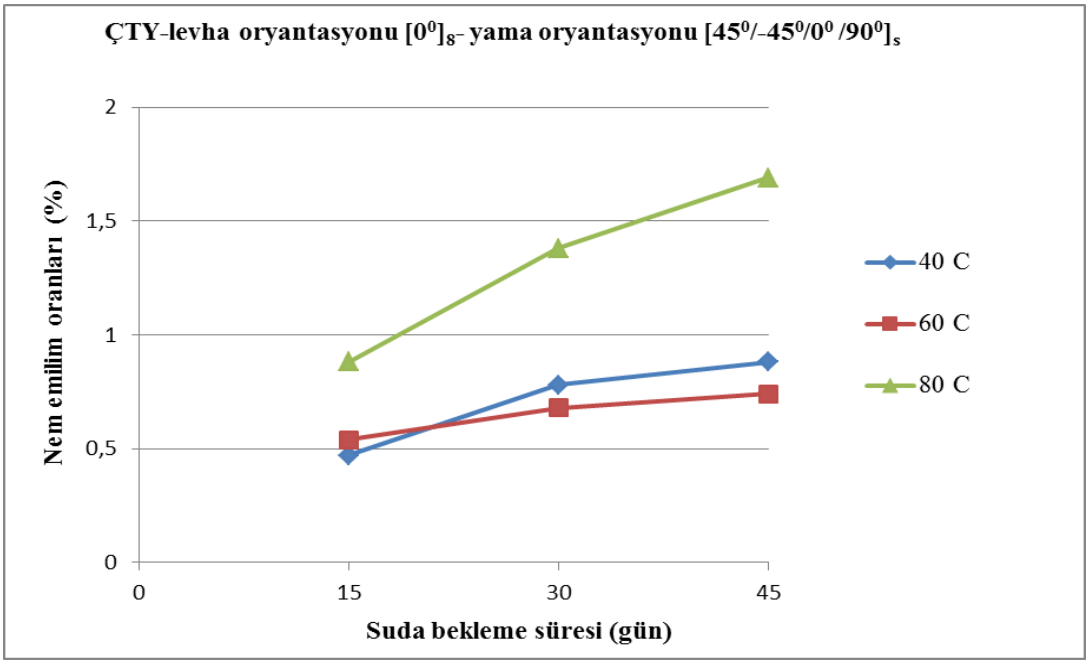
Şekil 4.29. TTY levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda sürelerine göre emilim miktarları.

Tek tesirli yamalı levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında sırasıyla %1.57, %1.71, %2.00 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, elde edilen artış oranları %1.48, %2.58, %2.61 olduğu hesaplanmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiğinde ise bu oranların %4.06, %4.38, %4.58 olarak artış gösterdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.29.).



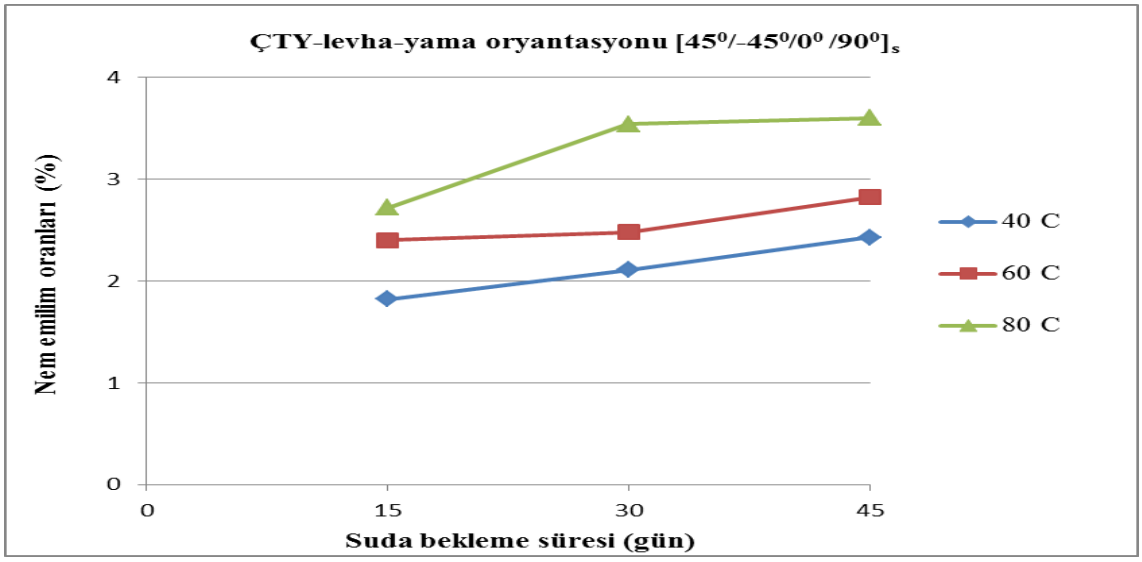
Şekil 4.30. ÇTY levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Çift tesirli yamalı levha ve yama oryantasyonu $[0^0]_8$ olan numuneler; 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün,30 gün, 45 gün süre ile bekletildikten sonra numunelerin ağırlıklarında sırasıyla, %0.48, %0.79 ve %1.07 oranında artış olduğu hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildiğinde ise %0.36 ,%0.45 ve %0.77 oranlarına ulaşmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süreler sonunda ise ağırlıklar %1.01, %1.32 ve %1.43 oranlarında artış sağlamışlardır. Dolayısıyla her numunenin sudan çıkarıldıktan sonraki ağırlıklarında artış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.30.).



