

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAMA VE YAPIŞTIRICI KULLANILARAK TAMİR EDİLMİŞ
KOMPOZİT LEVHALARIN BURKULMA DAVRANIŞI ÜZERİNE
TERMAL YAŞLANMA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Baran ERKEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Haziran 2018

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

Baran ERKEK tarafından yapılan “Yama ve Yapıştırıcı Kullanılarak Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Burkulma Davranışı Üzerine Termal Yaşlanma Etkilerinin Araştırılması” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Doç.Dr. Mete Onur KAMAN

Üye : Doç.Dr. Kadir TURAN

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 21/06/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../.../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bütün bilgilerini her ne zaman olursa olsun benim ile paylaşan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Kadir TURAN'a ve Yüksek Lisans derslerimde benimle bilgilerin paylaşan hocalarıma teşekkür ederim.

Baran ERKEK
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
SİMGELER LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2 KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Tanım	15
3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	17
3.2.1. Havacılık Sanayi	17
3.2.2. Denizcilik	19
3.2.3. Askeri Alanda	19
3.2.4. Araç Sanayi	20
3.2.5. Diğer Sektörler	21
3.3. Kompozitlerin Birleştirilmesi	21
3.3.1. Sökülebilir Bağlantılar	21
3.3.2. Sökülemez Bağlantılar	22
3.4. Yapışma	22
3.4.1. Yapışmanın Tanımı	22
3.5. Burkulma	26
3.6. Termal Yaşlanma	29

3.7.	Yapıştırıcılar	29
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1.	Problemin Modeli	31
4.2.	Numunelerin Hazırlanması	32
4.3.	Deneyin Yapılışı	39
4.4.	Deneysel Çalışmaların Sonuçları	41
4.4.1.	Hasarsız Levhaların Deney Sonuçları	41
4.4.2.	Hasarlı Levhaların Deney Sonuçları	44
4.4.3.	Yama ile Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Deneysel Sonuçları	48
4.4.4.	75 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları	48
4.4.5.	100 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları	55
4.4.6.	150 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları	62
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	71
5.1.	Deney Sonuçlarının Grafik ve Çizelgeler ile Gösterilmesi	71
5.1.1.	Hasarsız Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları	71
5.1.2.	Hasarlı Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları	71
5.1.3.	Yama ile Yapıştırılarak Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları	73
5.2.	Deneysel Çalışmanın Değerlendirilmesi ve Sonuçlar	78
5.2.1.	75 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi	81
5.2.2.	100 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi	83
5.2.3.	150 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi	84
5.3.	Sonuç ve Değerlendirme	85
6.	KAYNAKLAR	87
	ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

YAMA VE YAPIŞTIRICI KULLANILARAK TAMİR EDİLMİŞ KOMPOZİT LEVHALARIN BURKULMA DAVRANIŞI ÜZERİNE TERMAL YAŞLANMA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Baran ERKEK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Bu çalışmada, dış kısmından yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhaların burkulma davranışları üzerine termal yaşlanma etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Ortasına dairesel delik açılmış, sekiz tabakalı epoksi reçine matrisli örgülü cam elyaf takviyeli kompozit levhalar yine aynı levhalardan elde edilen yamalar ile birleştirilmiştir. Yapıştırıcı olarak ticari bir ürün olan Loctite 3471™ marka çift bileşenli yapıştırıcı kullanılmıştır. Tek ve çift yüzünden yama yapıştırılarak tamir edilen kompozit levhalarda sıcaklık değişimi ve yapıştırıcı kalınlığı parametrelerinin değişiminin burkulma yükü üzerine etkileri araştırılmıştır. Termal yaşlanma etkilerini incelemek için 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle numuneler 75 °C, 100°C ve 150°C'ye maruz bırakılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz 0.8 mm olacak şekilde tamir edilmiş numuneler kullanılmıştır. Sonuç olarak sıcaklık, zaman ve yapıştırıcı kalınlığının değişiminin kritik burkulma yüklerini % 18.81 ile % 116.10 arası değişen oranlarda etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tabakalı kompozit levhalar, Sıcaklık etkisi, Yama ve yapıştırıcı ile tamir.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THERMAL AGING ON THE BUCKLING BEHAVIOR OF REPAIRED COMPOSITE PLATES USING PATCHES AND ADHESIVES

MASTER THESIS

Baran ERKEK

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

2018

In this paper, buckling behaviors of composite materials which are patched and adhesived from outer surface, under the thermal aging effects are analyzed experimentally. Eight-layer epoxy resin matrix woven glass fiber composite plate with circular hole in the middle and patches from the same plates has been patched. As adhesive double compounded Loctite 3471™ commercial brand was used. Effects of temperature variation and adhesive thickness on plates with patches are applied to single surface or both surfaces to the buckling load are investigated. For to examine the temperature change effects samples, samples are hold 2 hours, 4 hours, 6 hours and 8 hours long in 75 °C, 100 °C, and 150 °C environments. For to examine the adhesive thickness effects, at single surface patched plates adhesive thickness was 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm and for double surface patched plates adhesive thickness was 0.8 mm. As a result, it was determined that changes in temperature, time and adhesive thickness affected the critical buckling loads from 18.81 % to 116.10 %.

Keywords: Laminated composite plates, Temperature effect, Patch and adhesive repair.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1.	Numunelere uygulanan termal yaşlanma ve zaman değişimi çizelgesi	38
Çizelge 4.2.	75 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri Newton olarak	53
Çizelge 4.3.	75 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.	54
Çizelge 4.4.	100 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.	60
Çizelge 4.5.	100 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.	61
Çizelge 4.6.	150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.	67
Çizelge 4.7.	150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.	68
Çizelge 5.1.	Hasarsız numunelerin burkulma değerleri ve oranları.	71
Çizelge 5.2.	Hasarlı numunelerdeki yük azalma oranları.	72
Çizelge 5.3.	75 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %'lik artış oranları	74
Çizelge 5.4.	100 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %'lik artış oranları	75

Çizelge 5.5	150 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %'lik artış oranları	76
Çizelge 5.6.	Kalınlık değişimlerinin uygulanan termal yaşlanma sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişimlerinin değerleri.	77
Çizelge 5.7.	Kalınlık değişimlerinin uygulanan termal yaşlanma sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişimlerinin değerleri	77



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1.	Kompozit malzeme	16
Şekil 3.2.	Kompozit malzeme elemanları	16
Şekil 3.3.	Fiberleri göz önüne alınarak kompozitlerin sınıflandırılması	17
Şekil 3.4.	Yolcu ve askeri uçakta kompozit malzeme kullanımı	18
Şekil 3.5.	Kompozit malzeme kullanılan yat	19
Şekil 3.6.	Kompozit askeri başlık	20
Şekil 3.7.	Karbon fiber araba	21
Şekil 3.8.	Kompozit diş dolgusu	21
Şekil 3.9.	Adhezyon Bağı	23
Şekil 3.10.	Kohezyon Bağı	23
Şekil 3.11.	Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz	23
Şekil 3.12.	Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli	24
Şekil 3.13.	Yapıştırma ve pim bağlantılarında gerilme dağılımı	24
Şekil 3.14.	Burkulma	25
Şekil 3.15.	Euler yöntemine göre burkulma durumu	27
Şekil 3.16.	Termal yaşlandırma işlemi	28
Şekil 3.17.	Yapışmış kırılma	29
Şekil 3.18.	Kompozit yapışan interlaminik kırılma	30
Şekil 3.19.	Yapışkan kırılma - kesme	30
Şekil 3.20.	Yapışkan kırılma – peel	30
Şekil 3.21.	Yapışkan (yapışma çizgisi) kırılma-kayma	30
Şekil 3.22.	Yapışkan (yapışma çizgisi) kırılma-soyma	30
Şekil 4.1.	Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutları	30

Şekil 4.2.	Numunelerde hasar oluşturmak için açılan delik	31
Şekil 4.3.	İstenilen ölçülere göre kesilmiş numuneler	32
Şekil 4.4.	Markalanmış numuneler	32
Şekil 4.5.	Matkap ile delinmiş numune	33
Şekil 4.6.	Zımparalama ve aseton ile temizlenme işlemi bitmiş numuneler	33
Şekil 4.7.	Yapıştırılmaya hazır yamalar	34
Şekil 4.8.	Üç boyutlu yazıcıda kalıpların oluşturulması	34
Şekil 4.9.	Yapıştırıcının hazırlanması	35
Şekil 4.10.	Yapıştırıcı sürülmüş yamanın kalıba oturtulması	36
Şekil 4.11.	Numunelerin hazırlanması	36
Şekil 4.12.	Termal yaşlandırma işlemi	39
Şekil 4.13.	Deney makinesi ve makineye bağlanmış numune	39
Şekil 4.14.	P kritik yükünün bulunması	40
Şekil 4.15.	Hasarsız numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.	41
Şekil 4.16.	Hasarsız numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2, 4, 6 ve 8 saat bekleme süresinde elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.	42
Şekil 4.17.	Hasarsız numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2, 4, 6 ve 8 saat bekleme süresinde elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.	43
Şekil 4.18.	Hasarlı numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.	44
Şekil 4.19.	Hasarlı numunelerin 100 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri	45
Şekil 4.20.	Hasarlı numunelerin 150 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri	47
Şekil 4.21.	Hasar görmüş numunelerin 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığı ile kompozit yama ile tamir edilmiş numunelerin oda sıcaklığında ki deneysel çalışma grafikleri	48

Şekil 4.22.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.2 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	49
Şekil 4.23.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.4 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	50
Şekil 4.24.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	51
Şekil 4.25.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.8 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	52
Şekil 4.26.	75°C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği	53
Şekil 4.27.	75 °C sıcaklıkta çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği	54
Şekil 4.28.	75 °C sıcaklıkta hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği	55
Şekil 4.29.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.2 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	56
Şekil 4.30.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.4 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	57
Şekil 4.31.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	58
Şekil 4.32.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.8 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.	59
Şekil 4.33.	100°C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği	60
Şekil 4.34.	100 °C’de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği	61

Şekil 4.35.	100 °C de hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği	62
Şekil 4.36.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.2 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	63
Şekil 4.37.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.4 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	64
Şekil 4.38.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	65
Şekil 4.39.	Yapıştırma kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri	66
Şekil 4.40.	150°C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği	67
Şekil 4.41.	150 °C’de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği	68
Şekil 4.42.	150 °C’de hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği	69
Şekil 5.1.	Hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin termal 75 °C, 100 °C ve 150°C sıcaklıkta termal yaşlandırma sonucunda elde edilen sonuçlar ve grafiği	72
Şekil 5.2.	75 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği	73
Şekil 5.3.	100 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği	74
Şekil 5.4.	150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği	76
Şekil 5.5.	Kalınlık değişiminin uygulanan termal yaşlanma sonucuna yük-sıcaklık grafiği	78
Şekil 5.6.	Kritik burkulma yükünü geçtikten sonra burkulan malzeme	79

Şekil 5.7.	Tek tarafından yapıştırıcı ile tamir edilmiş deney numunesinin deney sonrası yamanın yapıştırıcı kısmından ayrılması	80
Şekil 5.8.	Çift yüzünden yapıştırıcı ile yapıştırılmış numunenin kritik burkulma yükünü geçtikten sonra ki görünümü	81



KISALTMA VE SİMGELER

b	: Bağlantı genişliği [mm]
F	: Yük [N]
I	: Atalet momenti
L	: Kompozit levha uzunluğu [mm]
L_u	: Bağlantı uzunluğu [mm]
L_y	: Kompozit yama uzunluğu [mm]
P	: Yük [N]
P_{kr}	: Kritik burkulma yükü [N]
T	: Sıcaklık [$^{\circ}\text{C}$]
t_b	: Bekleme süresi [saat]
t_k	: Kompozit levha kalınlığı [mm]
T_o	: Oda sıcaklığı [25 $^{\circ}\text{C}$]
t_y	: Kompozit yama kalınlığı [mm]
W	: Kompozit levha genişliği [mm]
W_y	: Kompozit yama genişliği [mm]
σ	: Kayma gerilmesi [MPa]
θ	: Takviye açısı [Derece]
λ	: Narinlik derecesi

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile beraber günümüzde kompozit malzemeye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kompozit malzemeler mühendislik yaklaşımlarının en temel problemi olan hafiflik, dayanıklılık ve korozyona karşı direnme gibi malzeme ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile ortaya çıkmışlardır. Özellikle yüksek hızlı araçların gelişimi ve yaygınlaşması ile ön plana çıkan hafiflik ve sağlamlık en temel mühendislik problemi haline gelmiştir. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için üretilen hafif ve mukavemeti yüksek kompozitlerin kesitleri oldukça küçüktür. Kesitin boya oranı olarak tanımlanan narinlik bu konstrüksiyonlarda ortaya çıkan bir durum haline gelmektedir. Hafif yapıların tasarımında ki düşük narinlik burkulma yükünü azaltır. Atmosfere açık yapıların tamamı mevsimsel koşullar gereği değişken sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu durum cisimlerde termal yaşlanma adı verilen genellikle sıcaklık/zaman parametrelerini içeren bir duruma sebep olur. Dolayısıyla genel tasarımlarda malzeme seçimi oda sıcaklığında veya belirli bir sıcaklık göz önüne alınarak yapılmaktadır.

Tüm bu durumların yanında hasar görmüş kompozit malzemelerin yerine yeni kompozit ile değiştirmek işletme giderleri veya yoğun iş akışının kesilmesi gibi sebeplerden dolayı her zaman mümkün olmamaktadır. Teknolojinin gelişmesine rağmen kompozit malzemeler halen ucuza imal edilen malzemeler arasında değildirler. Bu sebeplerden dolayı kompozit malzemeyi tamir yoluna gidilmektedir. Kompozitleri yama yardımı ile tamir edebilmemiz mümkündür. Bu yamalar kompozit malzemeye iki farklı yolla uygulanabilir. Bunlar; sökülebilir ve sökülemez bağlantı tipleridir. Sökülebilir bağlantı tipi yani cıvata, vida ve somun gibi bağlantılar kompozit malzemenin lif yapısına zarar vereceğinden ve mekanik özelliklerini etkileyeceğinden dolayı tercih sebebi değildir. Bu yüzden sökülemeyen bağlantı tipi tercih edilmektedir. Bu bağlantı tipleri içerisinde kaynak ve lehim kompozit malzemeye uygun olmadığından daha çok yapıştırma ile birleştirme tercih edilmektedir. Yapışma bağlantılarının en büyük avantajlarından biri gerilme yığılmalarının oluşmamasıdır. Bununla birlikte yapıştırılacak malzemelerin ıslatılabilirliği iyi olmalı ve uygulanacak yüzeyin temiz olması gerekmektedir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Soutis ve arkadaşları (1999), dış kısmından yama ve yapıştırıcı ile tamir edilmiş dairesel delikli kompozit levhaların basma yükü altındaki davranışları üzerine deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarında karbon epoksi kompozit levhalar kullanılmışlardır. Hasar mekanizmalarını tespit ederken x ışınları yöntemi ve taramalı elektron mikroskoplarından yararlanmışlardır. Sayısal çalışmada başlangıç hasarı yüklerinin tespitini 3 boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Hasar başlangıç yükleri, hasar tipi ve bölgesi tahmininde maksimum gerilme ve ortalama gerilme hasar kriterlerini kullanmışlardır. 20 mm levha genişliği için 10 mm'lik dairesel delik çapının levha mukavemeti yaklaşık %50 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Tek yüzünden yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhanın hasar yüklerinin hasarsız numunenin hasar yüklerine %80 yaklaştığını hesaplamışlardır.

Jamaael ve arkadaşları (2012), çalışmalarında üniform ve üniform olmayan basınç yükü altında hasar görmüş tabakalı kompozit levhaları mekanik yüklere maruz bırakarak burkulma davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında deneysel ve sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Kesit alanı değişiminin burkulma yükünü çok fazla etkilemediğini belirlemişlerdir. Genel olarak en boy oranı arttıkça levhanın kritik burkulma yükünün azalacağını ve fiber açısını 10^0 'den 45^0 'ye değiştiğinde burkulma yükünün azaldığını ve lif açısının 45^0 'den 80^0 'ye dereceye değiştiğinde ise arttığını belirtmişlerdir.

Zabihollah ve Ganesan (2010), konik şeklindeki tabakalı kompozit malzemelerin sonlu elemanlar metodunu kullanarak burkulma analizini yapmışlardır. Konik kompozit malzemelerin malzeme ve geometrisinden dolayı gerilme dağılımının sürekli olmadığını belirtmişlerdir. Yüksek dereceli formülasyonun konik şeklindeki kompozit levhaların analizi için önemli olduğunu ve gerilimin tabakalar arasında kalınlığa bağlı olarak sürekli olmasını sağladığını belirtmişlerdir ve yüksek dereceli sonlu elemanlar metodunun burkulma analizinin sonuçlarının ikinci dereceli formülasyona göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Baba ve Baltacı (2007), simetrik ve simetrik olmayan ortası delik ve kenarında yarım daire bulunan kompozit levhaların burkulma analizleri üzerine çalışma

yapmışlardır. Bu çalışmada E/cam-epoksi kompoziti kullanılmışlar, bu malzeme için iki farklı tabaka konfigürasyonu, daire ve yarım daire, iki farklı uzunluk/kalınlık oranı ve üç tane sınır koşulu kullanılarak sonlu elemanlar metodu (SEM) ile hesaplamalarını yapmışlardır. Deney sonuçları ile SEM sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan hesaplamalar deneysel göre daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Gerilmelerin daire ve yarım dairede hemen hemen aynı sonuçları verdiğini, uzunluğun kalınlığa oranı % 50 artığında burkulma yükünün %75 civarında azaldığını ve simetrik olmayan tabakadaki burkulma yükünün daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

Avcı ve arkadaşları (2005), delikli çapraz takviyeli ve tabakalı hibrid kompozit levhaların termal burkulma davranışı incelemişlerdir. Sınır koşullarının kritik burkulma sıcaklığına önemli bir etken olduğunu ve buna kanıt olarak sıkılaştırılmış tabakların eğilme sıcaklıklarının çok daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir ve kritik burkulma sıcaklığının temelde deliğin boyutuna da bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Simetrik ve simetrik olmayan üst üste tabakların dizilmesinde (aliminyum/boron-epoksi/cam-epoksi, aliminyum/cam-epoksi ve aliminyum/boron-epoksi hibridlerde) kayda değer kritik burkulma sıcaklığında değişim gözlemlenmemişlerdir. Tabakların üst üste dizilmesinde kritik burkulma sıcaklığının arttığını en yüksek kritik eğilme sıcaklığına sahip aliminyum-boron/epoksi olduğunu bildirmişlerdir.

Günyar ve arkadaşları (2012), düzlem içerisinde belirli bir eğriliğe sahip tabakalı kompozit bir dairesel yay parçasının merkez açısının, eğrilik yarıçapının değişiminin ve tabakanın fiber açılarının doğal frekans ve burkulma yükü üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Uygun fiber takviye açısının seçilerek hem burkulma yükünün değerinin artırılmasının hem de doğal frekanslarının çalışma frekansından uzak tutulmasının sağlanacağını belirtmişlerdir.

Yazıcı ve arkadaşları (2002), U çentikli kompozit levhaların burkulması üzerine farklı oryantasyon açıların üzerine etkilerini araştırmışlardır. Analitik, deneysel ve sonlu elemanlar metodundan elde ettikleri sonuçların birbiri ile oldukça uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Burkulma yükünün fiber açısına güçlü bir bağımlılık göstermemekle birlikte kritik elyaf açısı 45 dereceden sonra kritik burkulma yüküne etkisi azalmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Öner ve arkadaşları (2007), ince cidarlı, çapraz takviyeli, tabakalı kompozit

tüplerde sonlu elemanlar yöntemi ile burulmalı burkulma analizi üzerine araştırma yapmışlardır. Tüplerin cidarlarını, simetrik çapraz takviyeli ($\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$) ve 8 tabakalı olarak seçmişlerdir. Sonuç olarak en büyük kritik burkulma yükünün $\theta=15^\circ$ ile 25° olduğunu gözlemlemişlerdir. Uzunluğun artması ile kritik burkulma yükü azalmakta ve uzunluğun takviye açısı ve kenar oranı kadar etkili olmadığını belirtmişlerdir. Takviye açısının burkulma yükü açısından çok önemli bir etken olduğunu ve en iyi kenar oranının 1 olduğunu belirtmişlerdir. Kenar oranı ve uzunluğun büyüdükçe ($\theta_1 = 45^\circ$)’den sonra takviye açısının etkisinin de azalacağını belirtmişlerdir.

Aldaş ve Şen (2012), çalışmalarında karma bağlantı yapılarak birleştirilmiş iki kompozit levhada sıcaklık değişiminden dolayı meydana gelen gerilmelerin analizini gerçekleştirmişlerdir. Karma bağlantı, pim ve yapıştırıcının birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Analizde sonlu elemanlar metodu kullanılmışlardır. Modelleme üç boyutlu olarak yapılmıştır. Modelleme ve çözümde, sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programından yararlanmışlardır. Oluşturulan modele hem çekme yükü hem de uniform sıcaklık yükü aynı anda uygulamışlardır. Sıcaklığın gerilmeler üzerine etkisini gözlemlemek için çekme yükü sabit tutulmuş fakat 50° , 70° , 90° ve 110°C ’lik uniform sıcaklıklar uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığını dolayısıyla, karma bağlantı üzerinde başlayacak bir hasarın delik çevresinden başlayacağını belirtmişlerdir. Gerilmelerin değeri, uniform sıcaklık artışıdaki miktara bağlı olarak arttığını gözlemlemişler.

Campilho ve arkadaşları (2010), tek ve çift yüzünden yapıştırıcı ile tamir edilmiş kompozit levhaların burkulma davranışlarını araştırmışlardır. Araştırmalarında sonlu elemanlar metodunun iyi bir hesaplama yöntemi olduğunu belirlemişlerdir. Buna üç farklı parçanın modellemesinin incelenmesiyle ulaşmışlardır. Bindirme uzunlukları 5 mm - 15 mm arasında ve yama kalınlığının 0.6 mm - 2.4 mm arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. En iyi sonuçları 15 mm bindirme uzunluğuna sahip parçada elde etmişlerdir.

Albedah ve arkadaşları (2010), kompozit yapıştırıcı ile tamir edilmiş uçak yapılarındaki çatlakların sonlu elemanlar metodu ile elastoplastik analizini yapmışlardır. Boyutları 254 mm X 254 mm X 4.76 mm boyutlarında olan alüminyum plaka kullanmışlardır. Boron epoksi ile yapıştırmışlardır. Çift yüzünden simetrik yamanın tek

yüzünden yamaya kıyasla onarım performansı üzerine önemli derecede faydalı bir etkiye sahip olduğunu gözlemlediler. Gerilim şiddeti faktörünün çatlak uzunluğu artıkça stabil olma eğilimi gösterdiğini belirtirler. Ancak çatlak ucu yamanın kenarına yaklaştığında gerilim siddet faktörünün önemli ölçüde arttığını görmüşlerdir. Onarılmış yapının yamasız yüzündeki plastik bölgesinin etkisini telafi etmek için tek yama için hesaplanan gerilim şiddet faktörü değerlerine özel bir düzeltme faktörü geliştirmişlerdir.