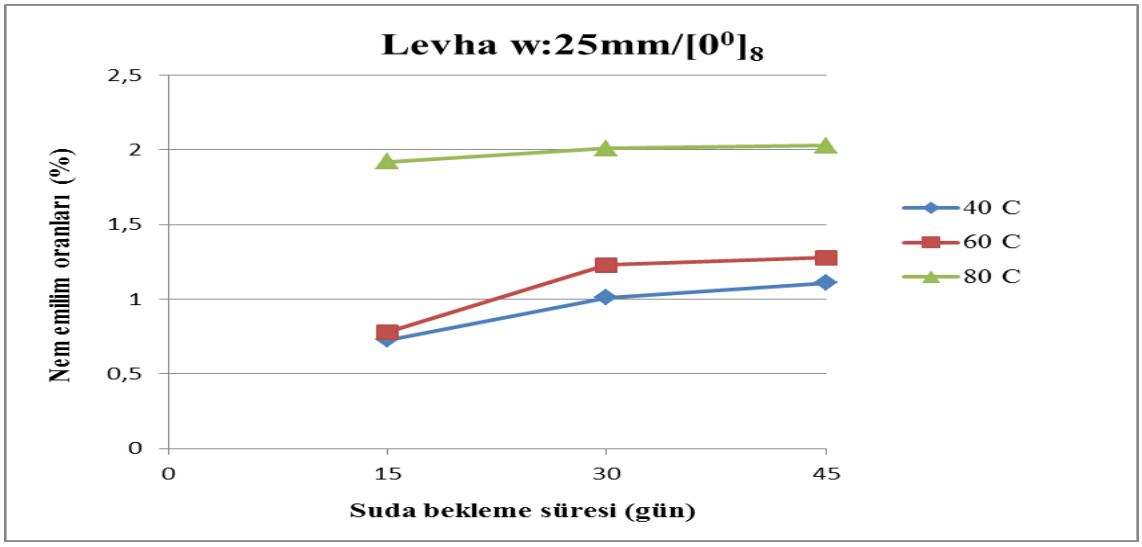
Şekil 4.31. ÇTY levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Çift tesirli yamalı levha oryantasyonu $[0^0]_8$ ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan numunelerin ağırlıklarının, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, sırasıyla %0.47, %0.78, %0.88 oranlarında artış sağladığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarının %0.54, %0.68, %0.74 oranlarında artış gösterdiği tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise ağırlıkların %0.88, %1.38, %1.69 oranlarında artış sağladığı hesaplanmıştır (Şekil 4.31.).



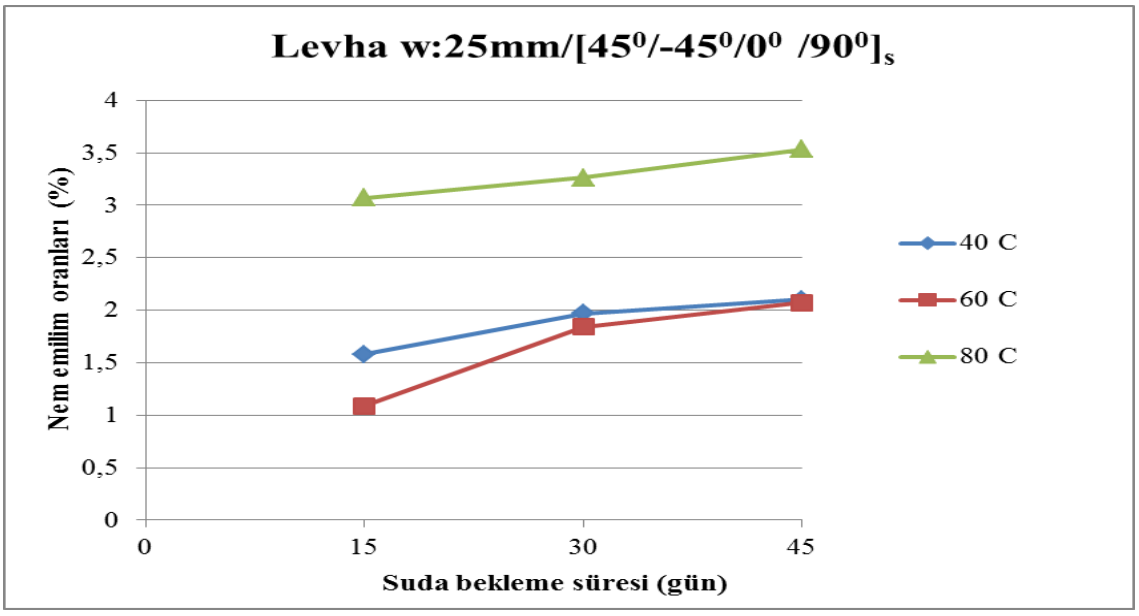
Şekil 4.32. ÇTY levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Çift tesirli yamalı levha ve yama oryantasyonu $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ olan numunelerin, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında sırasıyla %1.82, %2.11, %2.43 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, elde edilen artış oranları %2.40, %2.48, %2.82 olarak hesaplanmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiğinde ise bu oranların %2.72, %3.54, %3.60 olarak artış gösterdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.32.).



Şekil 4.33. Levha-25 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

25 mm genişliğindeki $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip levhaların, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında sırasıyla %0.73, %1.01, %1.11 oranlarında artış olduğu hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, elde edilen artış oranları %0.78, %1.23, %1.28 olarak hesaplanmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiğinde ise bu oranların %1.92, %2.01, %2.03 olarak artış gösterdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.33.).



Şekil 4.34. Levha-25 mm $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

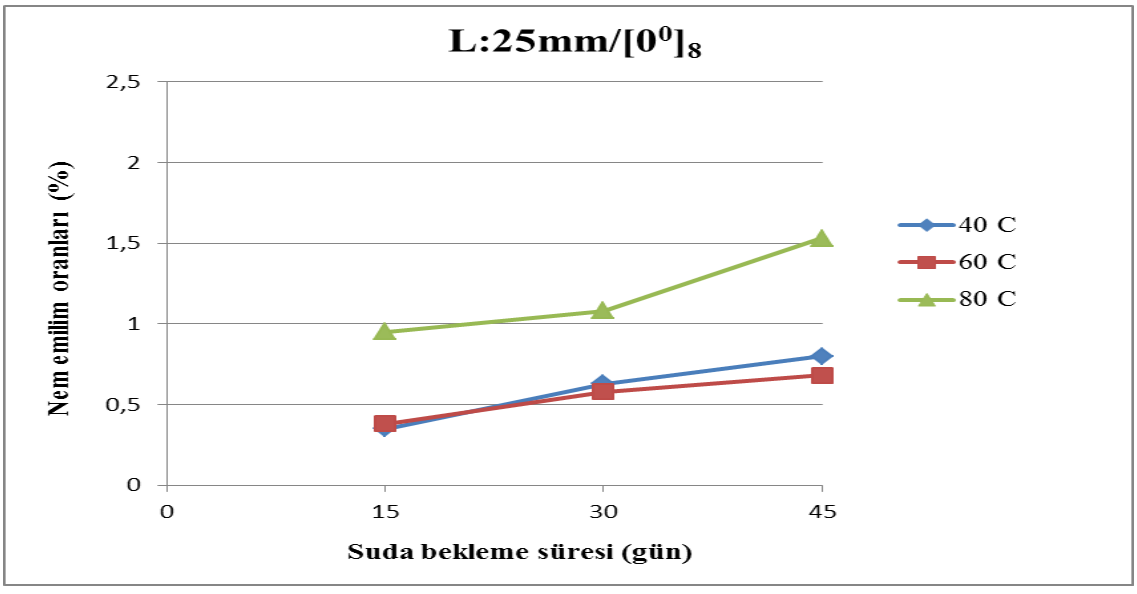
25 mm genişliğindeki $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip levhaların, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, ağırlıkların sırasıyla %1.58, %1.97, %2.10 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların %1.09, %1.84, %2.07 olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %3.07, %3.26 ve %3.53 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.34.).

4.4.2. Tek Tesirli Bindirme Bağlantılı Numunelerin ve Levhaların Nem Emilim Oranları

Yapılan deneysel çalışmada ölçümler sonrası elde edilen veriler Çizelge 4.4.'e aktarılmıştır.

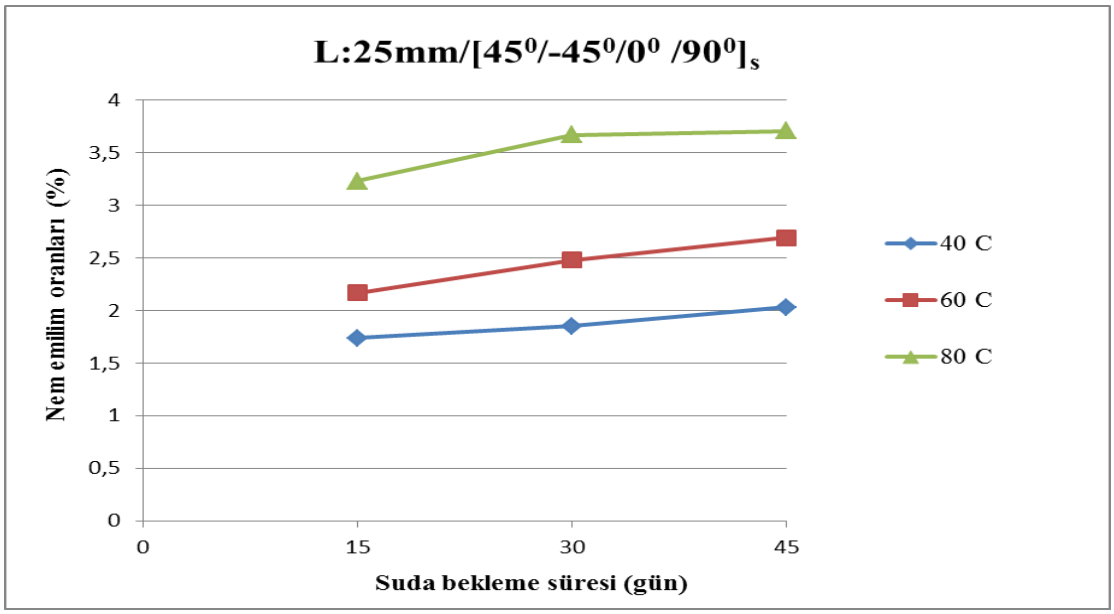
Çizelge 4.4. Tek tesirli bindirme bağlantılı numunelerin ve levhaların sıcak su derecesine ve sıcak suda kalma süresine bağlı olarak olarak nem emilim oranları

Numune geometrisi			**Bindirme uzunluğu:25mm**		**Bindirme uzunluğu:35mm**		**Levha:30mm**	
Levha oryantasyonu			**$[0^0]_8$**	**$[45^0/45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[0^0]_8$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**	**$[0^0]_8$**	**$[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$**
40 ^{0}C	**15 gün**	**Kuru**	25.65	16.09	27.55	16.95	22.01	12.65
		su	25.74	16.37	27.71	17.22	22.09	12.83
		%	0.35	1.74	0.58	1.59	0.36	1.42
	30 gün	**kuru**	25.54	16.73	28.60	18.23	20.72	12.93
		su	25.70	17.04	28.80	18.56	20.87	13.16
		%	0.63	1.85	0.70	1.81	0.72	1.78
	45 gün	**kuru**	26.36	16.28	27.14	17.27	23.00	12.98
		su	26.57	16.61	27.34	17.59	23.21	13.25
		%	0.80	2.03	0.74	1.85	0.91	2.08
60 ^{0}C	**15 gün**	**kuru**	26.15	16.62	27.7	18.45	22.65	13.53
		su	26.25	16.98	27.80	18.68	22.74	13.67
		%	0.38	2.17	0.36	1.25	0.40	1.03
	30 gün	**kuru**	25.84	16.51	28.85	17.60	22.27	13.23
		su	25.99	16.92	29.20	17.85	22.41	13.41
		%	0.58	2.48	1.21	1.42	0.63	1.36
	45 gün	**kuru**	26.38	16.36	28.25	17.57	22.56	12.75
		su	26.56	16.80	28.72	17.91	22.74	12.93
		%	0.68	2.69	1.66	1.94	0.79	1.41
80 ^{0}C	**15 gün**	**kuru**	26.26	16.41	28.2	17.09	23.58	13.64
		su	26.51	16.94	28.54	17.68	23.87	14.07
		%	0.95	3.23	1.21	3.45	1.23	3.15
	30 gün	**kuru**	25.83	16.89	28.14	17.39	22.43	12.73
		su	26.11	17.51	28.49	18.01	22.71	13.20
		%	1.08	3.67	1.24	3.57	1.25	3.69
	45 gün	**kuru**	25.58	16.45	27.47	17.52	22.48	12.88
		su	25.97	17.06	27.91	18.17	22.81	13.37
		%	1.53	3.71	1.60	3.71	1.47	3.80