Toudeshky ve arkadaşları (2006), tamir edilmiş kalın alüminyum panellerin yorulma çatlaklarının büyümesi üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Numuneler 2024-T₃ alüminyum alaşım 6.35 mm kalınlığında ve 6.35 mm 4 tabaka cam/fiber epoksi kompozit olarak belirlemişlerdir. Kompozit her tabakanın kalınlığı 0.175 mm olacak şekilde ve yapıştırma kalınlığı 0.1 mm olacak şekilde çalışmalarını yapmışlardır. Sonuç olarak kompozit yama kullanılarak tek taraflı onarım tekniğinin kalın panellerin çatlak ömrünün uzamasında etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Toudeshky (2006), kompozit yamalarla tek taraflı tamir edilmiş alüminyum panellerin yorulma çatlakları üzerine etkilerini sonlu elemanlar metodu ile analiz etmişlerdir. Çatlak büyümelerinin ilk konumda düzgün olmayan bir şekilde büyüdüğünü gözlemlemişlerdir. 2.29 mm kalınlığındaki panellerdeki çatlak büyüme ömrü 4 veya 6 katmanlı yama kullanılarak % 65 ve % 236 oranında artırılabilir. 6.35 mm lik panellerde 4, 16, 18 katmanlı yamalar kullanarak ömür sadece % 21-38 oranında artırılabilceğini gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak kompozit cam/ epoksi kompozit yamalar ince panellerde daha verimli olacağını belirlemişlerdir.

Papanikos ve arkadaşları (2005), kompozit yapıştırıcı ile tamirde ilerlemeli hasar analizi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Metal tabaka olarak alüminyum alaşım ve kompozit malzeme olarak karbon fiber takviyeli kompozit malzeme kullanmışlardır. Parametrik 3-D kademeli hasar modeli kullanılmıştır.

Feih ve arkadaşı (2004), L tipi yapışma bağlantılarında hasar analizi yapmışlardır. Deneysel hasar analizine bağlantı mukavemetinin dolgu performansına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Dolgu şeklindeki bir değişikliğin bağlantı mukavemetini önemli bir ölçüde artırabileceğini ve bu nedenle proses kontrolünün imalatı çok önemli olduğunu söylemişlerdir. Delaminasyon uzunluğunun hasar yükünde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

Kashfuddoja ve Ramji (2014), karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer levhalarda hasarın tahmini için en iyi yama şekli ve boyut dizaynını araştırmışlardır. Çalışmalarında üç boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Yama şekillerini daire, dikdörtgen, kare, altıgen, elips ve oval seçmişlerdir. Gerilme yığılma katsayısının tamir öncesi ve sonrası değişimini incelemişlerdir. Sonuç olarak en iyi yama geometrisinin altıgen şekilli yama olduğunu belirlemişlerdir.

Hu ve Soutis (2000), yapıştırılarak onarılmış karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerde basma yükü altında mukavemet değişimi üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Bağlantıları tek ve çift bindirmeli olarak yapmışlardır. Yapıştırma tabaka uzunluğu olarak $L = 5$ mm (kısa), $L=10$ mm (orta), $L=20$ mm (uzun) almışlardır. Bindirme uzunluğu $L=12$ mm den sonra gerilimin maksimum değeri için önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Mukavemet tahminleri deneysel ölçümlerle karşılaştırmıştır.

Belaid ve arkadaşları (2015), termal yaşlanmanın polyester/cam fiber kompozitlerin üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmalarını 30, 60, 90, 120 günlük periyodlar şeklinde ve sıcaklık 80°C olarak belirlemişlerdir. Yaşlanma süresi arttıkça elastisite modülünün % 50 oranında azaldığını ve kopma mukavemetinin ise % 22 oranında azaldığını çekme testi sonucunda gözlemlemişlerdir. Polyester/cam fiber kompozitlerin elastisite modülünün değerinin termal yaşlanmadan dolayı 30 gün sonra % 6 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Numunelerde simülasyonla elde edilen gerilme-şekil değiştirme değerleri ile deneysel olarak elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Zhang ve arkadaşları (2010), çalışmalarında çift yüzünden epoksi yapıştırıcı ile yapıştırılan cam fiber ile güçlendirilmiş polimer kompozit plakanın -35°C ve 60°C sıcaklıkları arasındaki davranışını araştırmışlardır. Deney sonuçları incelendiğinde termo mekanik etkilerin yapıştırıcıyı daha fazla etkilediğini gözlemlemişlerdir. Lineer yapıştırma için camlaşma durumu -35°C 'nin 40°C kadar olduğu ve 50°C 'den üzerinde katılaşma meydana gelmediğini, lineer olmayan durumda ise cam duruma geçişin 40°C - 50°C arasında olduğunu belirtmişlerdir. Sıcaklığın artması durumunda camlaşmaya geçişin olmadığını ve yapıştırıcı ile kompozitin ayrıldığını olduğunu belirtmişlerdir. Sıcaklıktan yapışan ve yapıştırıcı arasındaki arabirim yapışana göre daha çok kuvvete

maruz kalmakta, cam geçişin altında iken çatlak başlangıcı sıcaklıktan etkilenmediğini belirtmişlerdir. Düşük sıcaklıklarda çatlak dağılımı daha az olduğu ve çatlak dağılım oranı ortama ve yüksek sıcaklığa göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gorbatkina ve arkadaşları (2010), yapıştırıcı ile güçlendirilmiş çift zincirli polimer fiberde ve karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerlerde termal yaşlanmanın etkisini araştırmışlardır. Fiber/matris ara yüzünde düzenli termal yaşlandırmanın çok az bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Uzun ısıtma boyunca (100 saat boyunca) ise sıcaklık 350 °C'ye ulaştığında birleşme yerindeki kuvvetin tek zincirli de değişmediği fakat çift zincirli de %20-30 kadar azaldığını gözlemlemişlerdir. Karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerlerde termal dengenin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Deney numunesi 400 °C'ye 100 saatten fazla maruz kalmıştır. Numune 350 °C'ye 100 saatten fazla maruz kaldığında termal yaşlanma gözlenmemiştir. Numuneler ve karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerlerde 350 °C'de 24 saat termal yaşlanmadan sonra yapıştırıcı gücünü ve elastisite modülünü koruduğunu gözlemlemişlerdir. Maruz kalma süresi 100 saat olunca yapıştırıcı gücü ve elastisite modülünün bütün numunelerde %25-40 azaldığını belirlenmiştir. 400 °C'de kesme kuvvetinin %13 azaldığını ve en iyi karakteristik değerleri ve en verimli kullanımının 350-400 °C arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Razumov ve arkadaşları (2012), termo modifiyeli ahşap kompozit malzemelerde mekanik özellikler üzerine araştırma yapmışlardır. Uzunlukları 20, 40, 60 mm olan ve genişlikleri 3-5mm arasında değişen termo modifiyeli ahşap kompozitler üzerinde çalışmışlardır. Numuneler 160 °C ve 220 °C arasında ısıtarak her yarım saatte bir ağırlıkları gözlemlemişler ve ağırlıklıklarının % 3'ten daha az azaldığını belirtmişlerdir. Sıcaklık artışının mukavemet özellikler üzerine negatif etki oluşturacağı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir.

Ghasemi ve Moradi (2017), polimer matrisli kompozit malzemelerde delik boyutunun ve termal yaşlanmanın mekanik özellikler üzerindeki etkilerini araştırmışlar. Termal yaşlanma değişimini, her seferinde – 157 °C' den 121 °C'ye kadar 5.68 °C /dk olarak belirlemişlerdir. Kompozit numuneler üzerinde termal yaşlanma ve delik boyutunun gerilmeyi azalttığını belirtmişlerdir. Çentiksiz numunelerde termal yaşlanma artıkça gerilmenin düştüğünü gözlemlemişlerdir. 250 çevrim için yapılan hassaslık

analizinde gerilmesini numunelerde % 3-6 arasında azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında yanal kırıklar ve fiber ayrılma hasarının çentikli numunelerde daha baskın olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak çap değişikliğinin hasar bölgesinin ve tipinin değişmesine sebep olduğunu açıklamışlardır.

Liu ve arkadaşları (2016), çift yüzölü yapıştırılmış karbon fiber ile güçlendirilmiş polimer kompozit levhada nemin etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında sonlu elemanlar metodunu kullanmışlardır. Elastisite modülünün ve gerilmenin ciddi biçimde değiştiğini gözlemlemişlerdir. Nem absorbe edildikten sonra gerilmenin elastisite modüle göre daha hızlı düştüğünü, sıcaklığın yükselmesinin de elastisite modülü ve gerilme de ani bir düşüşe sebep olduğunu gözlemişlerdir. Oda sıcaklığında kuru numuneler için %70 yapışanda, % 30 yapıştırıcıda hata gözlemlemişlerdir. Fakat 90 °C 'de 60 saat boyunca nem verilmesinde durumun tersine döndüğünü belirtmişlerdir.

Boopathi ve arkadaşları (2014), kür sıcaklığı ve elyaf hacim fraksiyonunun sisal elyaf takviyeli polyester kompozitlerde mekanik özelliklerin üzerine etkisini araştırmışlardır. Kompozit malzemelerde kür sıcaklığını 40, 60, 80 ve 100 °C olarak, lif hacim fraksiyonunu ise %15, 30 ve 45 olarak belirlemişlerdir. Bu değerlerin sisal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir. 61.5 °C ve 79 °C kürlenme sıcaklığında sırasıyla daha iyi gerilme ve darbe özelliklerine ulaşmışlardır. Lif hacim fraksiyonunda ise % 28-30 değerlerinde bu özelliklere ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Ray (2005), cam ve karbon elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin ara yüzlerinde nemli yaşlanma sırasında sıcaklık etkisini araştırmışlardır. Numuneleri ağırlıkları stabil olacak şekilde 50 °C şekilde fırında kurutmuş ve 60 °C sıcaklık ve % 95 bağıl nem ile 70 °C sıcaklık % 95 nem koşullarına 1200 saat süre ile maruz bırakmışlardır. Çalışmalarında hygrotermal yaşlanma süresine daha yüksek sıcaklığın sadece nem alma oranını artırdığı değil aynı zamanda delemantasyon çekirdeği için gerekli olan gerilme eşiğinin de değişebileceği sonucunu ve oda sıcaklığındaki test sonuçlarında ara yüzdeki hasarın geri döndürülemez özelliklerin yansıttığını gözlemlemişlerdir.

Taib ve arkadaşları (2005), epoksi ile yapıştırılmış cam fiber takviyeli vinilester kompozit malzemeler üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında yapışkan tabaka kalınlığı, kusurlar, dolgu, yapışkan sertliğinin etkisini gerilme testleri ile

belirlemişlerdir. Bazı numuneleri hızlandırılmış yaşlanma koşullarına tabi tutmuşlardır. Numuneler 42 gün boyunca 62.8 ± 3 °C de 85 ± 5 % nispi neme maruz tutulmuş. Bu sıcaklık en hızlı yaşlanmaya izin verdiğiinden seçildiğini belirtmişlerdir. 4 çeşit bağlantı kullanmışlardır. Bunlar;

- Tek bindirmeli
- Geçmeli
- L tipi
- Çift bindirmeli

Numuneleri her konfigürasyon için aynı kompozit panel ve yapıştırıcı ile aynı zamanda üretmişlerdir. Sonuç olarak cam fiber takviyeli vinilester kompozit tabakaların epoksi ile yapıştırılması durumunda gerilme davranışının artırdığını belirtmişlerdir. Yapıştırılan yüzey 25.4 mm de sabit kaldığında nihai yük açısından tek bindirmeli bağlantı ile çift bindirmeli bağlantının karşılaştırılabileceğini ve çift bindirmeli bağlantının hasar yönünden daha büyük bir deplasmana sahip olduğunu belirtmişlerdir. Boşluk kusuru içeren bağlantılarda yapılan testlerin kusursuz bağlantılardan daha düşük mukavemet göstermediğini ve bu davranışın hem geçme hem de tek bindirmeli bağlantılarda doğrulandığını belirtmişlerdir.

Alcock ve arkadaşları (2007), polipropilen kompozitlerde ve çok yönlü polipropilen bantlarda sıcaklık ve gerilme oranının mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Statik ve dinamik testler uygulayarak araştırmalarını yapmışlardır. Numuneler -50 °C'nin altına kadar soğutulmuş ve daha sonrasında ise 160 °C'ye kadar ısıtmışlardır. Bandın gergin olmasını sağlamak için 0.1 MPa statik bir gerilme uygulamışlardır.

Aydın ve arkadaşları (2007), yapıştırma bağlantılarının dayanımı üzerine kürleşme basıncının etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında esnek ve basınç hassasiyetli bir yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantılarının yük taşıma kapasitelerinin kürleşme boyunca uygulanan basınçla değişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Sonuçlar sonlu eleman metodundan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yapıştırıcıların akma kriterlerindeki eksiklikler ve şekil değiştirme oranına bağımlılık gibi diğer parametrelere ilave olarak, yapıştırma

bağlantıların mekanik davranışının doğru bir şekilde simülasyonu için yüksek sıcaklıklarda kürleşme boyunca uygulanan basıncın oluşturduğu termal artık gerilmelerin dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Turan (2013), yapışkan yama ile tamir edilmiş kompozit plakaların burkulma davranışları üzerine deneysel ve sayısal olarak araştırma yapmıştır. Deliksiz, tek yüz yama, çift yüz yama ve dairesel delikli numuneleri kullanmıştır. Dairesel delik boyutlarına ek olarak yama uzunluğu ve yapışkan kalınlığı parametrelerini kullanmıştır. Sayısal çalışmada sonlu elemanlar metodu ile araştırmasını gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak tek ve çift yüzünden yama ile yapıştırılmış kompozit levhaların burkulma yüklerinin delikli kompozit levhanın burkulma yüküne göre % 96 ve %263 oranında artış sağladığını gözlemlemiştir. Deneysel ve sayısal çalışma arasındaki hata oranının ise % 2 ile %11,5 arasında olduğunu belirtmiştir.

Wang ve arkadaşları (2008), tek bindirmeli yapıştırılmış kompozit onarımlarında termal kalıcı gerilmeler üzerine araştırmalar yapmışlardır. Deneylerinde 280 mm X 60 mm X 1.76 mm boyutlarında metalik KLY12CZ alüminyum alaşımı ve 80 mm X 60 mm X 13.5 mm boyutlarında karbon epoksi kompozit numune kullanmış olup, numuneleri epoksi yapıştırıcıdan modifiye edilmiş poliüretan yapıştırıcı ile yapıştırmışlardır. Sonuç olarak daha fazla kürleme sıcaklığının daha fazla termal kalıcı gerilmelerle sonuçlandığını gözlemlemiştir. Deneysel sonuçlar sıcaklık artışının numunelerin hasarını önemli bir ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

Oudad ve arkadaşları (2009), kompozit yama ile tamir edilmiş metalik uçak yapılarındaki çatlakların plastik bölge boyutu üzerine araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarını sonlu elemanlar metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Kullanılacak metal olarak 2024-T alüminyum alaşım seçmişlerdir ve simetriden dolayı tamir edilen plaka için çeyrek model kullanmışlardır. Sonuç olarak çatlak uzunluğunun onarılmış çatlakların önündeki plastik bölge boyutu üzerinde etkisinin önemli olmadığını belirtmişlerdir. Sebebini ise çatlak büyümesiyle yama tarafından gerilme emilimindeki artışa bağlamışlardır. Kompozit yamanın varlığının plastik bölge büyüklüğünü önemli ölçüde azalttığını belirtmiş olup onarılmış çatlaklar için lineer kırılma mekaniği şartlarının ortaya çıkacağını belirtmişlerdir.

Hwan ve arkadaşları (2011), ortasından delinmiş örgülü kompozit levhaların

mukavemet tahminleri üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında tam ortasından 4, 6, 8, 10 ve 12 mm delik açılmış 250 mm X 35 mm X 2 mm boyutlarında karbon fiber kompozitler kullanmışlardır. Ortalama gerilme kriteri farklı boyutlarda deliklere sahip her kompozit levhanın karakteristik uzunluğunu bulmak için uygulamışlardır.

Kannan ve arkadaşları (2010), ortası delikli kompozit levhalarda germe ve çekme kuvvetlerinin araştırmışlardır. Ortası delikli olan kompozit malzemeye uygulanan kuvvetler sonucunda gerilme kriteri ve ortalama gerilme kriterlerindeki yaygın olarak bilinen doğal hata modelini yeniden modellediklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarında karbon epoksi, atkı-örgülü cam elyaf ve pultruded (sıkıştırılmış) kompozit malzemeleri kullanmışlardır. Malzemelerdeki kırılma davranışını modellemek için farklı şekiller (daire, yarı daire v.b.) ve içsel çatlak modelini kullanmışlardır.

Ouinas ve arkadaşları (2007), yarı dairesel bir çentik kenarından kaynaklanan tamir edilmiş çatlaklar için bor / epoksi ve grafit / epoksi yamalarının karşılaştırması üzerine araştırmalarını yapmışlardır. Mekanik ve geometrik özelliklerin çatlak ucundaki gerilme şiddet faktörü üzerindeki etkilerini vurgulamışlardır. Çalışmalarında sonlu elemanlar metodunu kullanarak çift yüz yama ve tek yüz yamanın etkisini araştırmışlardır. İki kompozit yamayla tamir edilen çatlak ucunun gerilme şiddet faktörünün, sadece bir yama ile tamir edilene kıyasla yarıya düştüğünü belirtmişlerdir. Çatlak yayılmasına dik bir şekilde daha yüksek bir rijitliğe sahip olan liflerin, gerilme şiddet faktörünün azaltılmasını önemli ölçüde etkilediğini ve yama onarımının veya takviyenin performansını arttırmak için yapıştırıcı özelliklerinin optimize edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda çapın büyümesinin kırıkların büyümesini hızlandığını boron epoksi yamanın grafitte göre gerilme yoğunluğunun daha az olduğunu ve yarım çentik yamalarda gerilme yığılma katsayısı ile gerilme şiddet faktörünün önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada termal yaşlanma etkilerine maruz bırakılarak tamir edilmiş kompozit levhaların kritik burkulma yükleri deneysel olarak araştırılmıştır. Ortasında dairesel delik bulunan kompozit levhalar tek ve çift yüzünden yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiştir. Termal yaşlanma etkilerini araştırmak için sabit sıcaklıkta termal yaşlanma zamanı değişimi, sabit zaman için ise sıcaklık değişimi parametreleri kullanılmıştır. Termal yaşlandırılmış numuneler oda sıcaklığındaki numunelerle karşılaştırmıştır. Geometrik olarak tek ve çift yüzünden tamir ve yapıştırıcı kalınlığı

araştırılmıştır. Tamir edilmiş kompozit levhaların sonuçları hasarlı (tamir edilmemiş) ve hasarsız (düz levha) levhalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.





3. METERYAL VE METOT

3.1. Tanım

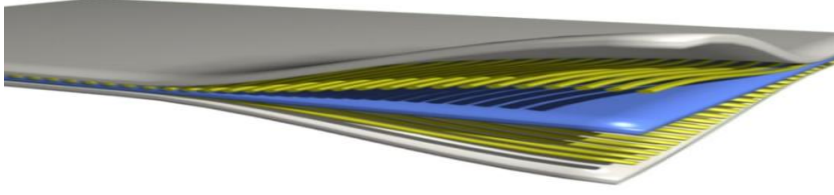
Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde kompozit malzemeye duyulan ihtiyaç artmaktadır. Kompozit malzeme; malzemelerin üstün özelliklerinin ortaya çıktığı yeni bir malzeme türü olduğundan ve rijitlik ve sağlamlıktan dolayı tercih sebepleri arasındadır (Şekil 3.1). Hafiflik de diğer bir tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır. Kompozit malzemelerin özelliklerini ve tercih edilme sebeplerini aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Mekanik özellikleri iyidir (yüksek mukavemet, çekme dayanımı, yorulma dayanımı vb)

- Isı dirençleri yüksektir.
- Elektrik dirençleri yüksektir.
- Hafiftirler.
- Korozyon ve kimyasal etkileşimlere karşı dirençlidirler.
- Kalıcı renklendirme

Kısaca kompozit malzemeler hafif dayanıklı ürünlerdir. Fakat üretim maliyeti açısından pahalı malzemeler olduğundan her alanda kullanmaya imkan vermemektedir. Kompozit malzemelerin dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Pahalı malzemelerdir
- Metallere yapışmazlar
- Fırınlanması gerekmektedir.
- Delme kesme gibi işlemler liflerde hasara yol açar. Bu da mekanik özelliklerde olumsuz durum oluşturur.
- Aynı malzeme için mekanik özellikler farklılık gösterebilir.



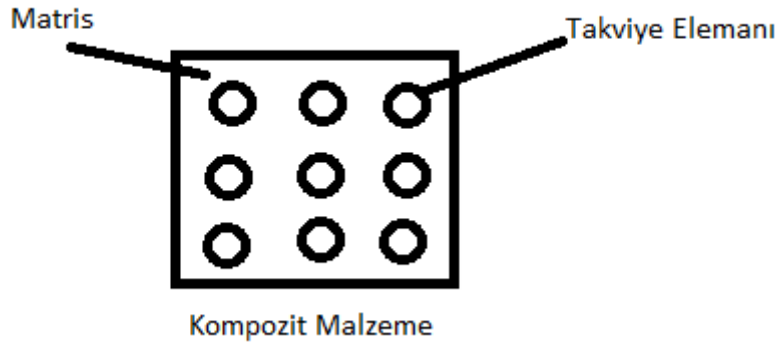
Şekil 3.1. Kompozit malzeme
(<https://www.muhendisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-nedir>)

Kompozit malzemeler esas olarak 3 ana elemandan oluşur (Şekil 3.2).

1- Matris: Fiberleri bir arada tutarak yapıya şeklini verir. Hasar ve dış etkilere karşı fiberleri korur.

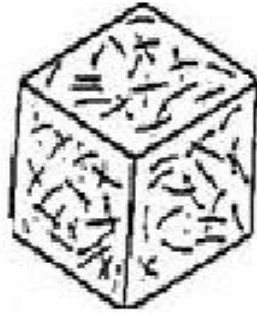
2- Takviye Elemanı: Silisyum Oksit, karbon, boron vb malzemelerden oluşur.

3- Katkı Maddeleri: Dolgu malzemeleri ve kimyasal malzemelerden oluşur.

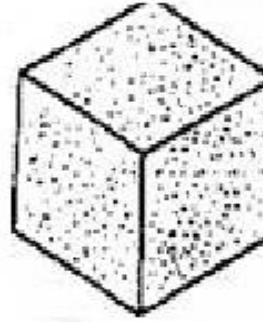


Şekil 3.2. Kompozit Malzeme Elemanları

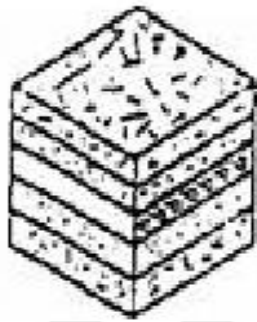
Kompozit malzemeler için genel bir sınıflandırma fiber türü üzerinden Şekil 3.3'deki gibi yapılabilir.



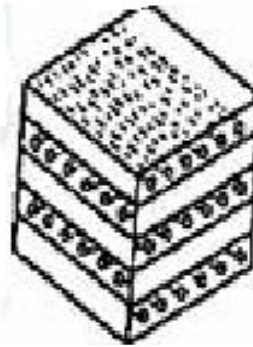
- Elyafli Kompozitler



-Parçacıklı Kompozitler



Tabakalı Kompozitler



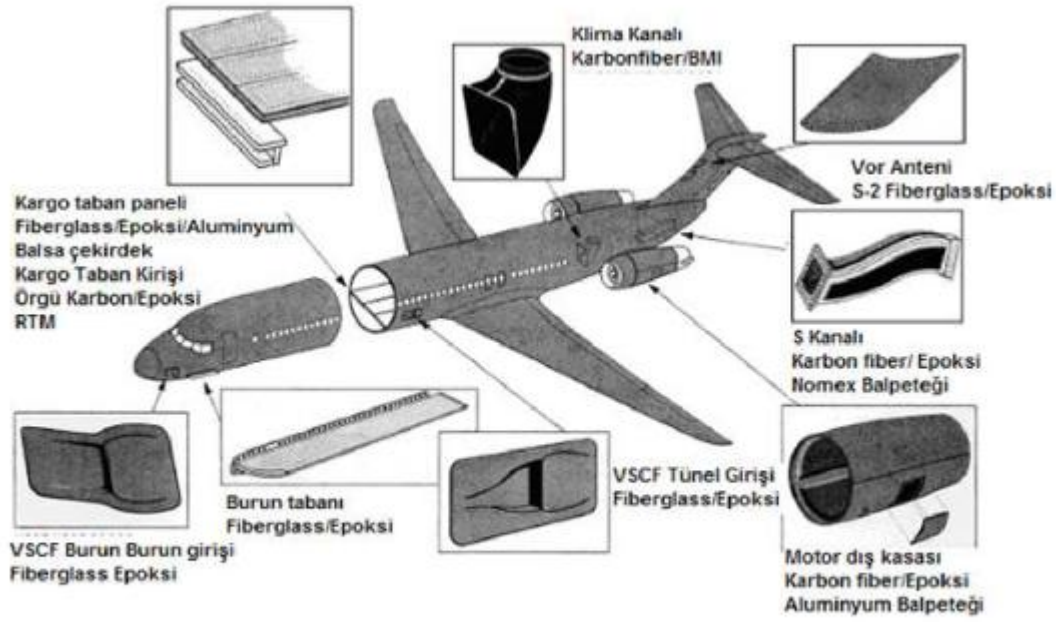
Karma Kompozitler

Şekil 3.3. Fiberleri göz önüne alınarak kompozitlerin sınıflandırılması

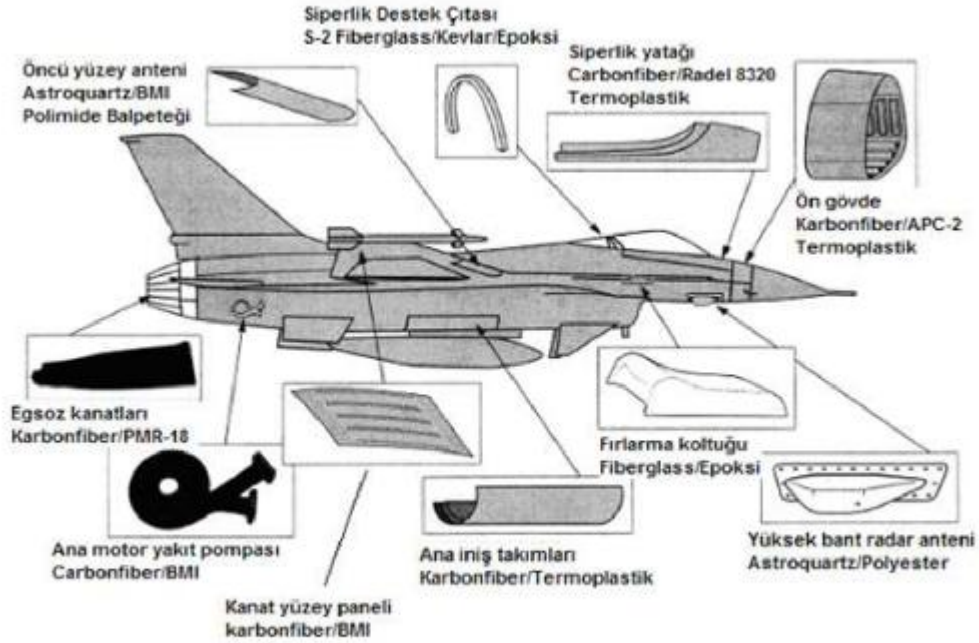
3.2 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

3.2.1 Havacılık Sanayi

Özellikle hafiflik sağlamlık ve rijitlik sayesinde askeri ve ticari havacılıkta ve uzay araçlarında en çok tercih edilen malzemeler kompozit malzemelerdir. Şekil 3.4'te yolcu ve askeri uçağa ait kompozit malzeme kullanılan kısımlar verilmektedir.



Ticari uçakta kompozit malzeme kullanımı



Askeri uçakta kompozit malzeme kullanımı

Şekil 3.4. Yolcu ve askeri uçakta kompozit malzeme kullanımı (Belevi ve İnancıer, 2008)

3.2.2. Denizcilik

Bir çok sürat teknesi, yat ve gemilerin parçalarında kompozit malzeme havacılık sektöründe olduğu gibi sağlamlık ve hafiflik için tercih edilmektedir. Genel olarak denizcilik sektöründe;

- Tekne gövdesi,
- Yelkenliler ve yatlar için yelken direğinde kompozit malzeme kullanımı yaygındır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kompozit malzeme kullanılan yat (<http://tur.turknotik.com/vagabond/>)

3.2.3. Askeri Alanda

Kompozit malzemeler askeri alanda da birçok kullanım alanı bulmuştur. Bunlar;

- Tank ve hava taşıtları için zırh (Şekil 3.6),
- Askeri taşıma araçlarında takviyelendirilmiş termoplastikler,
- Askeri araçlarda koltuklar, taban panel bileşenleri, gövde panelleri, takviye yapılar, motor kaplamaları, tekerlek yuvaları, korkuluk ve çamurluklar,
- Askeri başlık gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Kompozit askeri başlık (<http://www.savarbalistik.com.tr/content.php?icerikpk=4>)

3.2.4. Araç Sanayi

Spor araçlarda Formula arabalarında ve günlük hayatta kullandığımız birçok araçta toplu taşıma araçları ve hızlı trenler dahil olmak üzere kompozit malzeme kullanımı yaygınlaşmaktadır. Araç sanayide;

- Cam sileceği,
- Filtre kutusu,
- Pedallar,
- Dikiz aynası,
- Far gövdesi,
- Hava giriş manifoldu,
- Gösterge paneli,

- Kaporta gibi bir çok aksamda kompozit malzeme kullanımı gün geçtikçe metal ve diğer malzemelerin yerini almaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Karbon fiber araba (<https://www.donanimhaber.com/otomobil-eknolojileri/haberleri/Lamborghini-nin-770-beygirlik-yeni-super-otomobili-Centenario.htm>)

3.2.5. Diğer Sektörler

İnşaat sektöründe, müzik aletlerinde, tarımda bulunan bir çok malzeme kompozitlerden üretilmektedir. Bunun yanında sağlık sektöründe de kompozit malzeme kullanımı özellikle dişçilikte kompozit dolgu ve medikal gereçlerde kullanılmaya başlamıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kompozit diş dolgusu (Dishastaliklari.gen.tr)

3.3. Kompozitlerin Birleştirilmesi

3.3.1. Sökülebilir Bağlantılar

Cıvata, vida, somun, perçin gibi makine elemanlarından oluşmaktadır. Sökülebilir bağlantılar kompozit malzemede kullanıldığı zaman delik delme kesme gibi işlemlerde lif yapısına zarar verme durumu olduğundan kompozitin mekanik özellikleri etkilenir. Aynı zamanda mekanik bağlantılar yapılırken fazla sıkmadan kaynaklanan gerilmeler parçaya zarar verebilir ve mekanik özellikleri kötü yönde etkiler. Sökülebilir bağlantı elemanlarının avantajlarını aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Sökülebilir bağlantılar, yapıştırma bağlantılarına nazaran temiz bir ortama ihtiyaç duymazlar.

- Bağlantı elde edilirken fazladan parça kullanımına ihtiyaç duyulmaz, bu da yapıda hafiflik sağlar.

- Sökülebilir bağlantıların tamir ve bakımları kolaydır.

-Diğer bağlantı tiplerine göre daha basit olduğundan imalatları daha seridir.

- Oksidasyon, aşınma dışında çevresel faktörler ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmezler (Turan, 2009).

3.3.2. Sökülemez Bağlantılar

Kaynak, lehim, perçin ve yapıştırma işlemleri ile makine parçaları birbirine bağlar. Sökülemez bağlantıların avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Değişik türden malzemelerin birbirleriyle bağlantı yapmalarına imkan sağlar.

- Özellikle küçük alanlarda gerilme yoğunlaşmasını azaltmaları en önemli avantajlarından biridir.

- Bağlantı yerlerinde sızdırmazlık vazifesi görür.

- Bu bağlantılarda düşük ısıyla işlem yapıldığından termal değişimler ve çarpılmalara müsaade edilmez.

- Yorulma dirençleri iyidir.

- Bağlantı oluşturulacak yüzey birleştirme alanına yakındır.

- Darbe emicidir.

- Isı duyarlılığı olan malzemeler ortam sıcaklığında birleştirebilir (Turan, 2009).

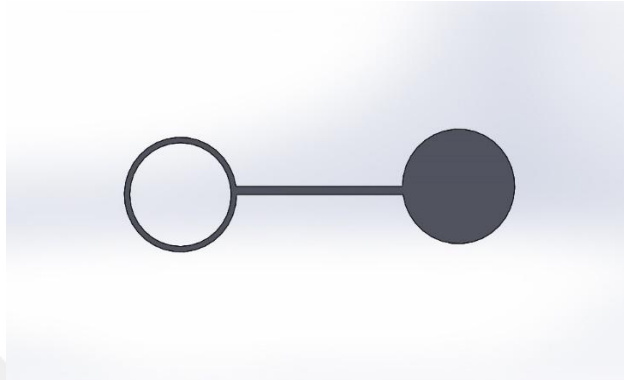
3.4. Yapışma

3.4.1. Yapışmanın Tanımı

En genel tabiriyle parçaları bir yardımcı yapıştırıcı madde ile birbirine bağlamaktır. Bu çalışmada yapıştırma bağlantıları üzerine durulacaktır. Yapıştırma sökülemez bağlantılar arasında bulunmaktadır ve günümüzde bir çok alanda kullanılmaktadır. Çalışmada yapıştırılmış kompozit malzemeler üzerinde sıcaklığın

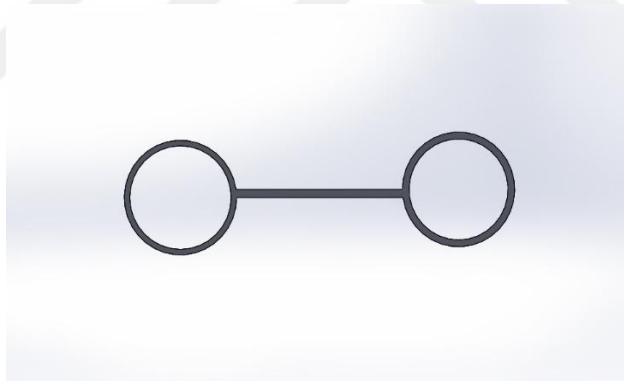
etkisi araştırılacaktır. Yapıştırma bağlantılarında önemli olan kullanılan yapıştırıcının cinsidir. Yapıştırıcının özelliklerini öğrenmeden önce yapıştırmayı bilmek gerekir. Yapıştırmayı anlamak için ıslatma yüzeyi adhezyon kuvveti ve kohezyon kuvvetinin bilinmesi gerekir. Yapıştırma malzemelerinin dayanımı bu bağlara bağlıdır.

Adhezyon bağı farklı malzeme molekülleri arasında olan bağıdır (Şekil 3.9).



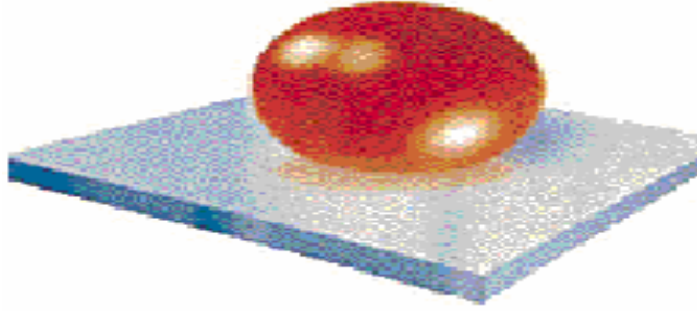
Şekil 3.9. Adhezyon Bağı

Kohezyon kuvveti aynı malzemenin kendi molekülleri arasındaki bağıdır (Şekil 3.10).

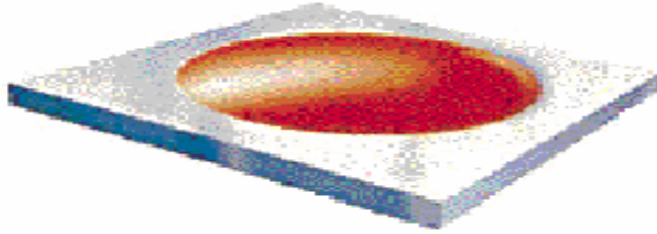


Şekil 3.10. Kohezyon Bağı

Islanabilirlik ise yapıştırıcı maddenin parça yüzeyine temas ettiği yüzeydir. İyi bir yapışmanın olabilmesi için ıslatılabilirlik iyi olmalı ve parça yüzeylerinin temiz olması gerekmektedir. Yapışmanın yeterliliği "su kopma testi" ile anlaşılır. Basit bir test olup yüzeye damlatılan su damlası eğer yayılmayıp kendi şeklini koruyorsa bu yeteri derecede temizlenmeyen yüzeyin göstergesidir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de düzgün olan ve olmayan ıslatmaya örnek verilmiştir.



Şekil 3.11. Yapıştırma yüzey hazırlığı yetersiz (Beylergil, 2010)



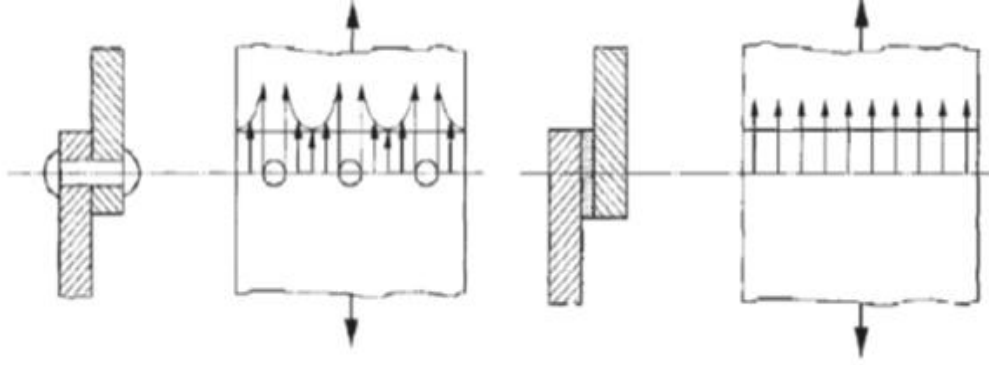
Şekil 3.12. Yapıştırma yüzey hazırlığı yeterli (Beylergil, 2010)

Yapıştırma bağlantılarının avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Değişik kalınlıklardaki yapı elemanlarına rahatlıkla uygulanabilir.
- Bu bağlantılar aynı zamanda conta görevi görürler.
- Yalıtım ve sönümleme kabiliyetleri iyidir.
- Kolay ve ucuz bağlantı biçimleridir.
- Birbirine bağlanacak elemanların yapılarına herhangi bir zarar vermedikleri için gerilme yığılması olmaz.
- Kullanım alanları oldukça yaygındır.
- Yapıştırılan bağlantılar arasındaki boşluklar rahatça giderildiğinden aralık ve galvanik korozyon oluşmaz.
- Gerilme birleştirmenin her noktasında hemen hemen aynı olduğundan, sürekli mukavemette yorulma kaynaklı hasar riskleri düşüktür.
- Dayanıklılık ve ağırlık oranları uygundur.
- Isı kaynaklı bir işlem olmadığı için artık gerilmeler meydana gelmez.

- Hassas tolerans değerlerine ihtiyaç duyulmaz (Temiz, 2003).

Yapışma bağlantılarındaki gerilme dağılımı sökülebilir bağlantıdaki ile kıyaslanabilir (Şekil 3.13). Yapışma bağlantısında daha düzgün bir gerilme vardır. Aynı durum sökülebilir bağlantıda mümkün değildir.



Şekil 3.13. Yapıştırma ve pim bağlantılarında gerilme dağılımı (Temiz, 2003)

Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Hassas uygulamalar için karmaşık gerilme analizleri yapma ihtiyacı duyulabilir.
- Çekme ve eğilme gibi dışsal zorlanmalara karşı dayanım güçleri yeterli değildir.
- Her ne kadar yeni tür yapıştırıcılarda çalışma sıcaklığı 450 °C'ye kadar çıkabiliyorsa da, bu bağlantılarda çalışma sıcaklığının artması mukavemeti düşürür.
- Bazı yapıştırıcı türlerinin kürleşme süreleri uzundur.
- Tahribatsız muayene ile kontrol edilmesi güçtür.
- Çevresel etkenler bağlantı ömrünü etkiler.
- Yapıştırılacak yüzeylerin iyi temizlenmesi gerekir.
- Viskoelastik özellikli malzemeler olduklarından yaşlanma ve sürünme görülebilir.
- Bazı çözücülere karşı dayanıklılıkları düşüktür (Temiz, 2003).

3.5. Burkulma

Mekanik bir yapının ani bir şekilde hasar almasına neden olan iki ana sebep vardır: malzeme hasarı ve genelde burkulma olarak adlandırılan yapısal kararsızlık. Burkulma aynı zamanda flambaj olarak da isimlendirilir (Şekil 3.14).

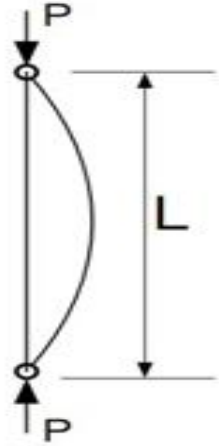
Ekseninden baskıya zorlanan ince bir sütunun kesitinin boyuna oranı küçük ise, bu sütunda burkulma oluşabilir. Burkulmanın meydana geldiği yük, yapının dayanımına değil, rijitliğine bağlıdır. Bu olay bir stabilite problemidir. Burkulmanın oluşması için parçadaki hesaplanan gerilmenin muhakkak gerilme sınırlarını aşması veya bu sınırlara yaklaşması gerekli değildir. Bu sebeple emniyetli mukavemet değerlerinin çok çok altında burkulma gerçekleşebilir. Parçanın geometrisi hiçbir zaman ideal bir şekilde olmayacağı ve kuvvet de hiçbir zaman tam ağırlık merkezi ekseninden etkisini göstermeyeceği için, basma yükleri altında her zaman burkulma olayı oluşabilmektedir.

Burkulma, genellikle kullanılan doğrusal (lineer) sonlu elemanlar analizi yöntemi ile hesaplanmaz. Bu tür burkulma problemleri $|K + \lambda_m K_F| \delta_m = 0$ şeklindeki özdeğer-özvektör denklemleriyle çözülebilir. Burada λ_m m-inci mod için burkulma yük faktörüdür (BLF), K_F yüklemenden kaynaklanan gerilmelerden dolayı ilave “geometrik sertlik” ve δ_m ise m-inci moda ait burkulma deplasman şeklidir. Burkulma hesaplaması ile burkulmaya sebep olan yükün büyüklüğünü hesaplamaya yarayan bir çarpan bulunur. Bu çarpan yardımıyla uygulanan yükün burkulmaya neden olup olmadığı bilinebilir.

Leonhard Euler uzun zaman önce ince bir kolonun burkulması için gerekli olan kritik bir yük bulunduğunu göstermiştir. Küçük miktarda yük uygulandığında kolon düz kalacak ve kuvvete dayanacaktır. Yük miktarı arttırıldığında, en küçük bir dengesizlik, kolonun büyük bir yer değiştirme ile yana doğru kıvrılmasına neden olur. En basit durum, her iki ucu da sabitlenmiş ancak uç noktalarının dönebildiği bir kolonun, P yükü altındaki davranışdır. X , kolon eksenindeki düşey uzaklık ve y de yanal yer değiştirme olsun. Herhangi x noktasındaki eğilme momenti P_y 'dir ve yer değiştirmeye birlikte artmaktadır. Bunun anlamı, herhangi bir burkulmanın daha fazla şekil değiştirmeye sebep olabileceğini ve burkulma sebepli büyük hasarların nedenini göstermektedir.

Basma kuvvetine maruz kalan uzun ince bir elemanın, kuvvet yönüne göre yanal hareket ettiği “Euler burkulması” Hooke kanunlarının geçerli olduğu, cisimlerin elastik

bölgesi için geçerlidir. Böyle bir burkulma hareketinin gerçekleşmesi için gerekli olan F kuvveti, kirişin iki ucunun nasıl sınırlandırıldığına bağlı olarak belirlenen faktörler ile değişmektedir. Bu nedenle, burkulma çalışmaları, diğer analizlere kıyasla yapıya uygulanan sınırlamalara karşı daha duyarlıdır (Korkut, 2017).



Şekil 3.14. Burkulma

Burkulmanın oluşabilmesi için çubuğa kuvvet uygulanması gerekir. Bu kuvvete P ise;

$0 \leq P_{kr} \leq P$ ise burkulma olmaz; $P \leq P_{kr}$ burkulma oluşur.