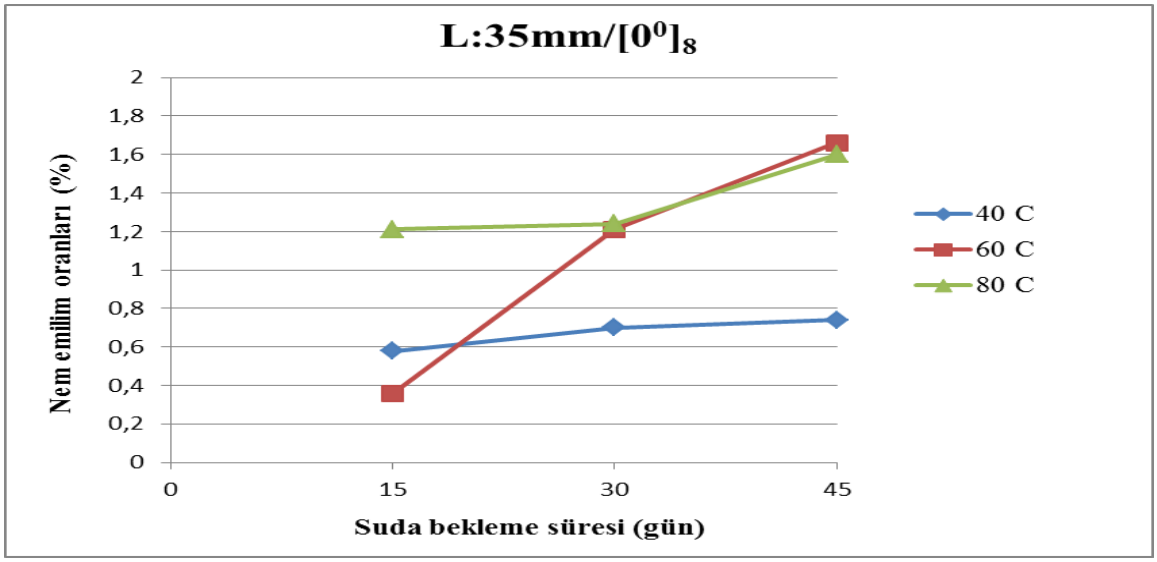
Şekil 4.35. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 25 mm) $[0^0]_8$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları. (%)

Tek tesirli bindirme bağlantılı, bindirme uzunluğu 25 mm olan, $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numuneler, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, elde edilen ağırlıkların sırasıyla %0.35, %0.63, %0.80 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların %0.38, %0.58, %0.68 olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %0.95, %1.08 ve %1.53 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.35.).



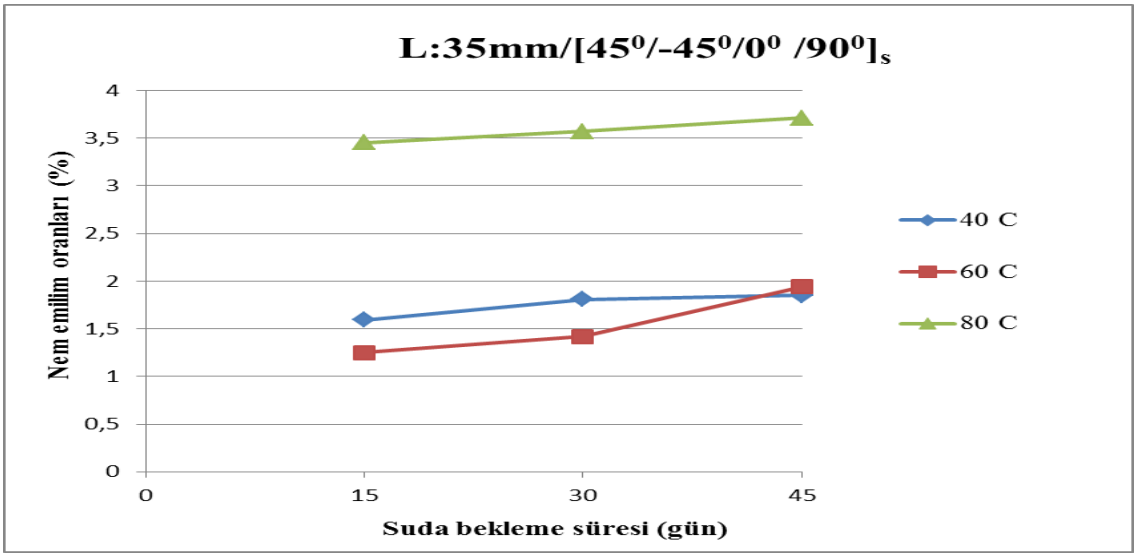
Şekil 4.36. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 25 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Tek tesirli bindirme bağlantılı, bindirme uzunluğu 25 mm olan, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonuna sahip numuneler, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, elde edilen ağırlıkların sırasıyla %1.74, %1.85, %2.03 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların %2.17, %2.48, %2.69 olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %3.23, %3.67 ve %3.71 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.36.).



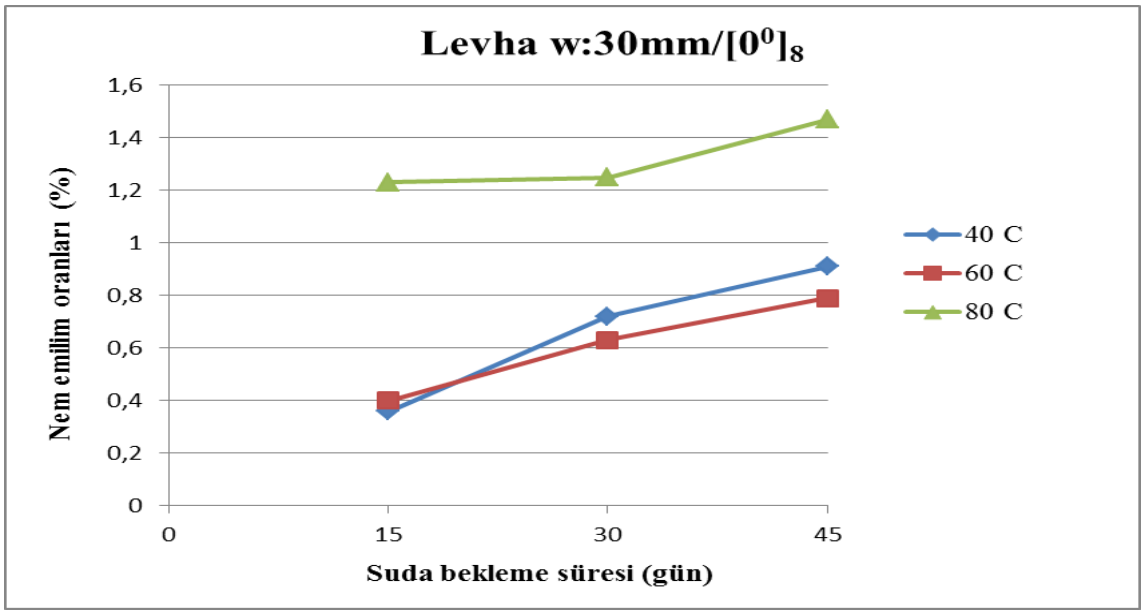
Şekil 4.37. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 35 mm) $[0^0]_8$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

Tek tesirli bindirme bağlantılı, bindirme uzunluğu 35 mm olan, $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numuneler, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, elde edilen ağırlıkların sırasıyla %0.58, %0.70, %0.74 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların %0.36, %1.21, %1.66 olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %1.21, %1.24 ve %1.60 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.37.).



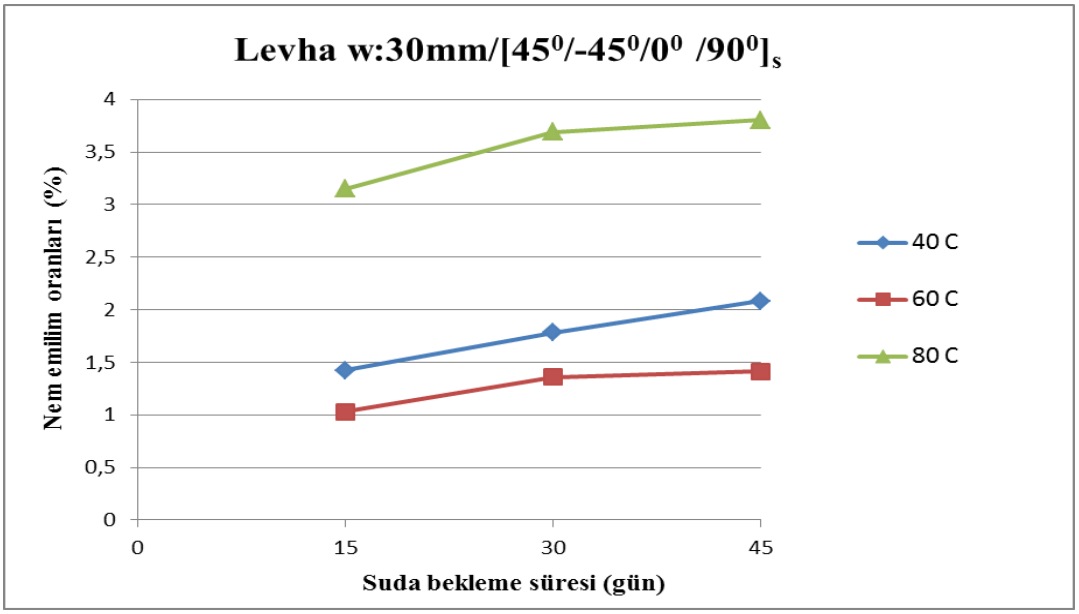
Şekil 4.38. Tek tesirli bindirme bağlantılı (Lap= 35 mm) $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyonu olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları

Tek tesirli bindirme bağlantılı, bindirme uzunluğu 35 mm olan, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numuneler, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, elde edilen ağırlıkların sırasıyla %1.59, %1.81, %1.85 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların %1.25, %1.42, %1.94 olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %3.45, %3.57 ve %3.71 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.38.).



Şekil 4.39. Levha-30 mm $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

30 mm genişliğindeki $[0^0]_8$ oryantasyonuna sahip levhaların, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, ağırlıklarında sırasıyla %0.36, %0.72, %0.91 oranlarında artış olduğu hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekledikten sonra, elde edilen artış oranları %0.40, %0.63, %0.79 olarak hesaplanmıştır. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiğinde ise bu oranların %1.23, %1.25, %1.47 olarak artış gösterdikleri tespit edilmiştir (Şekil 4.39.).



Şekil 4.40. Levha-30 mm [45^0 /-45^0/ 0^0/90^0]$_s$ oryantasyonuna sahip olan numunelerin suda bekleme sürelerine göre emilim miktarları.

30 mm genişliğindeki [45^0/-45^0/ 0^0/90^0]$_s$ oryantasyonuna sahip levhaların, 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletildikten sonra, ağırlıkların sırasıyla %1.42, %1.78, %2.08 oranlarında arttığı hesaplanmıştır. 60 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildikten sonra ise, ağırlıkların olarak arttığı tespit edilmiştir. 80 ^{0}C sıcak suda 15 gün, 30 gün ve 45 gün bekletildiği zaman bu oranların %3.15, %3.69 ve %3.80 olarak arttığı hesaplanmıştır (Şekil 4.40.).