P_{kr} hesaplanırken 3 farklı yöntem uygulanır.

- 1) Euler yöntemi
- 2) Tetmajer yöntemi
- 3) ω yöntemi

Hangi yöntemin kullanılacağına ise narinlik derecesine (λ) bakılarak karar verilir.

$\lambda > 100$ için Euler yöntemi

$60 < \lambda < 100$ Tetmajer yöntemi

$60 > \lambda$ için ω yöntemi kullanılır.

$$\lambda = \sqrt{\frac{AL_b^2}{I}} \quad (3.1)$$

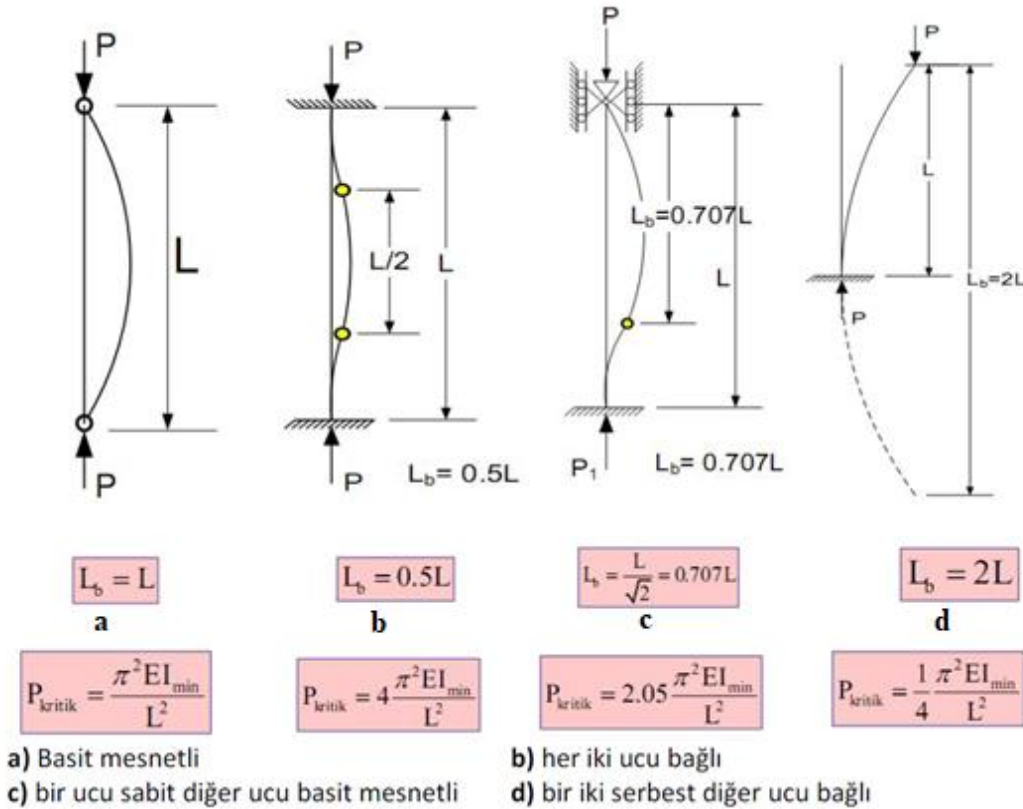
L_b = Burkulma (Flambaj) boyu (mm)

λ = Narinlik derecesi

A = Kesit alanı (mm²)

I = Atalet momenti (mm⁴) Dikdörtgen kesit: $\frac{1}{12}bh^3$ Dairesel kesit: $\frac{\pi}{4}r^4$

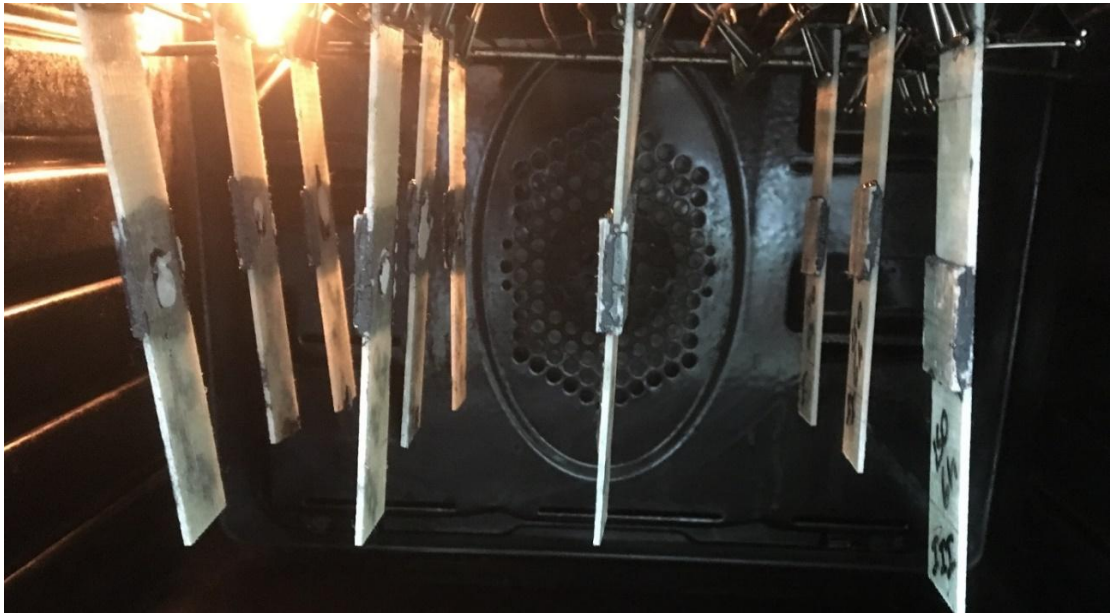
Euler yöntemine göre dört farklı sınır şartı için kritik burkulma yükleri Şekil 3.15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Euler yöntemine göre burkulma durumu
(<https://teknikbilgi.files.wordpress.com/2011/04/burkulma2.jpg>)

3.6. Termal Yaşlanma

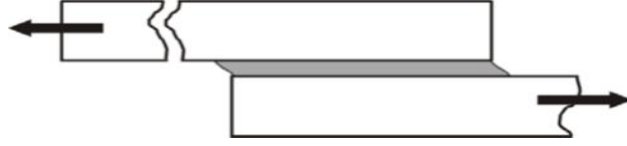
Malzemenin belli bir süre sıcaklıkta bekletilmesi sonucu sıcaklığın malzemenin yapısına etkiyerek mukavemet özelliklerinde değişime sebep olması işlemine termal yaşlanma denir. Termal yaşlanma doğal olabileceği gibi malzemeye yapay ortamlarda belirli zaman aralıklarına bağlı olarak uygulanıp yapılabilir. Termal yaşlanma malzemenin iç yapısında değişiklikler yapacağından malzemenin mukavemet özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Şekil 3.16'da yapay termal yaşlandırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Termal yaşlandırma işlemi

3.7. Yapıştırıcılar

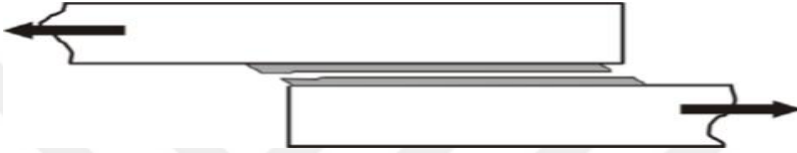
Yapıştırıcıların kullanılıncaya alan ve uygulanacak yüzeye en uygun olacak şekilde seçilmesi mekanik davranışları etkileyeceğinden önemlidir. Birbirine yapışan yüzeylerle birlikte aradaki yapıştırıcı tabakasında onlarla birlikte defalarca hareket edip esneyeceğinden dayanıklı olması gerekmektedir. Daha önceden üretilen polyester tabanlı yapıştırıcılar çok fazla kırılgan olmaktadır. Kırılganlık sorununun önüne geçmeye çalışırken ise de fazla esneyen yapıştırıcılar endüstriyel alanda pek işe yaramamaktaydı. Fakat artık günümüzde vinilester reçinelerle çok daha dayanıklı yapıştırıcılar imal edilmektedir. Yapıştırılan parçalar Şekil 3.17 ve Şekil 3.22 arasındaki gibi mekanik yüklere maruz kalmaktadır.



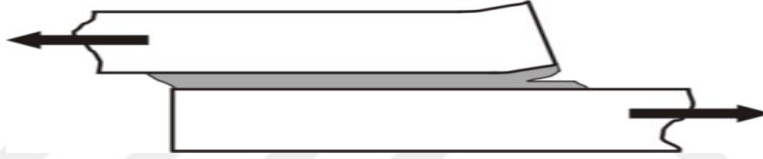
Şekil 3.17. Yapışmış Kırılma (Yarrington ve ark., 2005)



Şekil 3.18. Kompozit Yapışan İnterlaminik Kırılma (Yarrington ve ark., 2005)



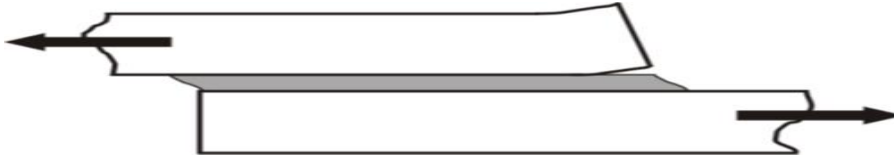
Şekil 3.19. Yapışkan Kırılma - Kesme (Yarrington ve ark., 2005)



Şekil 3.20. Yapışkan Kırılma – Peel (Yarrington ve ark., 2005)



Şekil 3.21. Yapışkan (Yapışma çizgisi) Kırılma-Kayma (Yarrington ve ark., 2005)



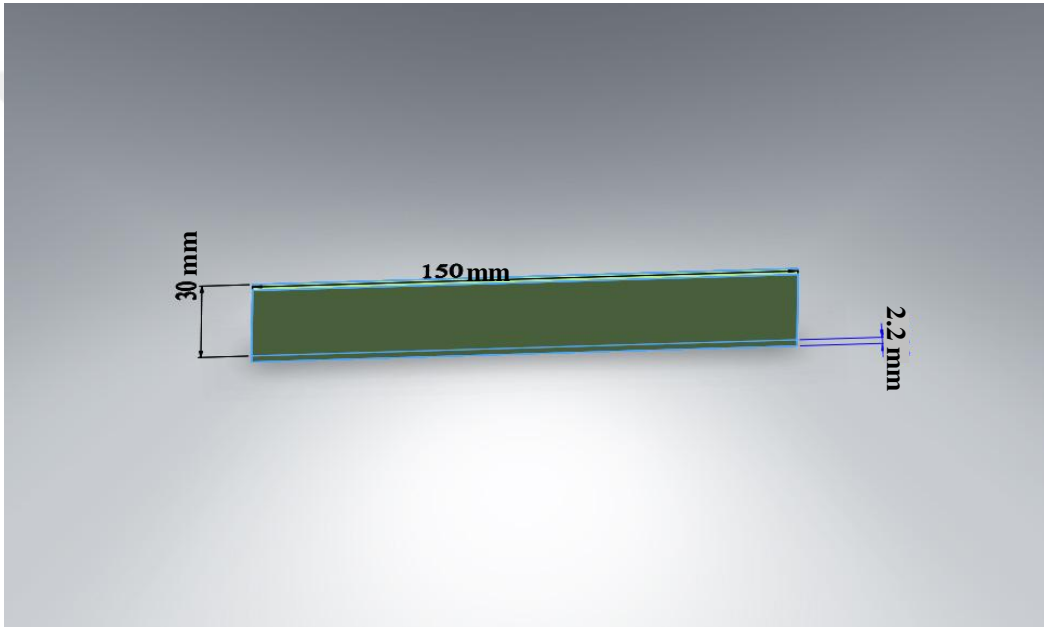
Şekil 3.22. Yapışkan (Yapışma çizgisi) Kırılma-Soyma (Yarrington ve ark., 2005)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yama kullanılarak yapıştırıcı ile tamir edilmiş kompozit levhaların burkulma yükü deneysel olarak belirlenecektir. Deneyde kullanılacak sıcaklık ve zaman parametreleri açıklanacaktır.

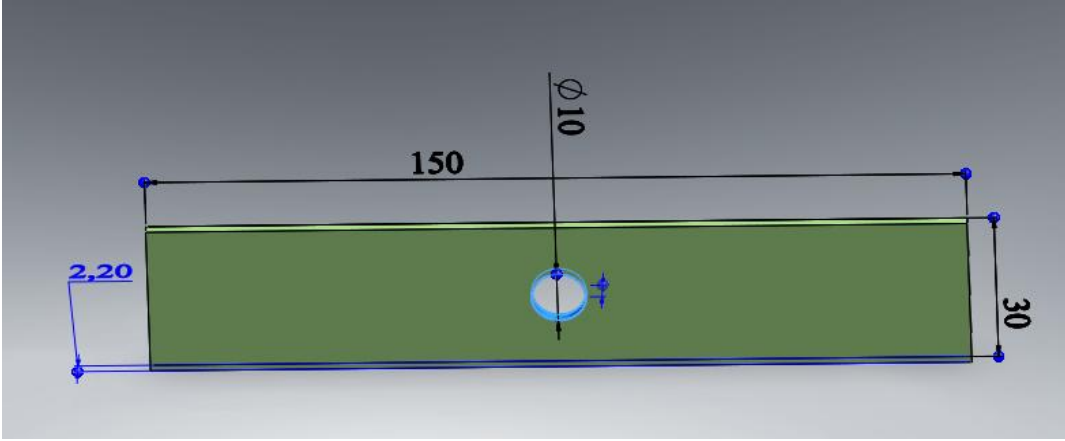
4.1. Problemin Modeli

Bu çalışmada 150 mm x 30 mm x 2.20 mm boyutlarında levhalar kullanılmıştır. Levhalar Şekil 4.1'deki gibi hazırlanmıştır. Tamir içinse aynı numunelerden elde edilen 30 mm x 30 mm x 2.2 mm boyutundaki kompozit yamalar kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutları

Numunelerde hasarı oluşturmak için tam orta noktası belirlenerek 10 mm çapında bir delik açılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Numunelerde hasar oluşturmak için açılan delik

4.2. Numunelerin Hazırlanması

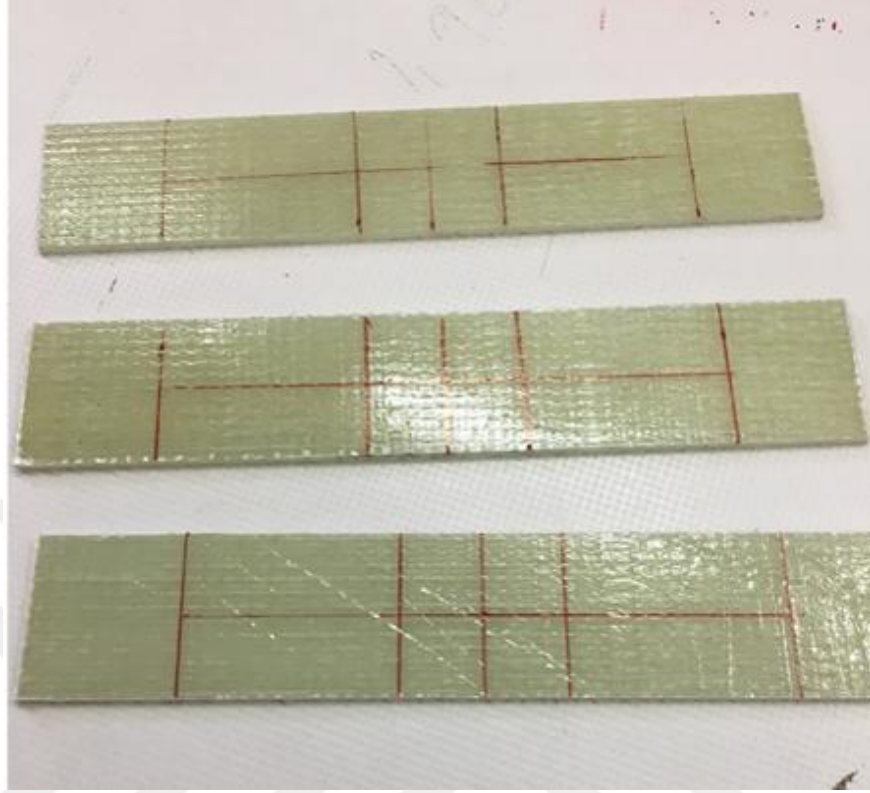
Yapıştırma işlemlerinin en zor kısımlarından biri yapışma yüzeyinin istenilen özelliklere getirmektir. Bunun için iyi bir temizlik yapılması gerekmektedir. Çünkü ıslatılabilirlik yapışmanın olmazsa olmazıdır. Yapışma işlemine gelmeden önce numuneler Şekil 4.3'te gösterildiği gibi kesilip hazırlanmıştır.

Numunelerin istenilen ölçülere gelmesi elektrikli testere yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. İstenilen ölçülere göre kesilmiş numuneler

Kesim işlemi bittikten sonra markalama işlemi yapıldı (Şekil 4.4).



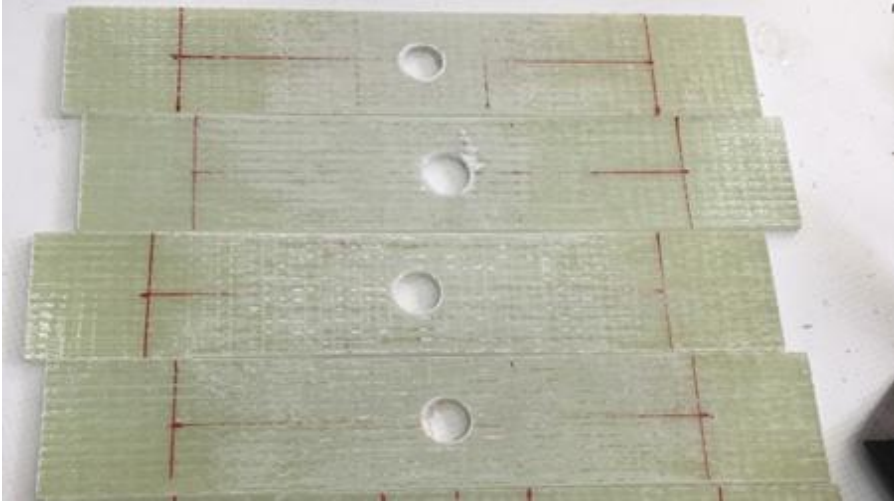
Şekil 4.4. Markalanmış numuneler

Markalama işlemi bittikten sonra tam orta noktasından 10 mm olacak şekilde matkap ile hassas olarak delinmiştir (Şekil 4.5).



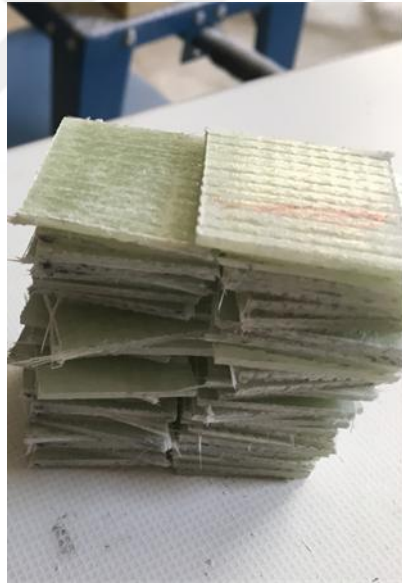
Şekil 4.5. Matkap ile delinmiş numune

Delme işlemi bittikten sonra en zor kısım olan yapıştırılacak yüzeyin hazırlanması için öncelikle zımparalama işlemidir. Zımparalama işlemi sonrasında yüzey aseton ile temizlenerek yüzey ıslatılabilirliği maksimum seviye olacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 4.6).



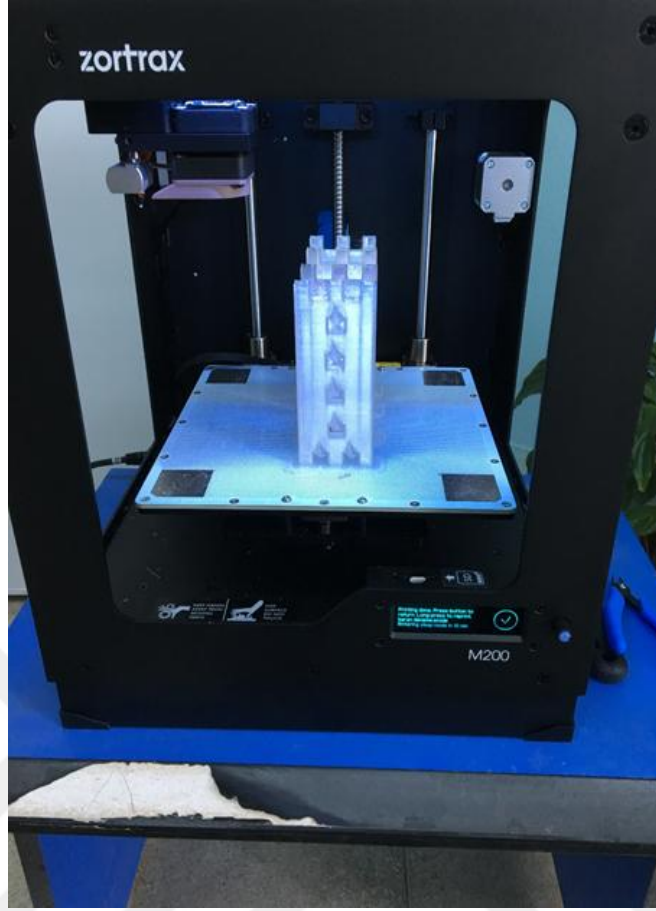
Şekil 4.6. Zımparalama ve aseton ile temizlenme işlemi bitmiş numuneler

Numunelerin hazırlanması bittikten sonra yamaların hazırlanmasına geçildi. Yamalar yine aynı elektrikli testerede kesilerek zımparalandıktan sonra yapıştırılacak yüzeyleri numunelerde olduğu gibi aseton ile temizlenmiştir (Şekil 4.7).