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fiber takviye açısı (örgülü) $[0^0]_8$ ve $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ olan iki farklı cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhalar kullanılmıştır. Tek tesirli bindirme bağlantılı, tek tesirli yamalı bağlantılı, çift tesirli yamalı bağlantılı ve düz levhalar; 40 ^{0}C, 60 ^{0}C, 80 ^{0}C sıcaklıklarda 15 gün, 30 gün ve 45 gün süre ile bekletilmişlerdir. Süre sonunda numunelerin nem emilim oranları ve çekme testi sonucu ise maksimum hasar yük değerleri elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

1. Tüm gruplarda kuru haldeki numunelerden elde edilen hasar yük değerleri , sıcak suya bırakılan numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinden daha fazla elde edilmiştir.
2. Tüm gruplarda en düşük hasar yük değerleri 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre bekletilen numunelerden elde edilmiştir. En yüksek hasar yük değerleri ise 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre bekletilen numunelerden elde edilmiştir.
3. Tek tesirli yapışma bağlantılı bindirme uzunluğu 25 mm olan, $[0^0]_8$ oryantasyona sahip kuru numunelerden elde edilen hasar yükü, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip kuru numunelerden elde edilen hasar yüküne göre %18.61 oranında daha fazla elde edilmiştir. Yine tek tesirli yapışma bağlantılı bindirme uzunluğu 35 mm olan $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip kuru numunelerden elde edilen hasar yükü, $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerden elde edilen hasar yüküne göre % 40.05 oranında daha düşük elde edilmiştir.
4. Tek tesirli yapışma bağlantılı bindirme uzunluğu 25 mm olan $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %18.91, %26.62 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin ise; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %13.65 ve %37.10 oranlarında düştüğü hesaplanmıştır.

5. Tek tesirli yapışma bağlantılı bindirme uzunluğu 35 mm olan $[0^0]_8$ oryantasyona sahip numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %31.36 ve %32.32 oranlarında düştüğü hesaplanmıştır. $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip numunelerin ise; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerine göre sırasıyla %31.31 ve %36.76 oranlarında düştüğü hesaplanmıştır.
6. Tek tesirli ve çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı numunelerde $[0^0]_8$ fiber oryantasyonuna sahip numunelerin hasar yük değerleri, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ fiber oryantasyonuna sahip numunelerin hasar yük değerlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlantı türlerinde de en düşük değerler 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre bekletilen numunelerden en yüksek değerlerin ise 40 ^{0}C sıcak suda 15 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilmiştir.
7. Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin kuru halinde elde edilen maksimum hasar yük değerinin, levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerden elde edilen değere göre % 8.86, levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerden elde edilen değere göre ise %17.89 oranlarında daha fazla elde edildiği tespit edilmiştir.
8. Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %32.34 ve %47.12 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
9. Tek tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %22.83 ve %36.07 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

10. Tek tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %46.34 ve %49.44 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
11. Çift tesirli yamalı yapışma bağlantılı numunelerden elde edilen hasar yük değerlerinin, tek tesirli yamalı numunelerden elde edilen değere göre yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir.
12. Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerlerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla, %35.93 ve %36.85 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
13. Çift tesirli yamalı bağlantının levha fiber oryantasyonunun $[0^0]_8$ ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerlerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre %43.69 ve %56.09 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
14. Çift tesirli yamalı bağlantının levha ve yama fiber oryantasyonunun $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olduğu numunelerin; 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletildiğinde elde edilen hasar yük değerlerinin, 60 ^{0}C ve 40 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerden elde edilen hasar yük değerlerine göre sırasıyla %32.58 ve %36.54 oranlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
15. Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan 25 mm genişliğindeki levhanın kuru halinden elde edilen maksimum hasar yükünün, fiber oryantasyonu $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ olan aynı genişlikteki levhadan elde edilen maksimum hasar yüküne göre %95.63 oranında daha fazla olduğu hesaplanmıştır.
16. Fiber oryantasyonu $[0^0]_8$ olan 30 mm genişliğindeki levhanın, kuru halde elde edilen hasar yük değerinin, $[45^0/-45^0/0^0/90^0]_s$ oryantasyona sahip aynı

genişlikteki levhadan elde edilen hasar yük değerine göre %144.38 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

17. Numunelerin nem emilim oranlarının her sıcaklıkta artış sağladığı, en fazla artış oranının 80 ^{0}C sıcak suda 45 gün süre ile bekletilen numunelerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.
18. $[45^0/-45^0/\ 0^0/90^0]_s$ fiber oryantasyonuna sahip numunelerin nem emilim oranlarının $[0^0]_8$ fiber oryantasyonlarına sahip numunelerin nem emilim oranlarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
19. Numunelerin sıcak suda bekleme süresi ve suyun derecesi arttığı zaman nem emilim oranlarının arttığı ancak hasar yük değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Öneri;

Bu çalışma; farklı fiber oryantasyon açısına sahip kompozitler için farklı bağlantı biçimine ve farklı çevresel koşullar altında geliştirilebilinir. Aynı zamanda bu çalışma sonlu elemanlar metodu ile de çözümlenerek geliştirilebilinir.

6.KAYNAKLAR

Ayaz, Y. ve Temiz, Ş. 2012. Çift Takviyeli Yamaları Gömülü Yapıştırma Bağlantılarının Eğilme Altında Analizi. ***Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,*** Cilt-Sayı: 5-2 165-172.

Akderya, T., Kemiklioğlu, U., Sayman, O. 2016. Effects of thermal ageing and impact loading on tensile properties of adhesively bonded fibre/epoxy composite joints. A Department of Mechatronics, Vocational School, Gediz University, Seyrek Campus, 35665 Menemen, Izmir, Turkey.

Akderya, T., Kemiklioğlu, U., Sayman, O. 2016. Effectss of thermal ageing and impact loading on tensile properties of adhesivelyy bonded fibre/epoxy composite joints. ***Composites Part B: Engineering,*** Volume 95, 15 June 2016, Pages 117-122.

Andresen, H. W., Echtermeyer, A. T. 2006. Critical Energy Release Rate for a CSM Reinforced Carbon Fibre Composite/Steel Bonding. ***Composites: Part A***., 37: 742-751.

Apalak, Z. G., Apalak, M. K., Genç, M. 2006. ProgressiveDamage Modeling of an Adhesively Bonded Unidirectional Composite Single–lap Joint in Tension at the Mesoscale Level. ***Journal of Thermoplastic Composite Materials***, (19),671-702.

Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A. 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı Üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7–9 Kasım 2007, İstanbul, Türkiye.

Banea, M.D., Da Silva, L.F.M. 2008. Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. ***Proc. IMechE,*** Vol. 223 Part I: J. Materials: Design and Aplications (2008) 1-18.

Belhouari, M., Bouiadjra, B. B., Megueni, A., Kaddouri, K. 2004. Comparison of Double and Single Bonded Repairs to Symmetric Composite Structures: A Numerical Analysis**.** ***Composite Structures***, 65: 47–53.

Bouiadjra, B. B., Fekirini, H., Series, B., Benguediab, M. .2007. Numerical Analysis of the Benefical Effect of the Double Symmetric, patch Repair Compared to Single one in Aircraft Structures. ***Compotutational Materials Science***, 38: 824-829.

Bouiadjra, B.B., Rezgani, L., Ouinas, D., Belhouari, M., Ziadi, A. 2007. Numerical Analysis of the Notch effect and the Behaviour of Notch Crack in Adhesively Bonded Composite Laminates. ***Computational Materials Science,*** 38 2007; 759–764.

Bouiadjra, B. B., Ouinas, D., Serier, B., Benderdouche, N. 2008. Disbond Effects on Bonded Boron/Epoxy Composite Repair to Aluminium Plates. ***Computational Materials Science***, 42: 220–227.

Campilho, R.D.S.G., Moura, M.F.S.F., Domingues, J.J.M.S. 2005. Modelling single and double-lap repairs on composite materials. ***Composites Science and Technology,*** 65 2005; 1948–1958.

Chen, H.S., 2001. The Static and Fatigue Strength of Bolted Joints in Composites with Hygrothermal Cycling. ***Composites Structures***, 52: 295-306.

Duong, C. N., Verhoeven, S., Guijt, C. B. 2006. Analytical and Experimental Study of Load Attractions and Fatigue Crack Growths in Two-Sided Bonded Repairs. ***Composite Structures***, 73: 394-402.

Her, S.C. 1999. Stress Analysis of Adhesively-bonded Lap Joints. ***Composite Structures,*** 47 1999; 673±678.

Hoa, S. V. 1975. Computer aided design of polymer matrix composite structures. CRCPres Inc., 371 s., 59.

Hull, D. 1981. An ıntroduction of composite materialss, Applied science publishers İntroduction of Composite Materials. Cambridge Unv. Pres İnc., 246 s.

Kaya, F. 2004. Ana Hatları ile Yapıştırıcılar. Birsen Yayınevi, Sayfa: 318, İstanbul.

Kweon, J. H., Jung, J. W., Kim, T. H., Choi, J. H., and Kim, D. H. 2006. Failure of Carbon Composite-to-Aluminum Joints with Combined Mechanical Fastening and Adhesive Bonding. ***Composites Structures***, 75: 192-198.

Liu X., Guoping Wang, G. 2007. Progressive failure analysis of bonded composite repairs, ***Composite Structures,*** 81, 331-340.

Li, Q.M., Mines, R.A.W., Birch, R.S., 2000. Static and dynamic behaviiour of composite riveted jointss in tension. ***International Journal of Mechanical Sciences***, 43 (2001) 1591-1610.

Luo, Q., Tong, L. 2009. Analytical Solutions for Nonlinear Analysis of Composite Single-Lap Adhesive Joints. ***International Journal of Adhesion & Adhesives***, 29: 144-154.

Madani, K., Touzain, S., Feaugas, X., Benguediap, B., Radwani, M. 2008. Numerical Analysis for the Determination of The Stress Intensity Factors and Crack Opening Displacements in Plates Repaired with Single and Double Composite Patches. Computational Material Science, 42: 385-393.

Megueni A, Bachir B.B., Boutabout B. , Computatoin of the Strees İntensity Factor for patch crack with bonded compozite repair in, pur Mode, 2. ***Compozite Structure***, 2003;59:415-418.

Megueni, A., Tounsi, A., Bedia, E. A. 2007. Evolution of The Stress Intensity Factor for Patched Crack with Bonded Hygrot hermal Aged Composite Repair. ***Materialsand Design***, 28: 287-293.

Ouinas, D., Sahnoune, M., Bebderdouche, N., Bouiadjdjra, B.B. 2009. Stress İntensity Factor Analysis for Notched Cracked Structure Repaired by Composite Patching. ***Materials and Design,*** 30 2009; 2302–2308.

Örçen, G., Gür, M., Özen, M. 2012. Seawater effect on pin-loaded laminated composites with two parallel holes. ***Journal of Mechanical Science and Technology,*** December 2012, Volume 26, Issue 12, pp 4055–4063.

Örçen, G., Gür, M., Turan, K. 2014. Progressive failure analysis on two parallel pinned joint glass/epoxy composite plates under the effect of seawater. ***Journal of Composite Materials,*** 2014, Vol. 48(28) 3499–3511.

Örçen, G. 2018. Bindirme bağlantılı kompozitlerin hasar davranışları üzerinde sıcak suyun etkisi. ***DÜMF Bölümü Mühendislik Dergisi***, 9:2 (2018) :753-763

Özenç, M. 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Darbe Yükleri Altındaki Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Haziran, Denizli.

Papadopoulos, G. A., Konsta-Gdoutos, M. 2005. Edge-Cracked Stiffened Panels Analyzed by Caustics. ***Theoretical and Applied Fracture Mechanics***, 43: 115–120.

Panigrahi, S.K., Zhang, Y.X. 2011. Investigation of Damage Growth in Single Lap Joints of Composite Laminates, ***Journal of Adhesion Science and Technology,*** 25 2011; 1223–1244.

Reza, A., Shisshesaz, N., Tahan, K.N., The Effect of Viscoelasticity on Creep Behavior of Double-Lap Adhesively Bonded Joints, ***Latin American Journal of Solids and Structures,*** 11 2014; 035-050.