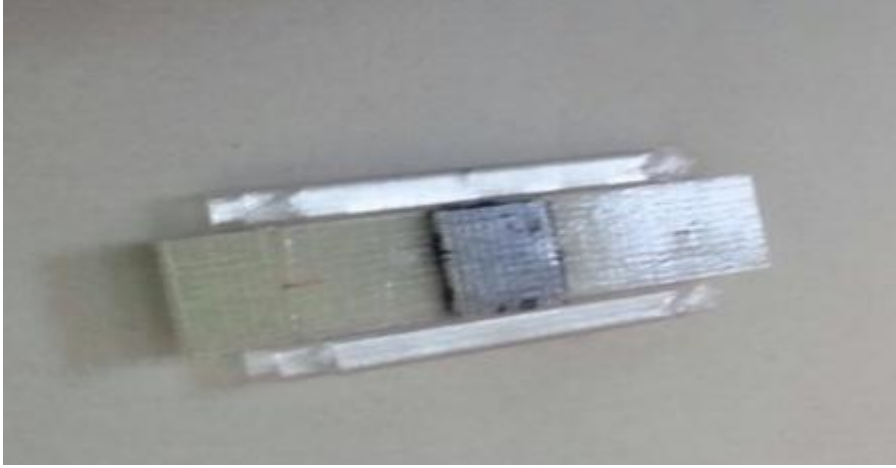
Şekil 4.7. Yapıştırmaya hazır yamalar

Bu işlemleri bitirdikten sonra bütün bu işlemlerin en hassas noktası olan kalıpları hazırlama işlemine geçildi. Kalıplar Zortrax marka üç boyutlu yazıcıda hassas bir şekilde oluşturuldu. Toplam 4 adet kalıp oluşturuldu. Bunlar; 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz olacak şekilde 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığına uygun kalıplardır (Şekil 4.8).

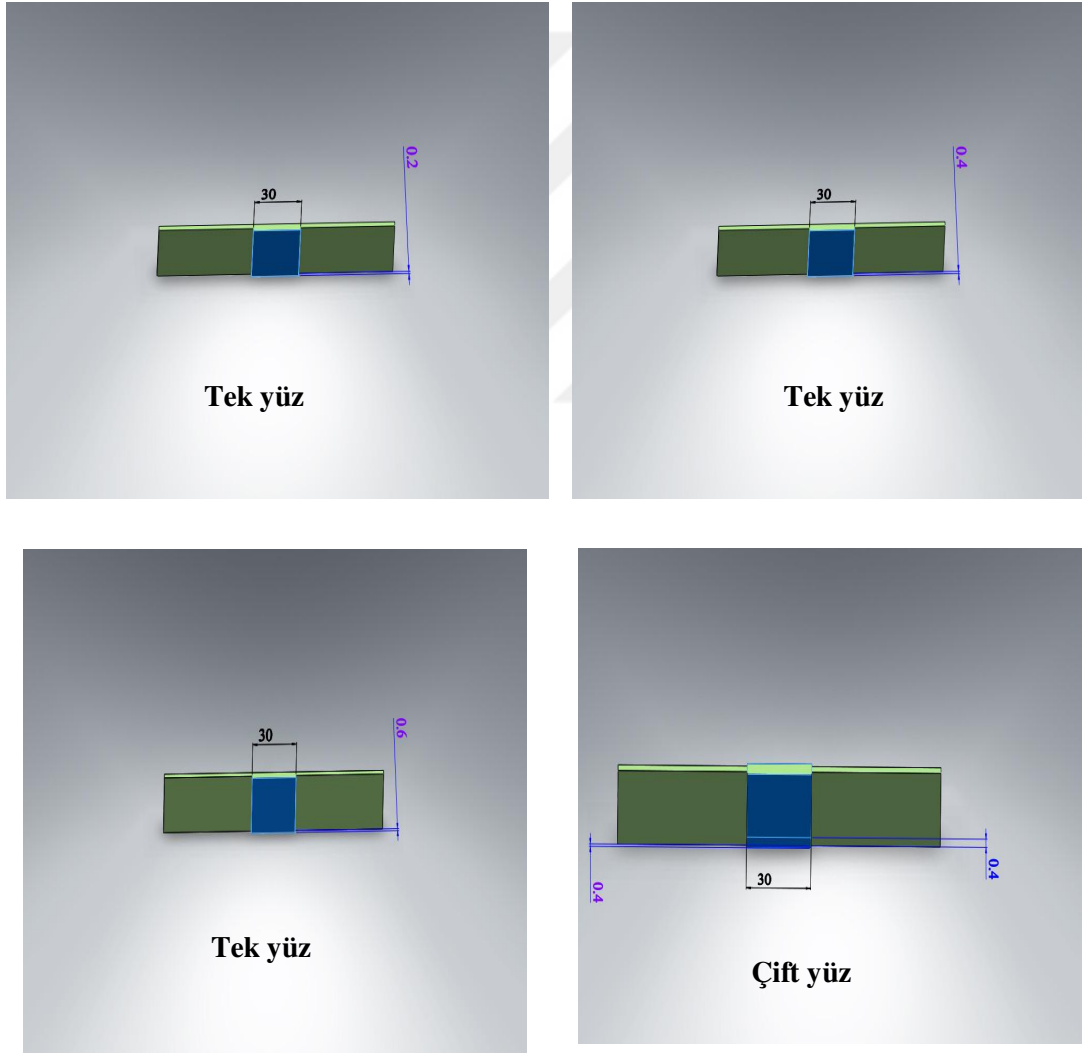


Şekil 4.8. Üç boyutlu yazıcıda kalıpların oluşturulması

Kalıpların hazırlanma işlemi bittikten sonra hazırlanan numunelerin yapıştırma işlemine geçildi. Yamalar ticari bir ürün olan Loctite 3471™ marka çift bileşenli yapıştırıcı ile yapıştırıldı (Şekil 4.9). Yapıştırıcı iki ayrı tüpten oluştuğundan dolayı yapıştırıcıyı eşit oranda karıştırmak için hassas terazi kullanıldı. Karışımın dayanıklı olması için maksimum 20 gr alınarak uzun süre karışım yaparak homojenlik sağlandı. Yapıştırıcı yama yüzeyine sürüldükten sonra kalıpta hazır bekleyen levhanın üzerine bırakıldı ve bir baskı uygulanarak yapıştırıcının eşit olarak yüzeye dağılması sağlandı (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Yapıştırıcı sürülmüş yamanın kalıba oturtulması



Şekil 4.10. Yapıştırıcı kalınlığına bağlı olarak yama ile yapıştırılmış numunelerin gösterimi

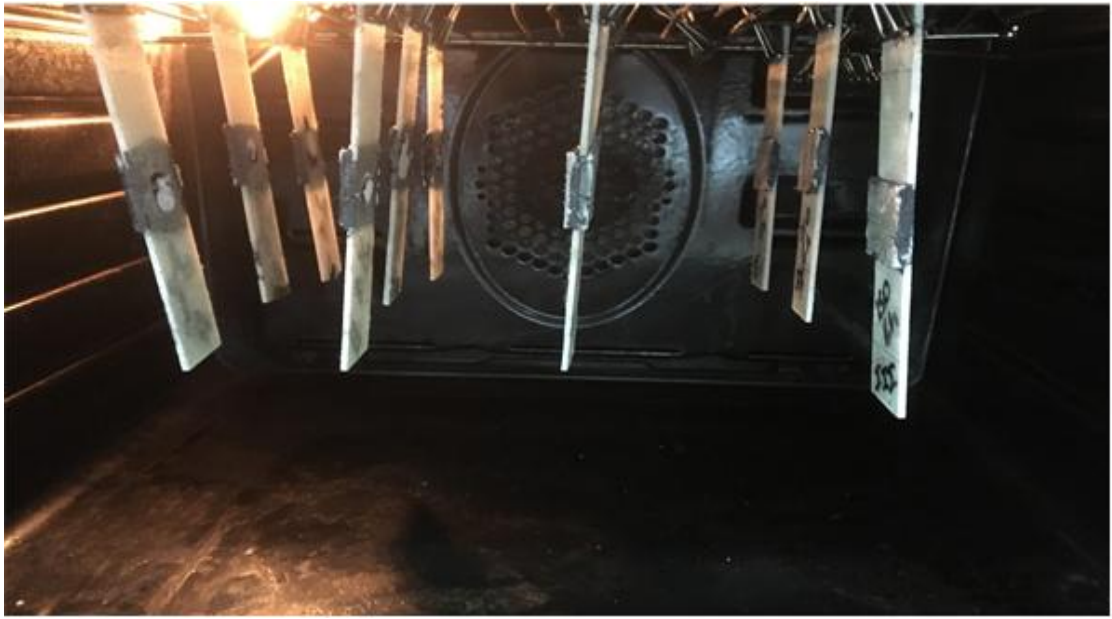
Yapıştırma işlemi bittikten sonra numuneler yapıştırıcının tam yapışmasını sağlamak ve sıcaklıktan etkilenmesini önlemek için sıcaklığa tabi tutmadan önce 1 hafta kürleşme süresine tabi tutuldu 1 hafta süre geçtikten sonra termal yaşlandırma işlemi fırında 75 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklarda 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle bekletildiler. Bu parametreler bütün 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz 0.8 mm yapıştırıcı kalınlıklarına uygulanmıştır. Sıcaklık kontrolü termostat ile sağlandı. Termostatın hassasiyeti ± 5 °C olarak alındı. Sıcaklı kontrolü lazer işaretlemeli dijital termometre ile yapıldı. Fırınlama işleminden sonra tüm numuneler tekrar 1 hafta bekledikten sonra deneye tabi tutuldu (Şekil 4.11-12). Kontrol grubu olarak oda sıcaklığında bekletilmiş numuneler kullanıldı. Çizelge 4.1'de numunelere uygulanan termal yaşlanma zaman değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelere uygulanan termal yaşlanma ve zaman değişimi çizelgesi

	Deliksiz	Delikli	0.2 mm yama	0.4 mm yama	0.6 mm yama	0.8 mm yama
0 SAAT	ODA SICAĞLIĞI	ODA SICAĞLIĞI	ODA SICAĞLIĞI	ODA SICAĞLIĞI	ODA SICAĞLIĞI	ODA SICAĞLIĞI
2 saat	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık
4 saat	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık
6 saat	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık
8 saat	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık	75 °C sıcaklık
2 saat	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık
4 saat	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık
6 saat	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık
8 saat	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık	100 °C sıcaklık
2 saat	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık
4 saat	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık
6 saat	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık
8 saat	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık	150 °C sıcaklık



Şekil 4.11. Numunelerin hazırlanması



Şekil 4.12. Termal yaşlandırma işlemi

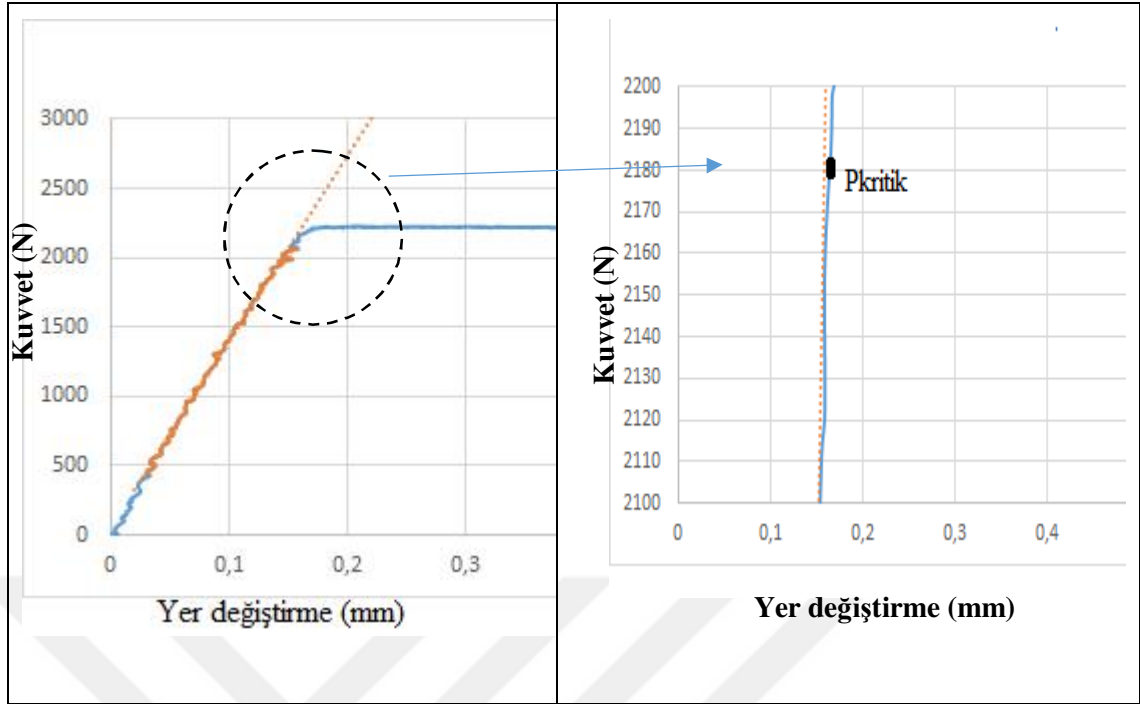
4.3. Deneyin Yapılışı

Numuneler Dicle Üniversitesinin Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında hazırlandıktan sonra deneyler Dicle Üniversitesi Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her parametre için 3 numune hazırlanmıştır. Bütün numuneler 30 mm 'lik uç kısımlarından deney cihazının çenelerine bağlandıktan sonra Şekil 4.13'deki 100 kN'luk Instron Bs 880 çekme test cihazıyla ASTM standartlarına göre ortam neminin malzeme özelliklerine etkisi olmadığı varsayılarak burkulma deneyi yapılmıştır. Burkulma test hızı 1mm/dk uygulanmıştır. Cihazın alt çenesi hareketli üst çenesi sabittir. Numuneleri bağlarken eksenlemeye dikkat edilmiştir. Numunelerin alt ve üst çeneye bağlanma hizası daha önceden yapılmış markalama yerlerindendir. Her

bir numunenin burkulma sırasında şekil değişimleri, hasara uğrama şekilleri gözlemlenmiş gerekli bilgiler not edilmiştir. Deney numunelerinden elde edilen sonuçlar deney cihazına bağlı bilgisayardan alındıktan sonra yük yer değiştirme grafiği 2 sefer üst üste çizilip 2. grafikte belirli bir kısım silindikten sonra çizilen teğet doğru ile grafikte doğrusallığın bozulduğu yük noktasının ilk noktası kritik burkulma yükü olarak alınmıştır. Şekil 4.14'te kritik burkulma yükünün tespiti gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Deney makinesi ve makineye bağlanmış numune



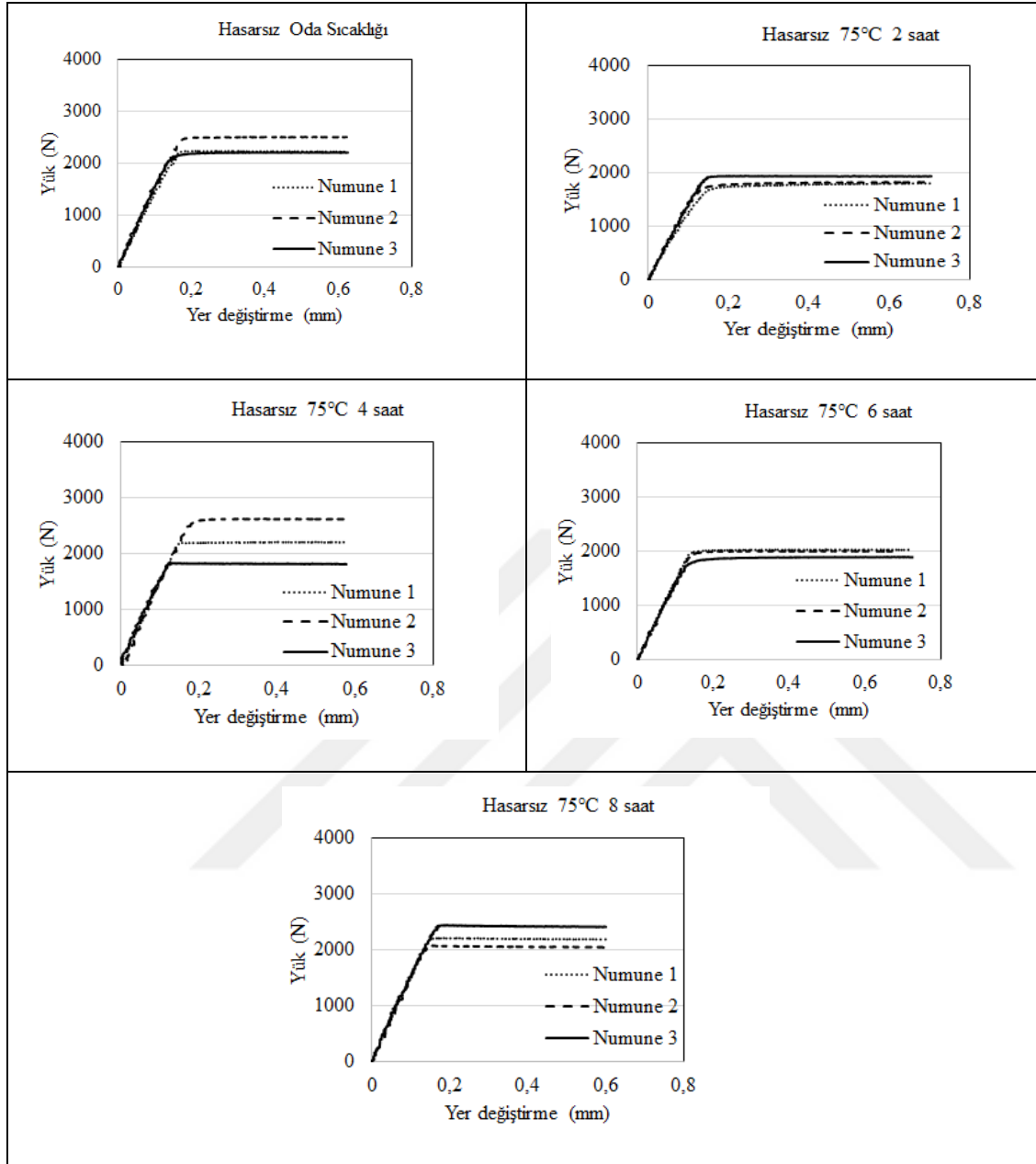
Şekil 4.14. P kritik yükünün bulunması

4.4. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Bu kısımda yapıştırıcı kalınlığı, zaman ve sıcaklığın değişimine bağlı olarak hasar yüküne etkileri grafikler üzerinde incelenecektir.

4.4.1. Hasarsız Levhaların Deney Sonuçları

Hasar görmemiş numunelerin oda sıcaklığındaki yük-yer değiştirme eğrileri lineer olarak artmakta ve malzemenin P_{kr} yük noktasını geçtikten sonra doğrusal olarak devam etmektedir.



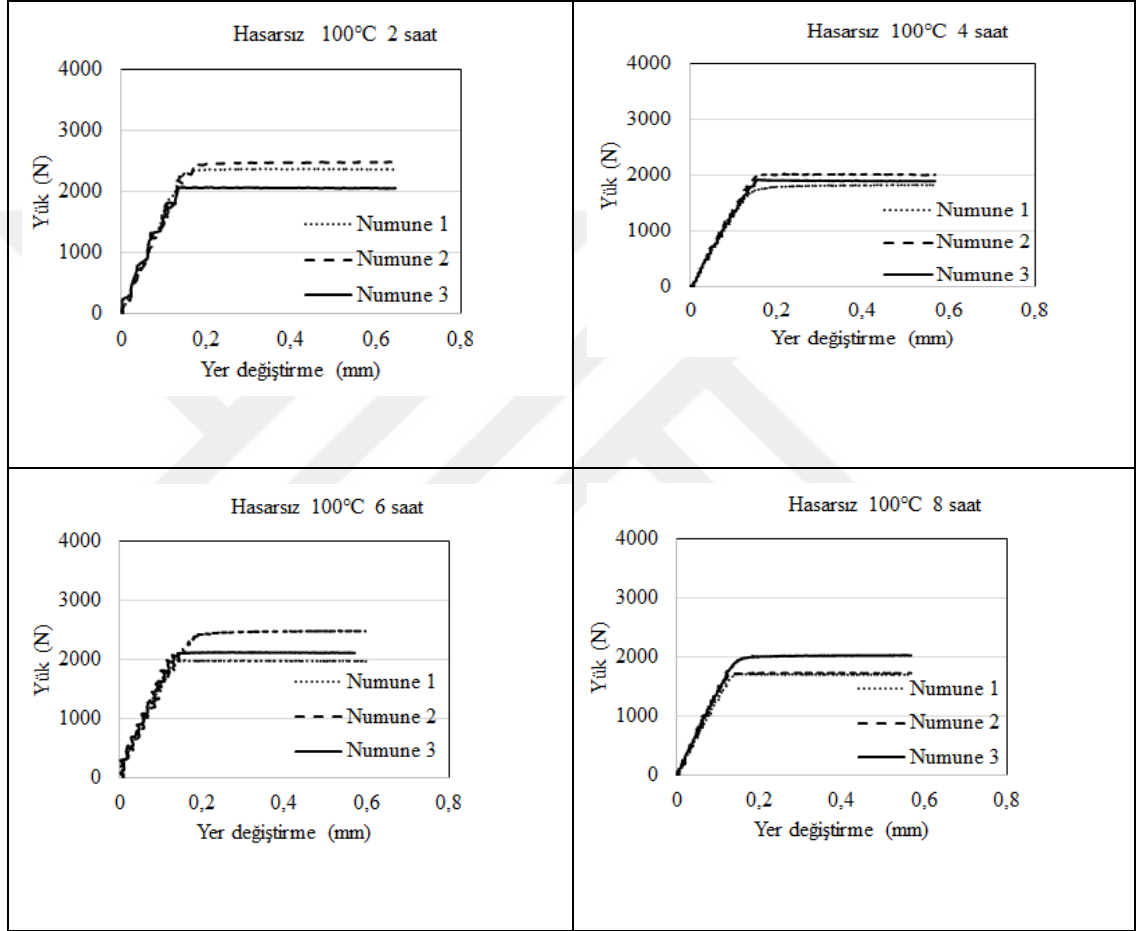
Şekil 4.15. Hasarsız numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numuneler için elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.

Hasarsız numunelerin 75 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafik eğriler oda sıcaklığında olduğu gibi lineer artış sergilemekte ve P_{kr} yük noktasını geçtikten sonra doğrusal olarak devam etmektedir (Şekil 4.15-17).

75 °C sıcaklıktaki termal yaşlanmanın 2 saat süreli bekleme süresinde P_{kr} yükünde artışa sebep olmakta ve süre 4 saate uzadıktan sonra düşüş yaşanmaktadır. Sürenin 6 saate çıkmasından sonra hafif bir artış tekrar gözlenmektedir. En düşük değerler ise termal yaşlanmanın 8 saat süreyle uygulanması sonucu elde edilmiştir. 75

°C sıcaklıktaki aynı sürede ki deney numuneleri zaman zaman birbirine yakın P_{kr} değerine ulaşsa da bazen değerler arası fazla olmaktadır. Bu en fazla 4 saat süreli termal yaşlandırmada gözlenmiş olup 8 saat süreli termal yaşlanmada da 4 saat süreli kadar olmasa da farklılık vardır.