Rao M.V., Rao K.M., Raju. V.R.C., Murthy, V.B.K., Raju, V.V.S. 2008. Three-Dimensional Finite Element Analysis of Adhesively Bonded Single Lap Joints in Laminated FRP

Composites Subjected to Thermal Loading with C-F End Conditions. ***İnternational Journal of Material Science,*** 0973-4589 Volume 3; pp. 187–198.

Rao, M.V., Rao, K.M., Raju, R.C., Murthy, V.B., Raju V.V.S. 2009. Analysis of Adhesive Bonded Single Lap Joints in Hybrid Composites Subjected to Transverse Load With LC-US End Conditions, ***International Journal of Theoretical and Applied Mechanics***, Volume 4 Number 1; 39–48.

Sayman, O. 2007. Kampozit Malzemeler Ders Notlar. D.E.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü.

Sayman, O., Soykok, İ. F., Doğan, T., Doğanan, A., Arikan, V. 2015. Effectss of axial impacts at differentt emperatureees on failure response of adhesively bonded woven fabric glass epoxy/fiber composite joints. ***Journal of Composite Materials*** 2015, Vol. 49(111) 1331–1344.

Samancı, A., Avcı, A. 2007. Al-Mg Alaşımı Üzerine Yapılan Farklı Kampozit Yamaların Çentikli Çekme Dayanımına Etkisi. Prooceedings of 8th International Fracture Conference 7 – 9 November 2007 Istanbul/TURKEY.

Sabelkin, V., Mall, S., Hansen, M. A., Vandawaker, R. M., Derriso, M. 2007. Investigation into Cracrked Aluminum Plate Repaired with Bonded Composite Patch. ***Composite Structures***, 79: 55-66.

Schubbe, J. J., Mall, S. 1999. Investigation of a Cracked Thick Aluminium Panel Repaired with a Bronded Composite Patch. ***Engineering Fracture Mechanics***, 63: 305–23.

Soutis, C., Zu, F.Z. 1997. Design and Performance of Bonded Patch Repairs of Composite Structures, Department of Aeronautics, Imperial College of Science. ***Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering,*** 211, 263-271.

Soykok, İ. F. 2015. Degradation of single lap adhesively bonded composite joints due to hot water ageing. ***The Journal of Adhesion***, DOI: 10.1080/00218464.2015.1076340.

Şen, F., Alyanak, İ. 2014. Paralel çift pimli ve yapıştırıcılı karma bağlantılı kompozit levhaların ısıl gerilme analizi. ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi,*** Cilt: 5, 2, 119-127- Aralık 2014.

Taib, A. A., Boukhili, R., Achiou, S., Gordon, S., Boukehili, H. 2008. Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spewfillet and adherend stiffness on fracture. ***International Journal of Adhesion and Adhesives***, Vol. 26, No. 4, pp. 226-236.

Turan, K. 2009. Çözülebilen Bağlantılı Kompozit Plakaların Mekanik Davranışlarını Analizi. Doktora tezi, Elazığ Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Elazığ.

Turan, K., Kaman, M. O. 2011. Kompozit Yama ile Tamir Edilmiş Tabakalı Kompozit Levhalarda İlerlemeli Hasar Analizi. International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

Turan, K., Kaman, M. O. 2011. Çift Tesirli Yapışma Bağlantısı İle Bağlanmış Kompozit Levhalarda Gerilme ve Hasar Analizi. I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyum, 1– 19 Kasım, 2011.

Turan, K., Pekbey, Y. 2014. Progressive Failure Analysis of Rein forced-Adhesively Single-Lap Joint. ***The Journal of Adhesion***, 91:12, 962-977.

Toudeshky, H.H. 2006. Effects of Composite Patches on Fatigue Crack Propagation of Single-side Repaired Aluminum Panels. ***Composite Structures***, 76 2006; 243–251.

Uday K. Vaidyaa,, Abhay R.S. 2005. Gautama, Mahesh Hosurb, Experimental–numerical studies of transverse impact response of adhesively bonded lap joints in composite Structures. USA Accepted 21 March 2005 Available online 11 July 2005.

Vinson, J., Chou, R., Tsu W. 1975. Composites materials and their usein Structures. Applied Sciencee Publishers Ltd., 438 s.

Vijayakumar, R.L., Bhat, M.R., Murthy C.R.L. 2012. Non Destructıve Evaluatıon of Adhesıvely Bonded Carbon Fıber Reınforced Composıte Lap Joınts Wıth Varıed Bond Qualıty. Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore-560012, India.

Xiao, Y. 2003. Bearing Deformation Behavior of Carbon/Bismaleimide Composites Containing One and Two Bolted Joints. ***Journal of Reinforced Plastics and Composites***, 22: 169-182.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Engin KOYUN
E-Posta	: engin.kyun@gmail.com
Adres Bilgileri	: Üçkuyu mah. elazığ cad. Kümeevler No: 77/2 Yenişehir/Diyarbakır
Cep Telefonu	: 0(537) 38600 62

Kişisel Bilgiler

Toplam Tecrübe	: 5 yıl
Çalışma Durumu	: Çalışıyor
Eğitim Durumu	: Yüksek Lisans
Medeni Durumu	: Evli
Askerlik Durumu	: Tecilli (08.08.2019)
Doğum Tarihi	: 25.05.1989
Sürücü Belgesi	: B (2012)

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans	: 21.09.2016-. Dicle Üniversitesi -Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı
Tez	: Yapışma Bağlantılı Kompozit Levhalar Üzerinde Çevresel Şartların Etkisi
Üniversite (Lisans)	: 08.10.2008 -06.07.2012

Dicle Üniversitesi - Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Engin KOYUN
ÖĞRENCİ NO	16818005
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	X☐ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği /Mekanik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	YAPIŞMA BAĞLANTILI KOMPOZİT LEVHALAR ÜZERİNDE ÇEVRESEL ŞARTLARIN ETKİSİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	103
BENZERLİK ORANI	%9
RAPORLAMA TARİHİ	22/01/2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 103 sayfalık kısmına ilişkin, 03/01/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *TURNİTİN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 'dur.

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.

Engin KOYUN
24.01.2019

Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN **Tez Danışmanı** 24.01.2019	Doç.Dr.Vedat ORUÇ **Anabilim Dalı Başkanı** 24.01.2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.