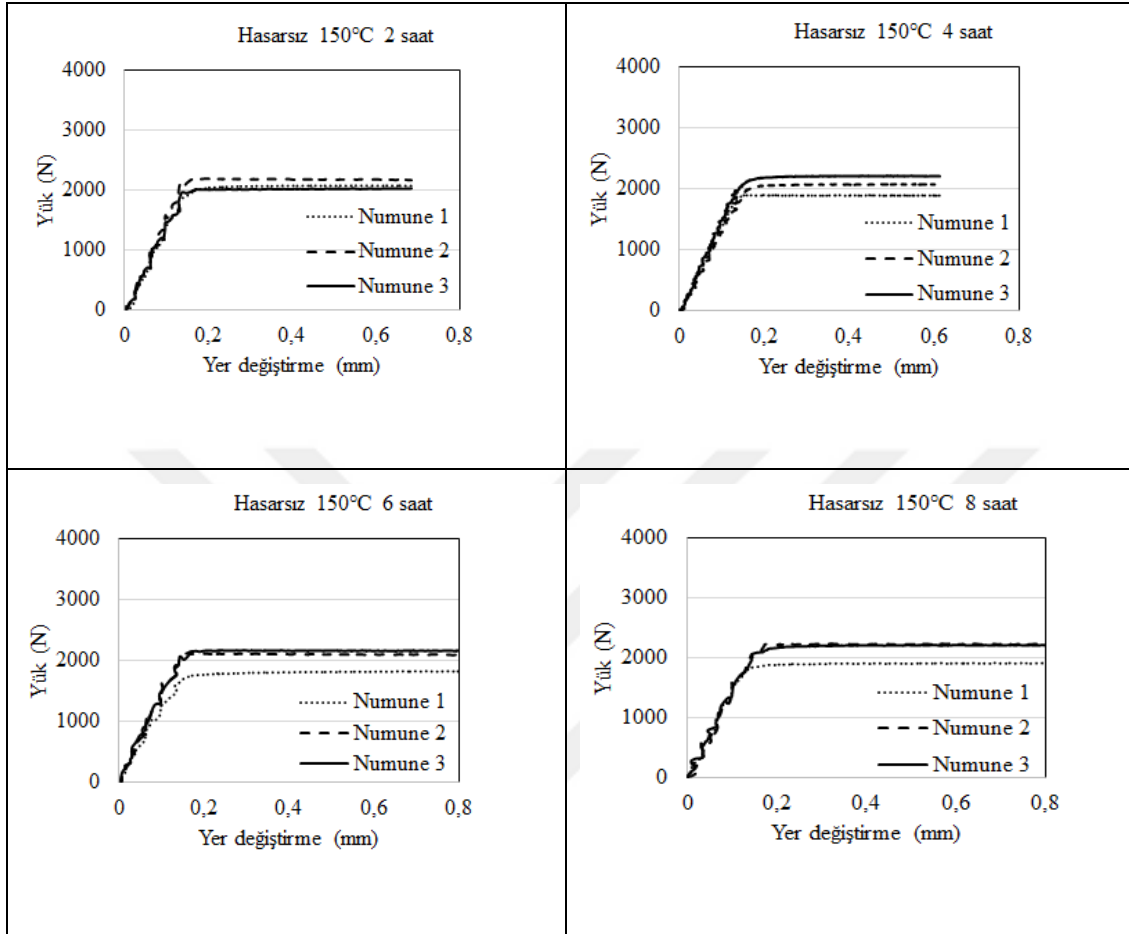
Hasarsız numunelerin 100 °C sıcaklıktaki yük-yer değiştirme grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Hasarsız numunelerin 100°C sıcaklıkta 2, 4, 6 ve 8 saat bekleme süresinde elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri

100 °C sıcaklıkta da 75 °C sıcaklıkta olduğu gibi 2 saat süreli termal yaşlandırma ile en yüksek P_{kritik} yük değeri elde edilmiş olup en düşük değer termal yaşlanmanın 8 saat süreyle uygulanması sonucu elde edilmiştir. Hasarsız levhalarda 100 °C sıcaklıkta ve aynı süredeki deney numunelerinde 2 saat ve 6 saat süreli termal yaşlandırmaya uğramış numunelerde P_{kr} değerleri 4 saat ve 8 saat süreli termal yaşlandırmaya uğramış numunelerdekine nazaran daha farklı sonuçlar vermiştir.

150 °C sıcaklıktaki 2, 4, 6 ve 8 saat termal yaşlanma grafikleri Şekil 4.17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17. Hasarsız numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2, 4, 6 ve 8 saat bekleme süresinde elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.

150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış numunelerde diğer termal yaşlandırma gibi devam etmekte fakat diğer sıcaklıklardakine nazaran 6 saat termal yaşlanma süresinde elde edilen yük değeri oda sıcaklığının üzerinde bir değerdedir. Hasarsız levhalarda aynı sürede 150 °C sıcaklıkta olan deney numunelerindeki değerler diğer 75 °C ve 100 °C sıcaklığa nazaran yaklaşık değerler vermişlerdir.

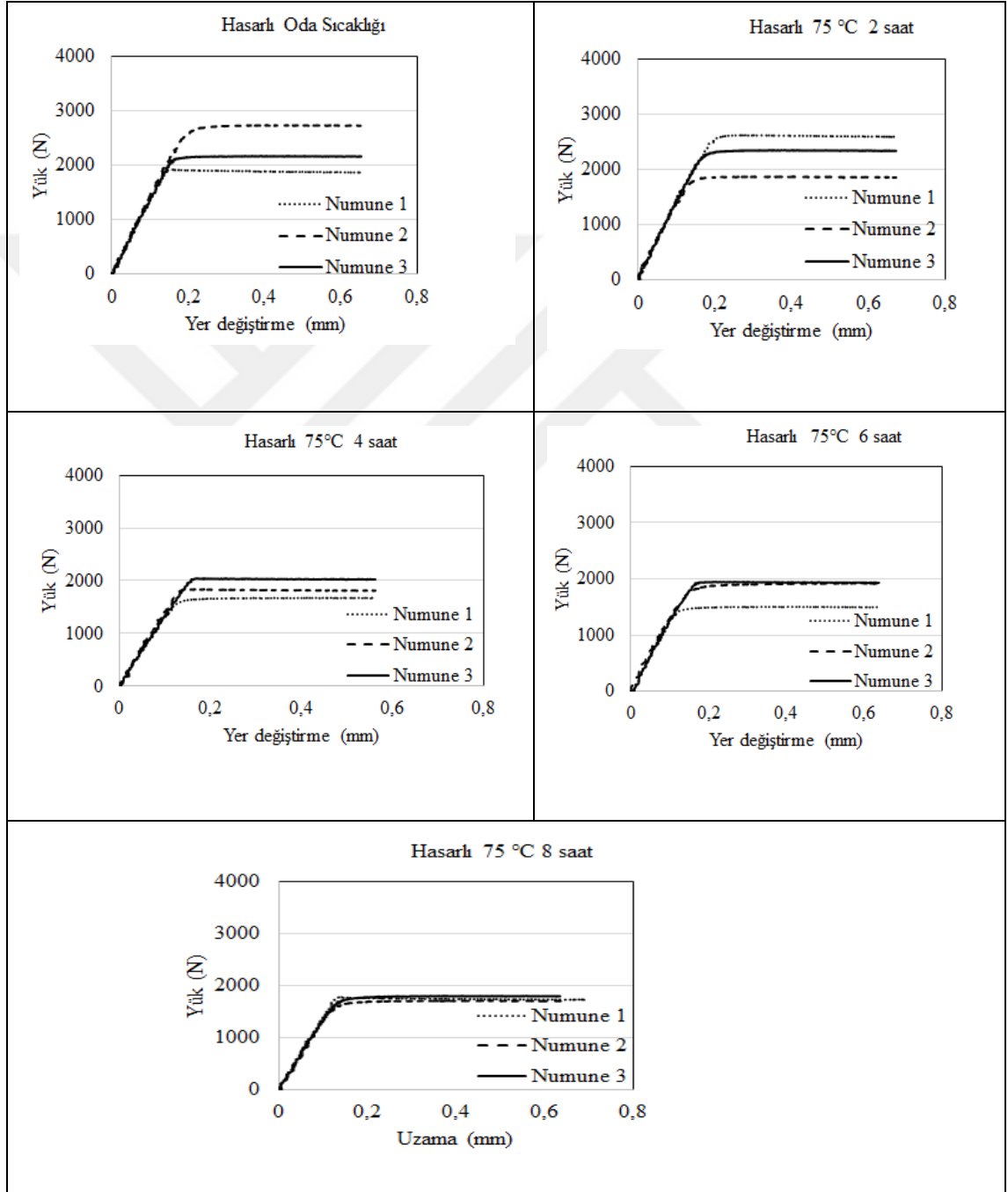
4.4.2 Hasarlı Levhaların Deney Sonuçları

Termal yaşlanmanın etkilerini görebilmek için hasar tek tip olarak numunenin tam ortasından 10 mm delinerek burkulma deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri sunulmuştur.

Hasarlı numunelerde yük değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. Şekil 4.18-20'de hasarlı numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat

süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri verilmiştir.

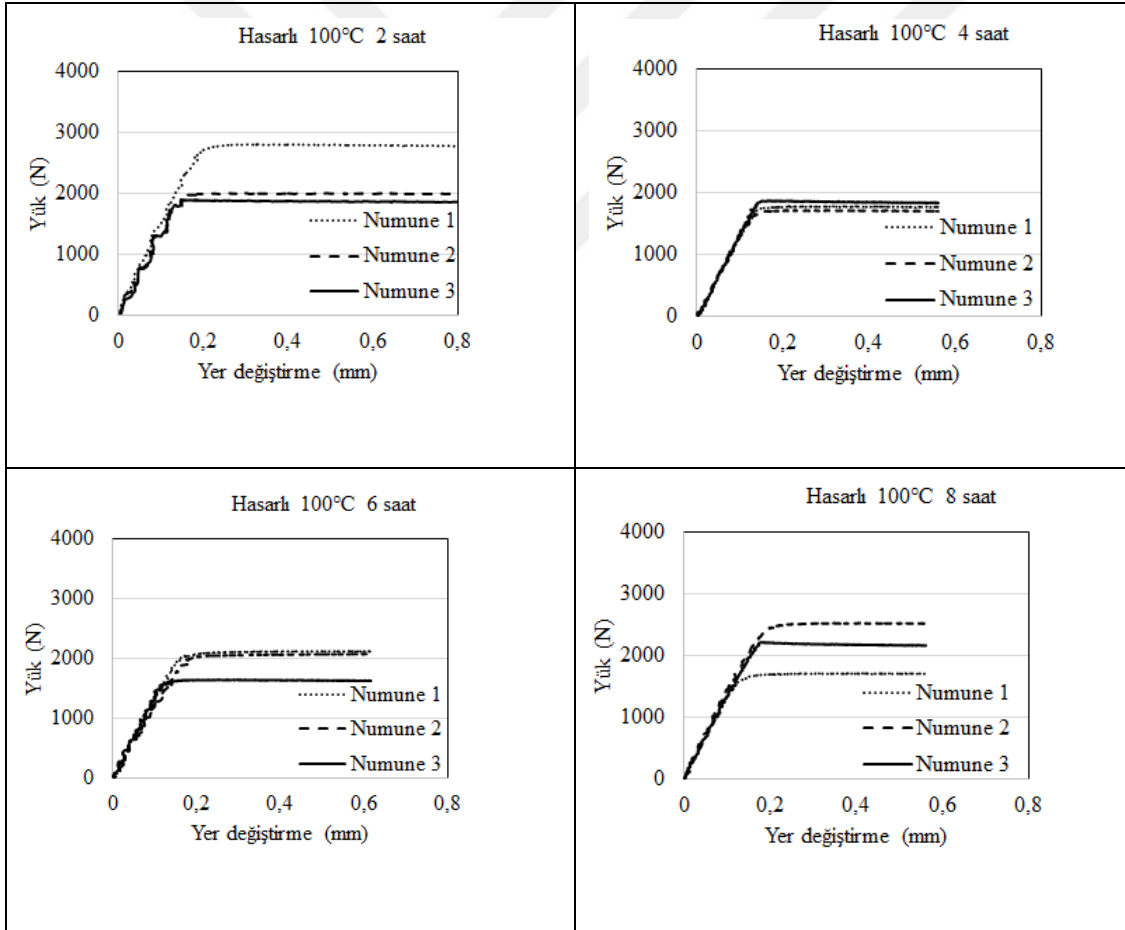
Hasarlı numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Hasarlı numunelerin oda sıcaklığı ile 75 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.

Hasarlı numunelerde hasarsız numuneler gibi termal yaşlanmanın etkilerine maruz kaldıklarında yük değerlerinde değişimler gözlenmiştir. 75 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlanma sonucunda en iyi yük değerleri 2 saat süreli uygulanan termal yaşlanma ile elde edilmiş olup 6 saat süreli termal yaşlanma sonucunda da yük değeri oda sıcaklığının üzerinde bir değere ulaşmaktadır. Hasarlı levhalarda 75 °C sıcaklıkta ve 8 saat süreli termal yaşlandırılarak deneye tabi tutulan deney numunelerinin P_{kr} yükü değerleri diğer süredeki numunelere nazaran birbirlerine yakın sonuçlar vermemişlerdir.

Hasarlı numunelerin 100 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 4.19'daki gibidir.

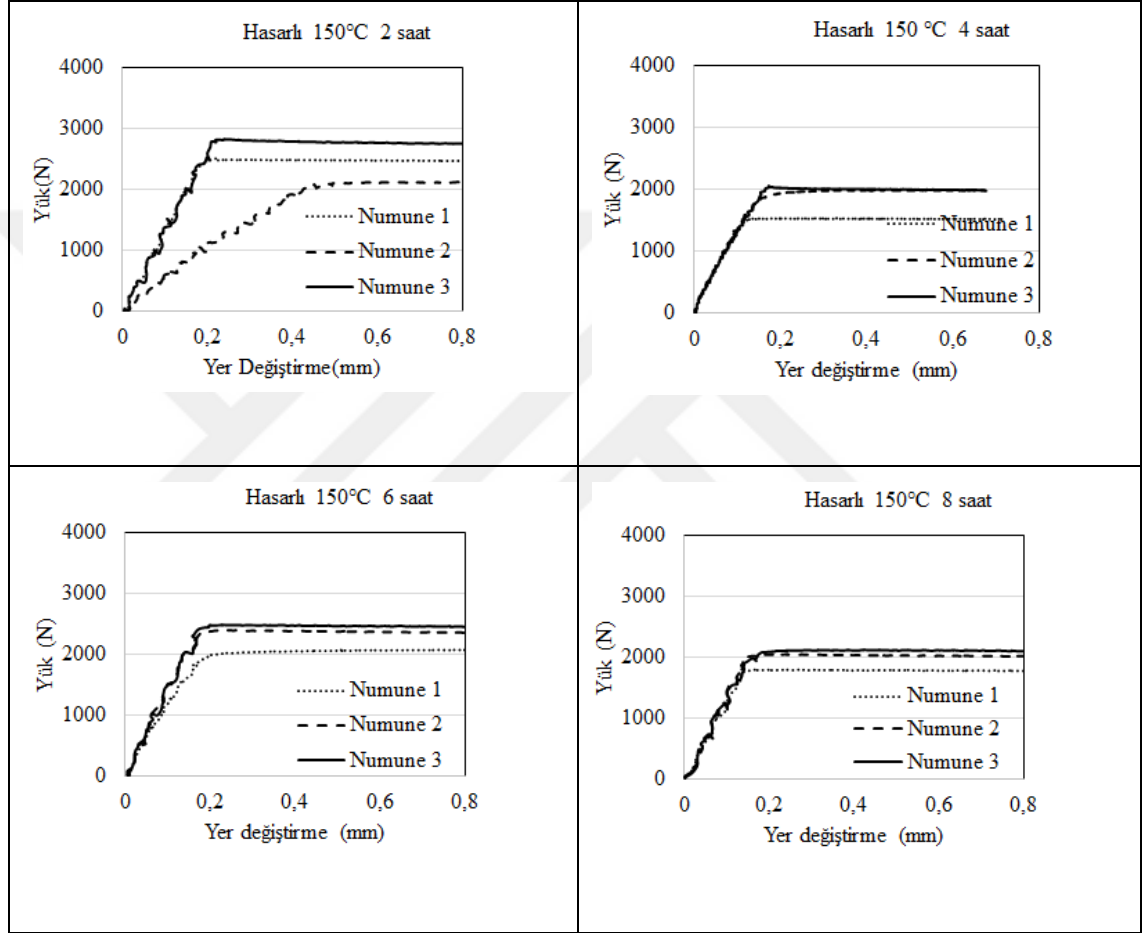


Şekil 4.19. Hasarlı numunelerin 100 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.

100 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucunda da en iyi sonuç 2 saat süreli termal yaşlandırma ile elde edilmiş 8 saat te yine bir artış gözlenmekte ama elde edilen

yük değeri oda sıcaklığını geçememektedir. 100 °C sıcaklıktaki aynı sürede deneye tabi tutulan numunelerde P_{kr} değeri farklılıkları 2 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırılmışlar da fazladır.

Hasarlı numunelerin 150 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 4.20'deki gibidir.

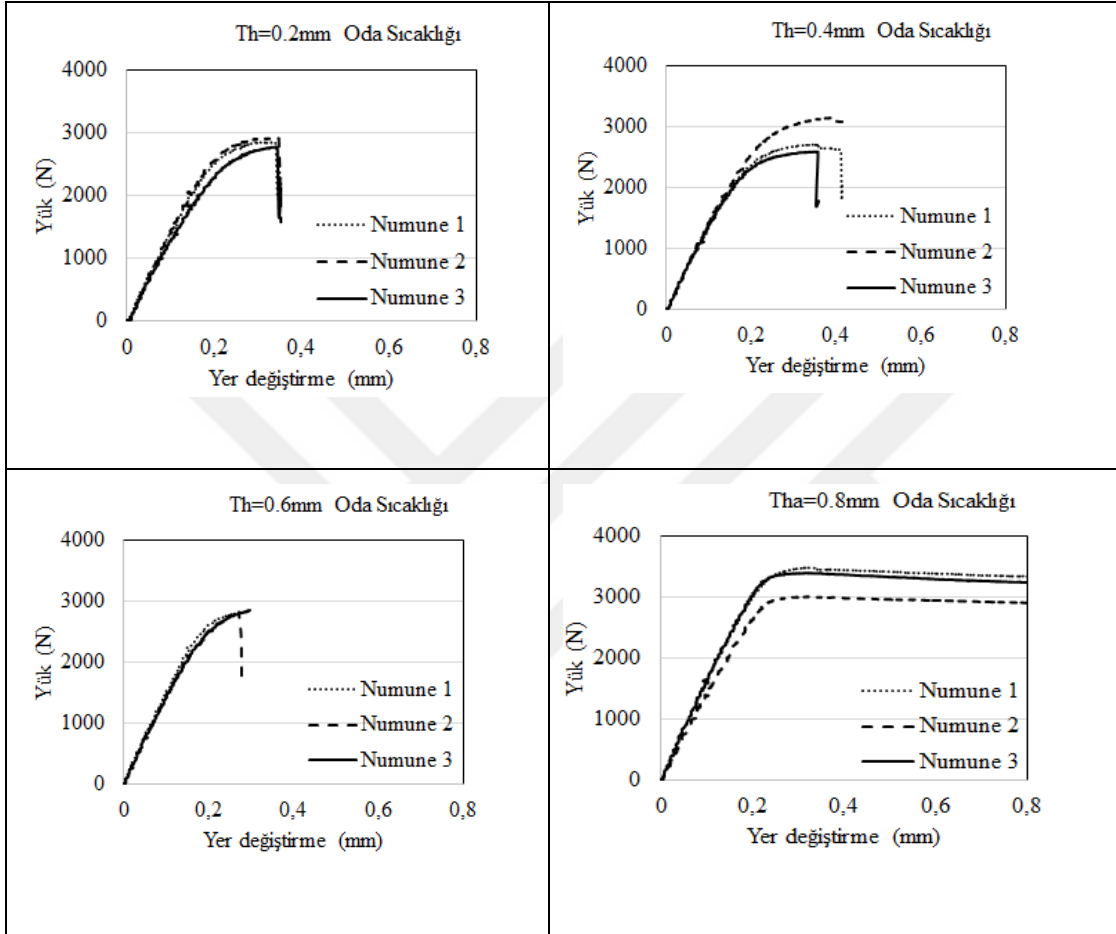


Şekil 4.20. Hasarlı numunelerin 150 °C sıcaklıkta ve 2, 4, 6, 8 saat süreyle termal yaşlanmaya uğramış numunelerin elde edilen yük-yer değiştirme grafikleri.

150 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlanma sonucunda da en iyi yük değerleri 2 saat süreli uygulanan termal yaşlanma ile elde edilmiş olup 6 saat süreli termal yaşlanma sonucunda da yük değeri oda sıcaklığının üzerinde bir değere ulaştığı saptanmıştır. 150 °C sıcaklıkta aynı sürede deneye tabi tutulan numunelerde 2 saat süreli termal yaşlandırma da elde edilen değerler arası farklılık en fazladır.

4.4.3. Yama ile Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Deneysel Sonuçları

Hasar görmüş numunelerin 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığı ile kompozit yama ile tamir edilmiş numunelerin oda sıcaklığında ki deneysel çalışma sonuçları Şekil 4.21’de verilmiştir.

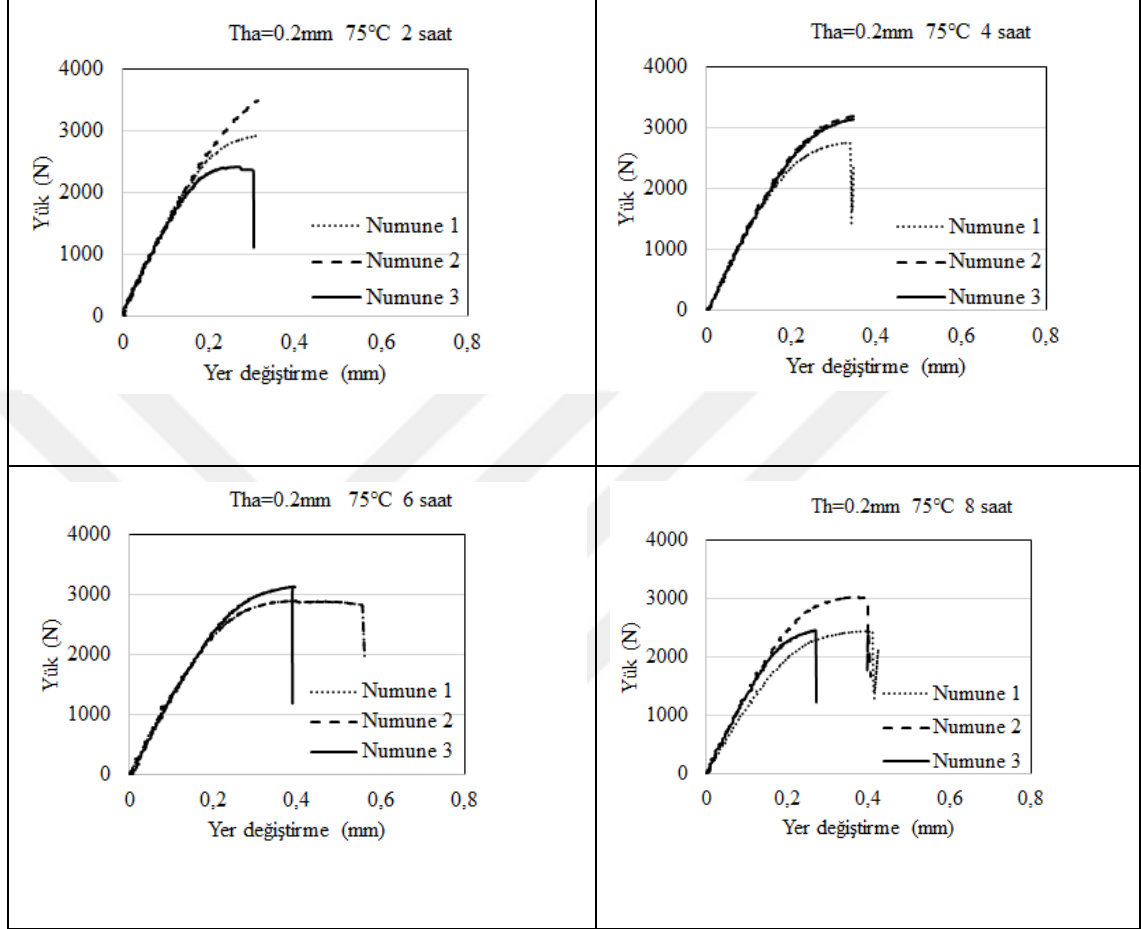


Şekil 4.21. Hasar görmüş numunelerin 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığı ile kompozit yama ile tamir edilmiş numunelerin oda sıcaklığında ki deneysel çalışma grafikleri.

4.4.4. 75 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları

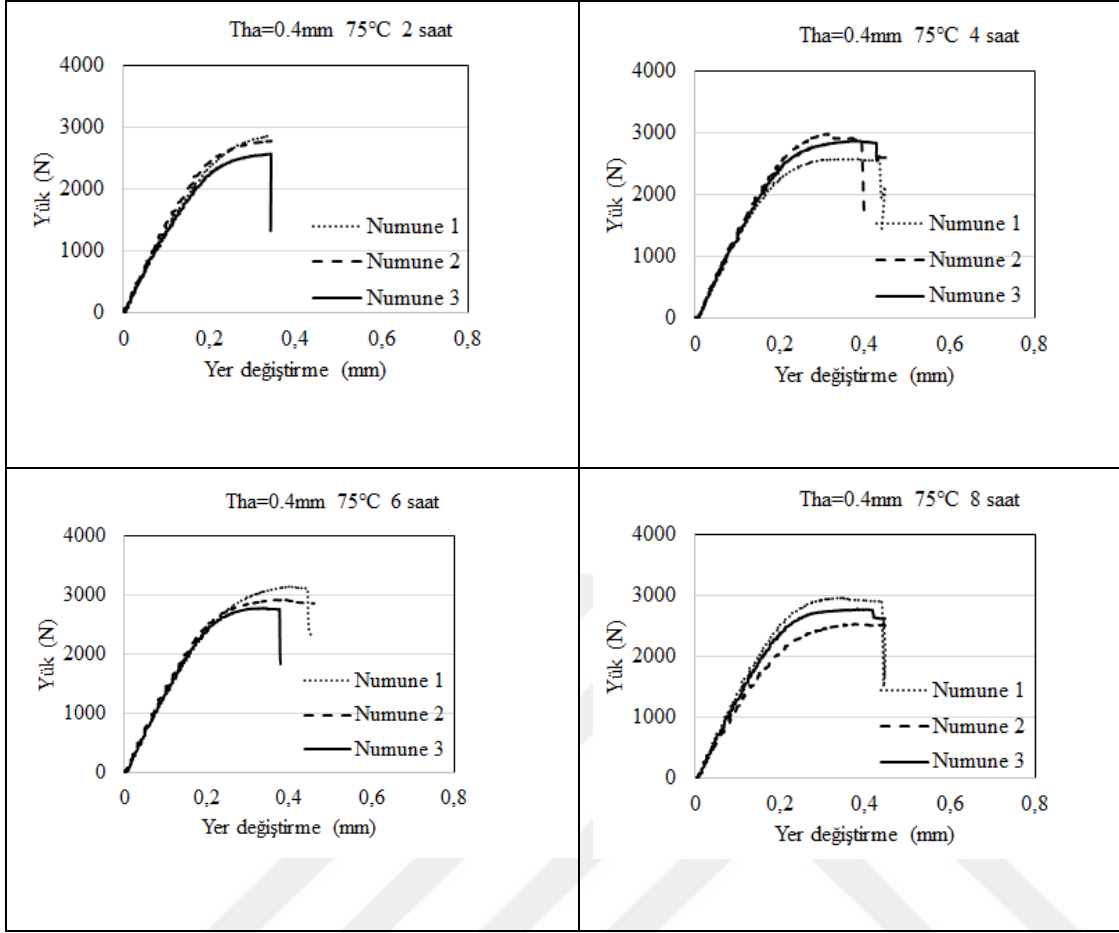
75 °C sıcaklıkta termal olarak yaşlandırılmış numuneler 2 saat, 4 saat, 6 saat ve saat süreli termal yaşlandırmalara tabi tutulmuş olup bu parametreler her bir 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlıklarına uygulanmıştır. Bu sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 4.22’de yapıştırma kalınlığı (Th) 0.2 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



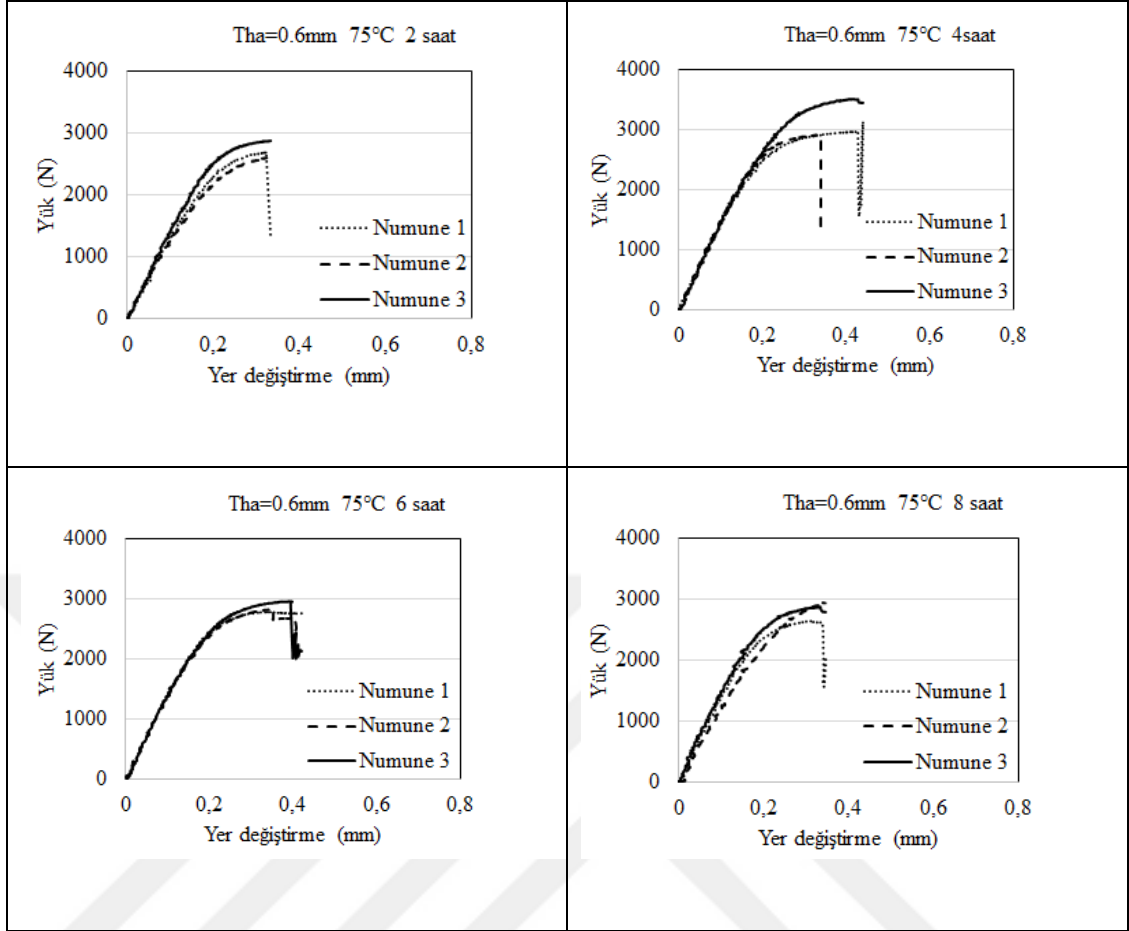
Şekil 4.22. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Th) = 0.2mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.23’de $Th = 0.4$ mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



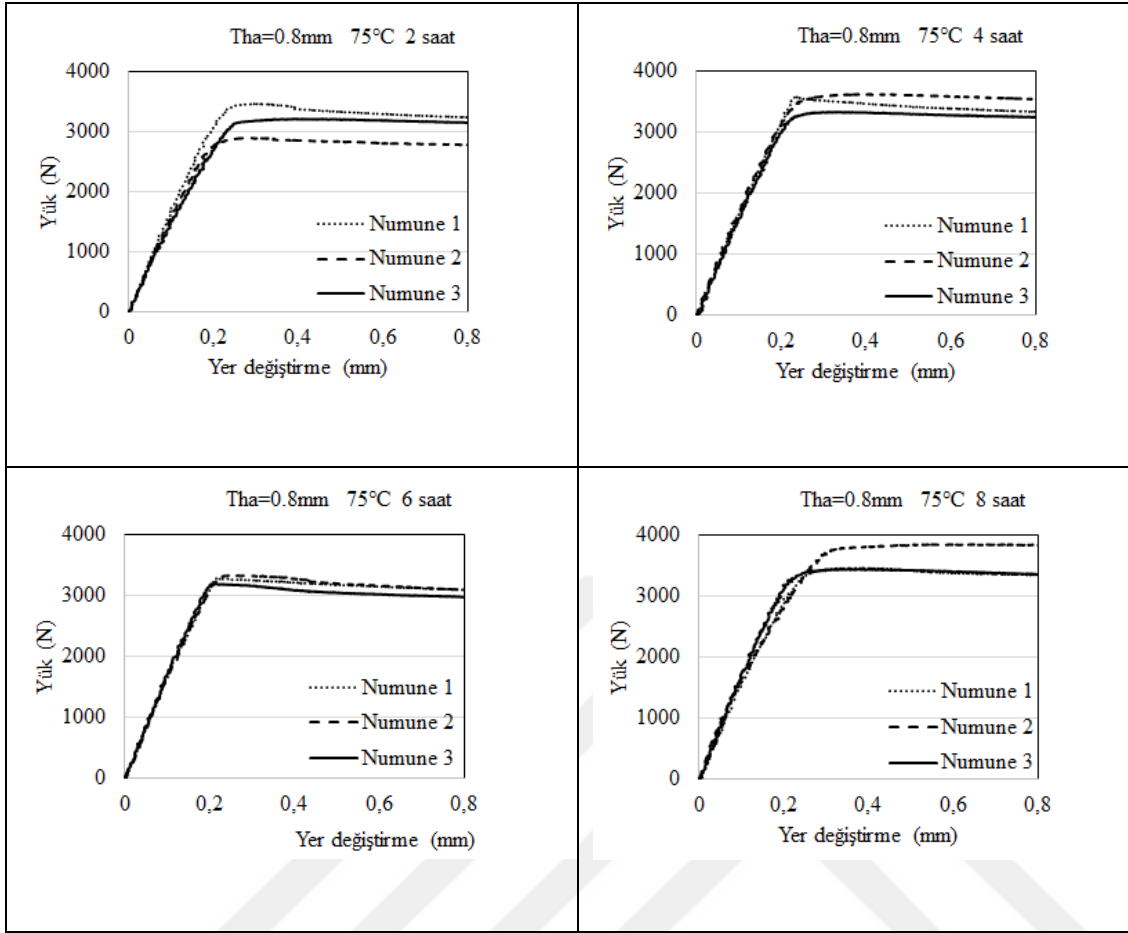
Şekil 4.23. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.4 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.24’de Tha = 0.6 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



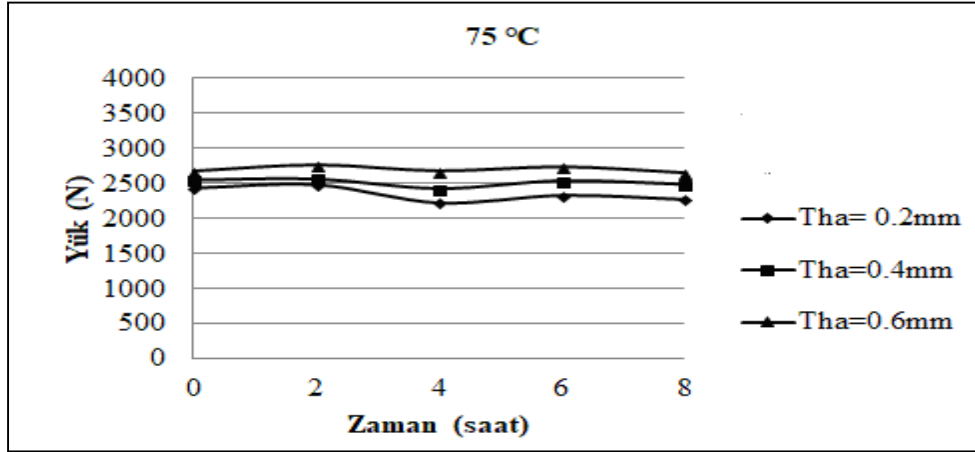
Şekil 4.24. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.25’de Tha = 0.8 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.25. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.8 mm olan numunelerin 75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Tha = 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm 75 °C sıcaklıkta zamana bağlı olarak uygulanan termal yaşlanma sonuçlarını yük-zaman grafikleri olarak Şekil 4.26’da sunulmuştur.



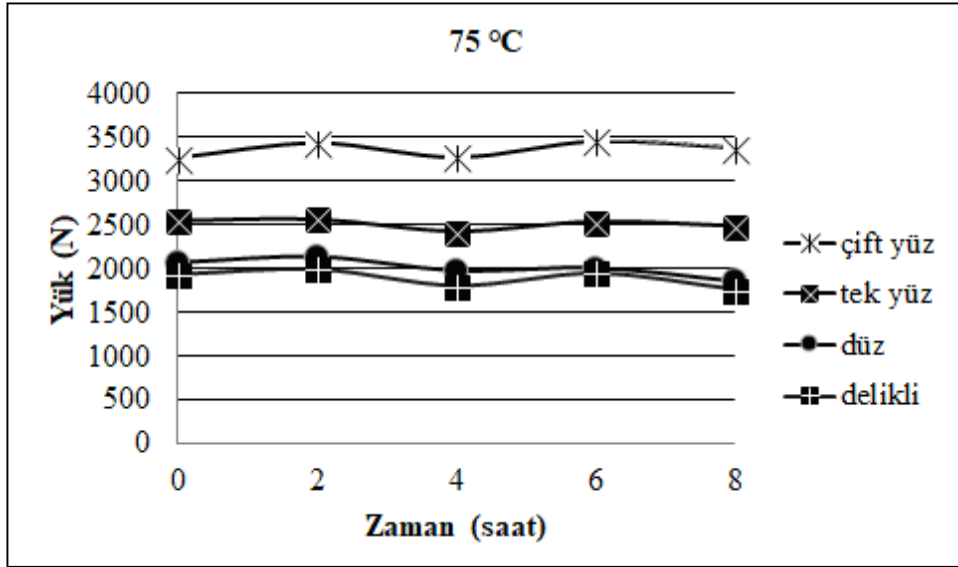
Şekil 4.26. 75 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2mm, 0.4mm ve 0.6mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği.

Şekil 4.26'dan anlaşılabacağı gibi yapıştırıcı kalınlığının artmasının yük değerlerinin artmasında etkili bir payı olmakla birlikte sıcaklık süresinin değerinin de değişmesinde de yük değerleri değişmektedir. Yük değerleri sıcaklığın 2 saat ve 6 saat sürelerinde artış yapmakta 0.6mm kalınlıkta 6 saat süreyle uygulanması sonucunda oda sıcaklığında elde edilen değeri geçtiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. 75 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	2432.35 N	2477.05 N	2231.9 N	2334.6 N	2278.6 N
0.4 mm	2550.66 N	2566.32 N	2422.5 N	2539.8 N	2484.7 N
0.6 mm	2675.47 N	2759.18 N	2676.78 N	2732.3 N	2550.6 N

Şekil 4.27'de 75 °C sıcaklıkta çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafikleri verilmiştir.



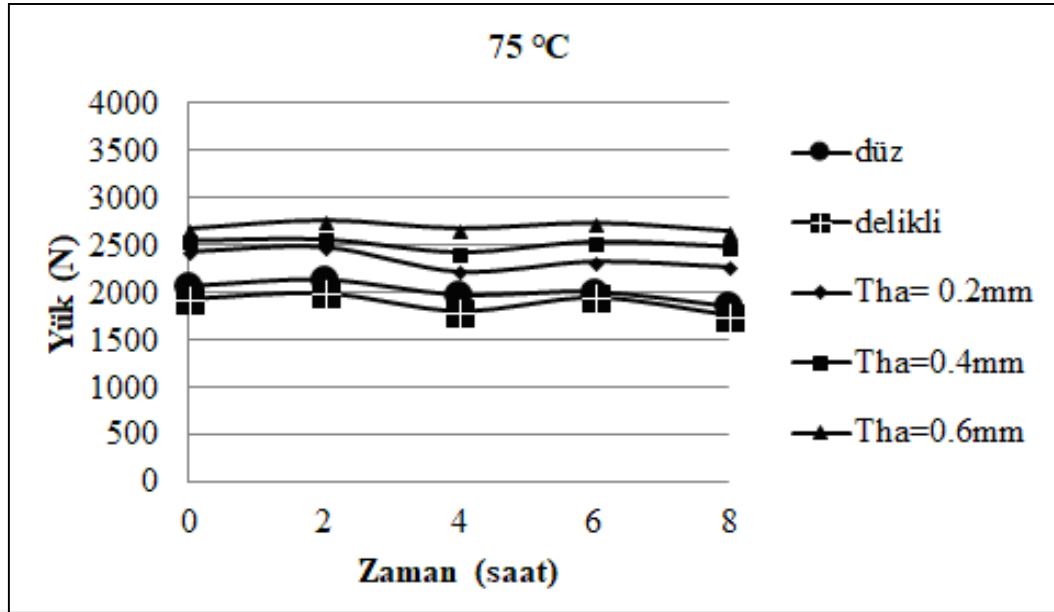
Şekil 4.27. 75 °C sıcaklıkta çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği.

Şekillerden de anlaşılacağı gibi termal yaşlanmanın 2 saat süreyle uygulanmasından kaynaklanan artış görülmekle birlikte en yüksek yük değeri çift yüz yapıştırma ile 6 saat uygulanan termal yaşlanma ile elde edilmiş olup Çizelge 4.3'de değerler verilmiştir.

Çizelge 4.3. 75 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
Çift yüz	3268.55 N	3437.49 N	3273.04 N	3457.65 N	3376 N
Tek yüz	2550.65 N	2566.32 N	2422.49 N	2539.80 N	2484.73 N
Hasarsız	2073.49 N	2136.62 N	1985 N	2014.47 N	1866.74 N
Hasarlı	1941.51 N	2001.33 N	1807 N	1953 N	1763.26 N

Şekil 4.28'de ise 75 °C sıcaklıkta hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği verilmiştir.



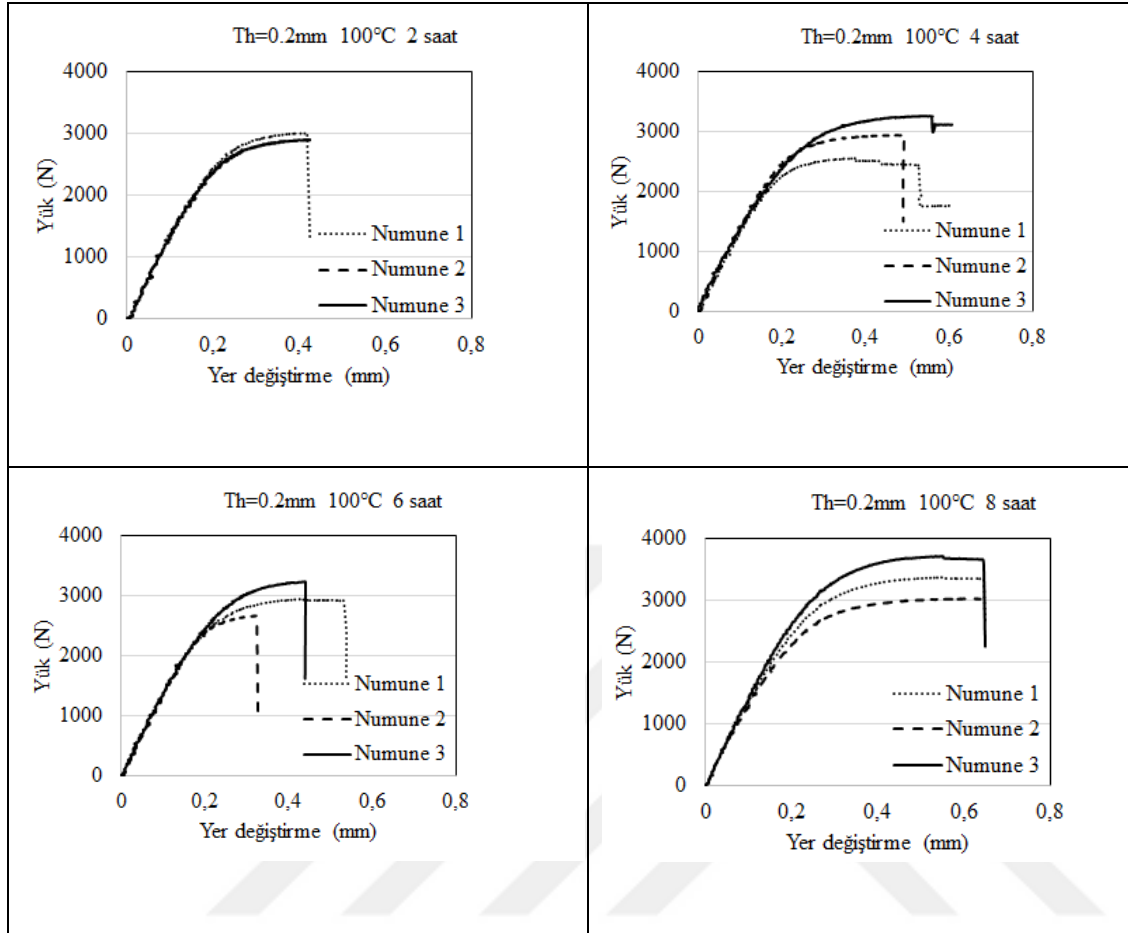
Şekil 4.28. 75 °C sıcaklıkta hasarsız(düz), hasarlı(delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği.

Tek yüzünden kompozit yama ile 0.2 mm kalınlıkta yapıştırılarak tamir edilmiş numunelerden en düşük değer ise 75 °C sıcaklık ve 4 saat süreyle yaşlandırmaya uğramış numunelerden 2231.904 N olarak elde edilmiştir.

4.4.5. 100 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları

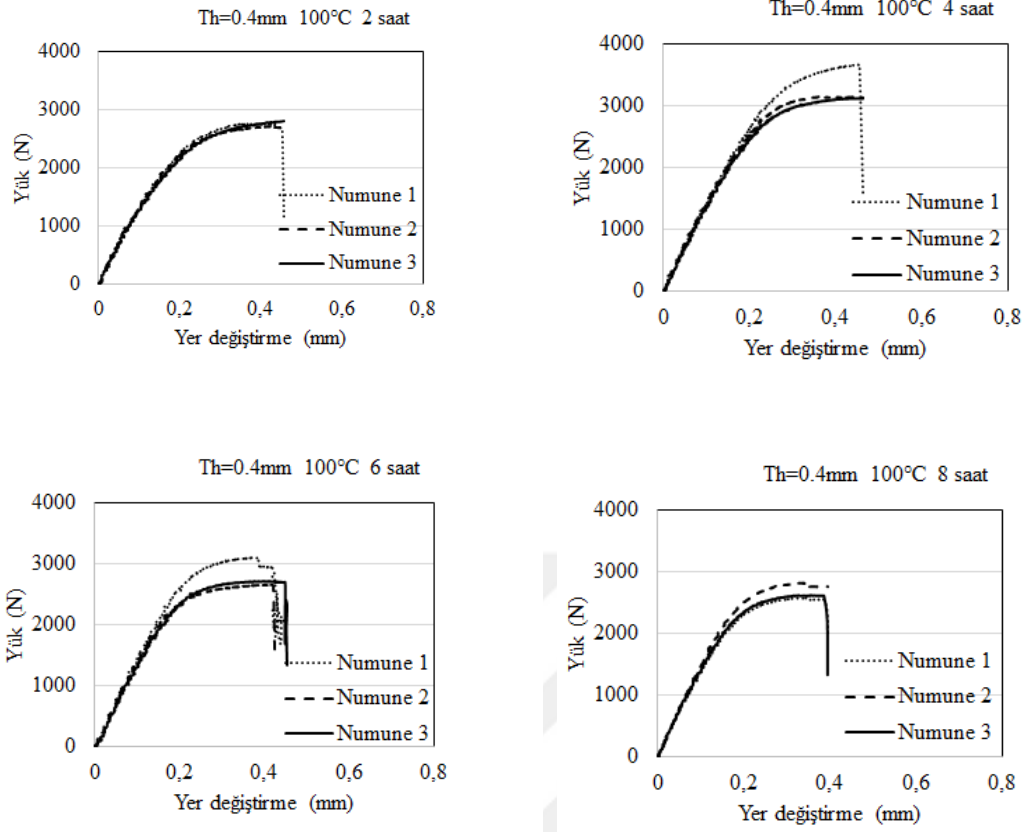
100 °C sıcaklıkta termal olarak yaşlandırılmış numuneler 2, 4, 6 ve 8 saat süreli termal yaşlandırmalara tabi tutulmuş olup bu parametreler her bir 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlıklarına uygulanmıştır. Bu sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 4.29'da Tha = 0.2 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



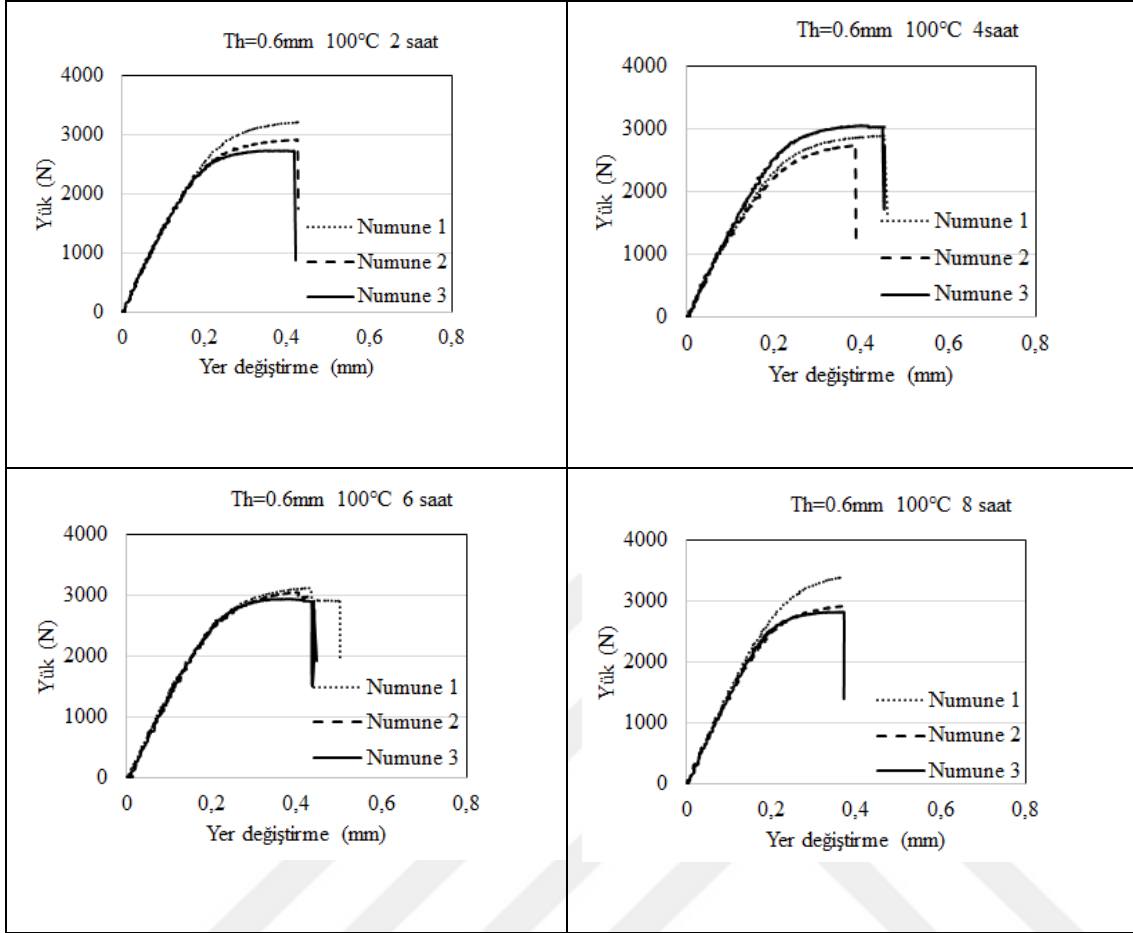
Şekil 4.29. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (T_h) = 0.2mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.30'da T_h = 0.4 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



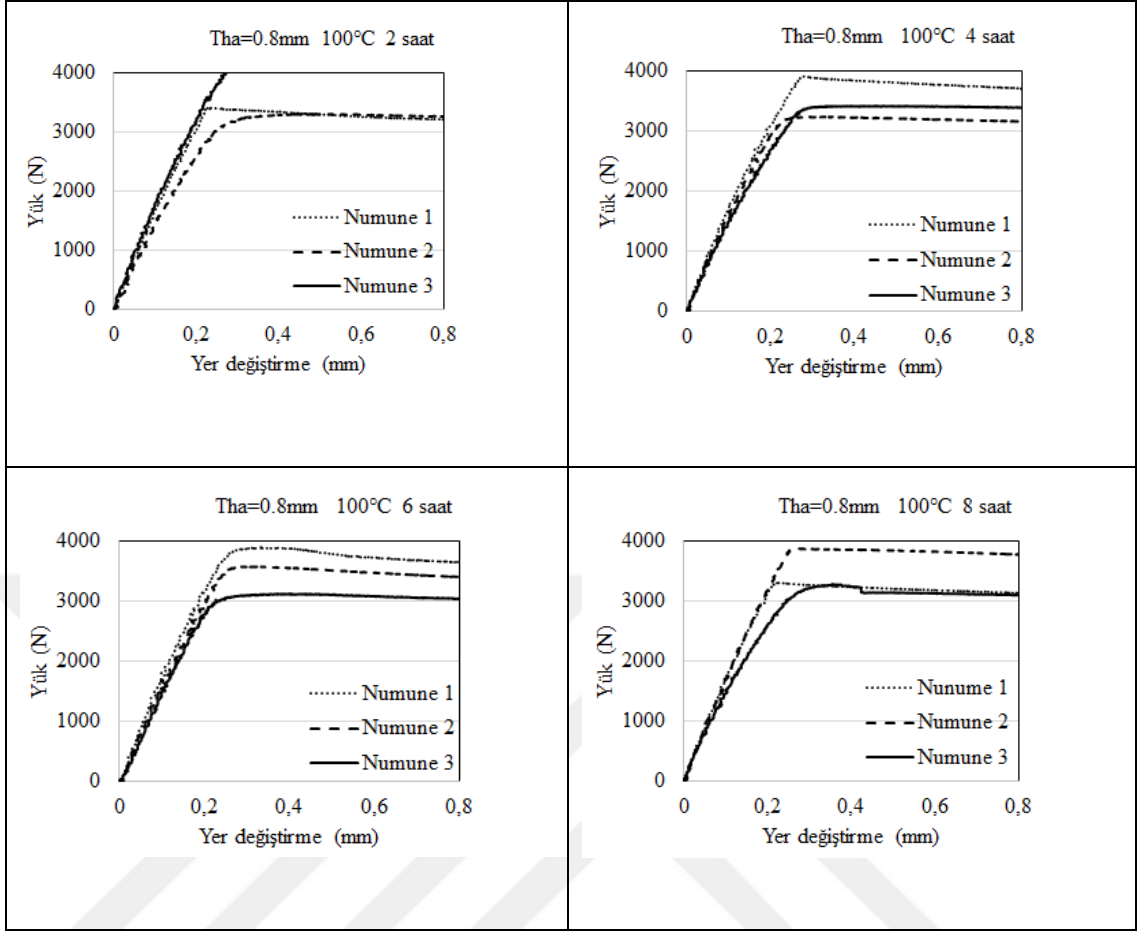
Şekil 4.30. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Th) = 0.4 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.31’de $Th = 0.6$ mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



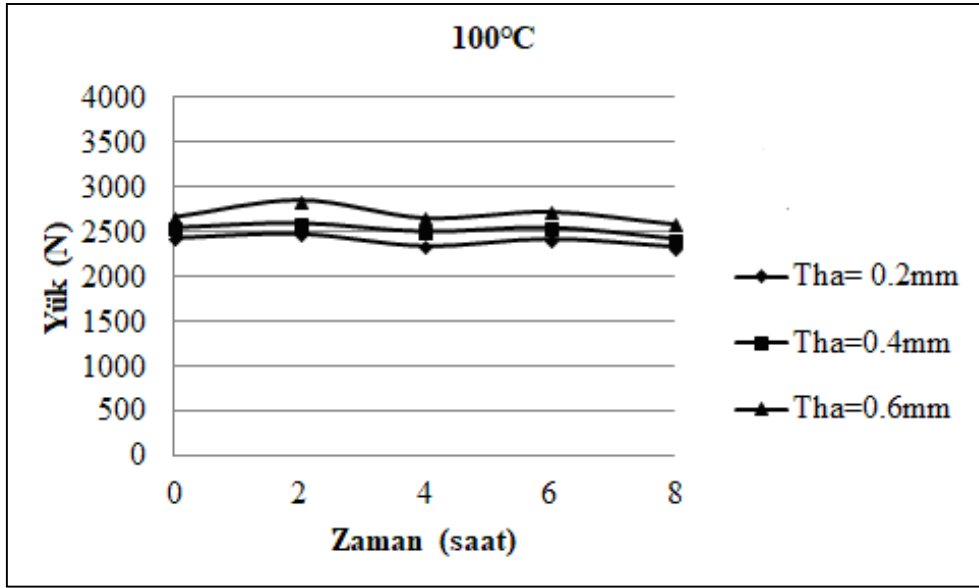
Şekil 4.31. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Th) = 0.6 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.32’de Th = 0.8 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.32. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.8 mm olan numunelerin 100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Tha = 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm 100 °C sıcaklıkta zamana bağlı olarak uygulanan termal yaşlanma sonuçlarını yük-zaman grafikleri olarak Şekil 4.33’de sunulmuştur.



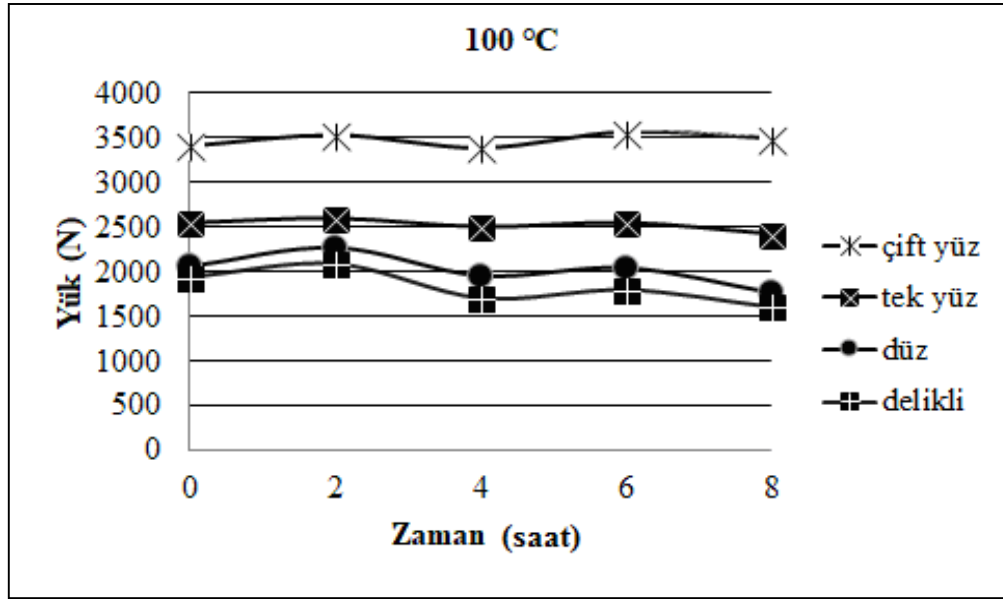
Şekil 4.33. 100 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği.

Şekil 4.33’de görüldüğü gibi yapıştırıcı kalınlığının artmasının yük değerlerinin artmasında etkili bir payı olmakla birlikte sıcaklık süresi değerinin de değişmesinde de yük değerleri değişmektedir. Yük değerleri sıcaklığın 2 saat ve 6 saat sürelerinde artış yapmakta 0.6mm kalınlıkta 6 saat süreyle uygulanması sonucunda oda sıcaklığında elde edilen değeri geçtiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. 100 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri .

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	2432.34 N	2480.97 N	2339.08 N	2422.11 N	2331.40 N
0.4 mm	2550.65 N	2600.81 N	2507.51 N	2552.07 N	2427.04 N
0.6 mm	2675.46 N	2851.28 N	2663.75 N	2727.02 N	2597.66 N

Şekil 4.34’de 100 °C’de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafikleri verilmiştir.



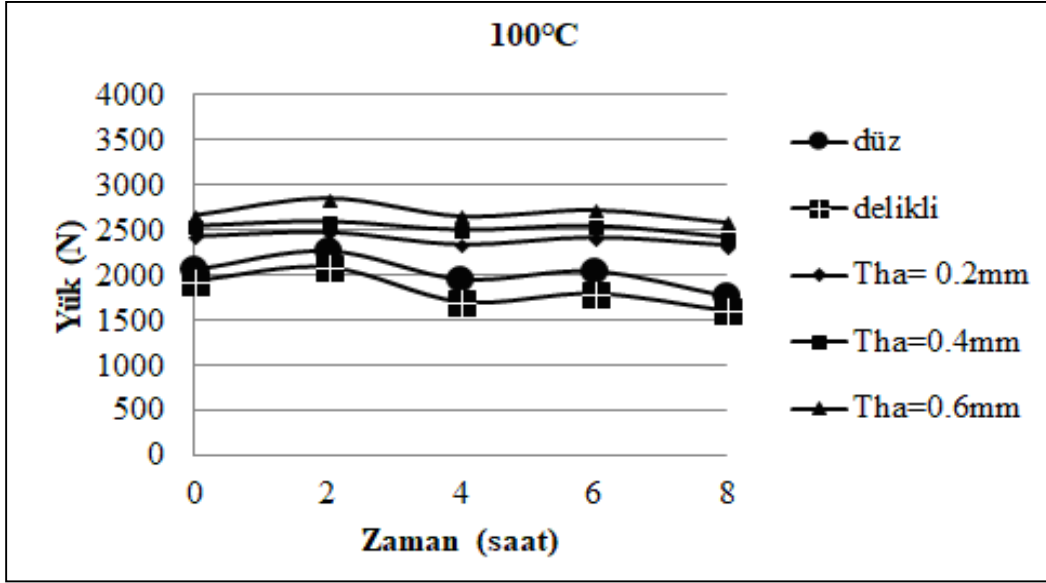
Şekil 4.34. 100 °C'de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği.

Şekil 4.34'den anlaşılabacağı gibi termal yaşlanmanın 2 saat süreyle uygulanmasından kaynaklanan artış görülmekle birlikte en yüksek yük değeri çift yüz yapıştırma ile 6 saat uygulanan termal yaşlanma ile elde edilmiştir. Bu değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 100 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
Çift yüz	3409.10 N	3529.32 N	3387.26 N	3565.36 N	3490.72 N
Tek yüz	2550.65 N	2600.81 N	2507.51 N	2552.07 N	2427.04 N
Hasarsız	2073.49 N	2284.44 N	1968.15 N	2056.66 N	1775.43 N
Hasarlı	2010.18 N	2088.10 N	1714.68 N	1802.66 N	1615.26 N

Şekil 4.35'de ise hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği verilmiştir.



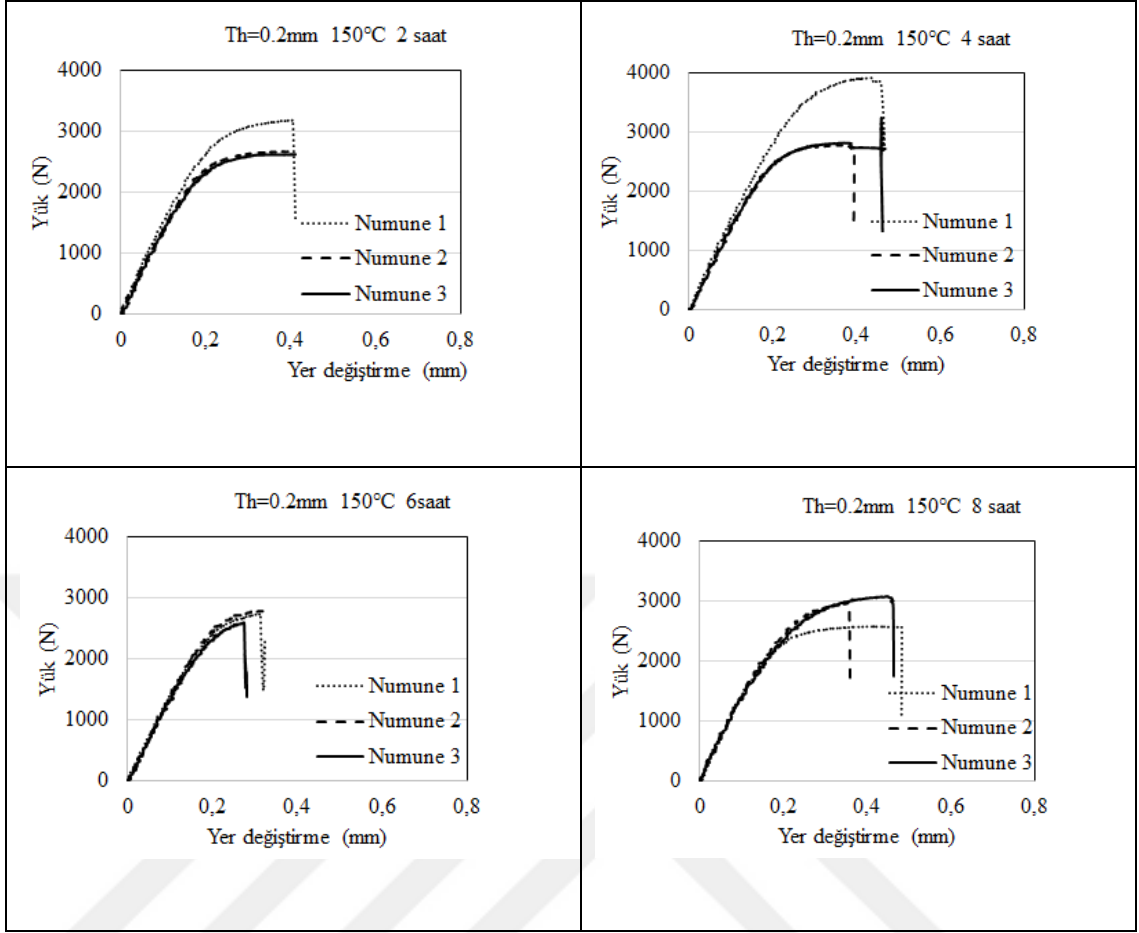
Şekil 4.35. 100 °C de hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği.

Tek yüzünden kompozit malzeme ile 0.6 mm kalınlıkta yapıştırılarak tamir edilmiş numunelerden en iyi sonuç 100 °C sıcaklık ve 2 saat süreyle yaşlandırmaya uğramış numunelerden 2851.288 N olarak elde edilmiştir.

4.4.6. 150 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlandırma Deneysel Çalışma Sonuçları

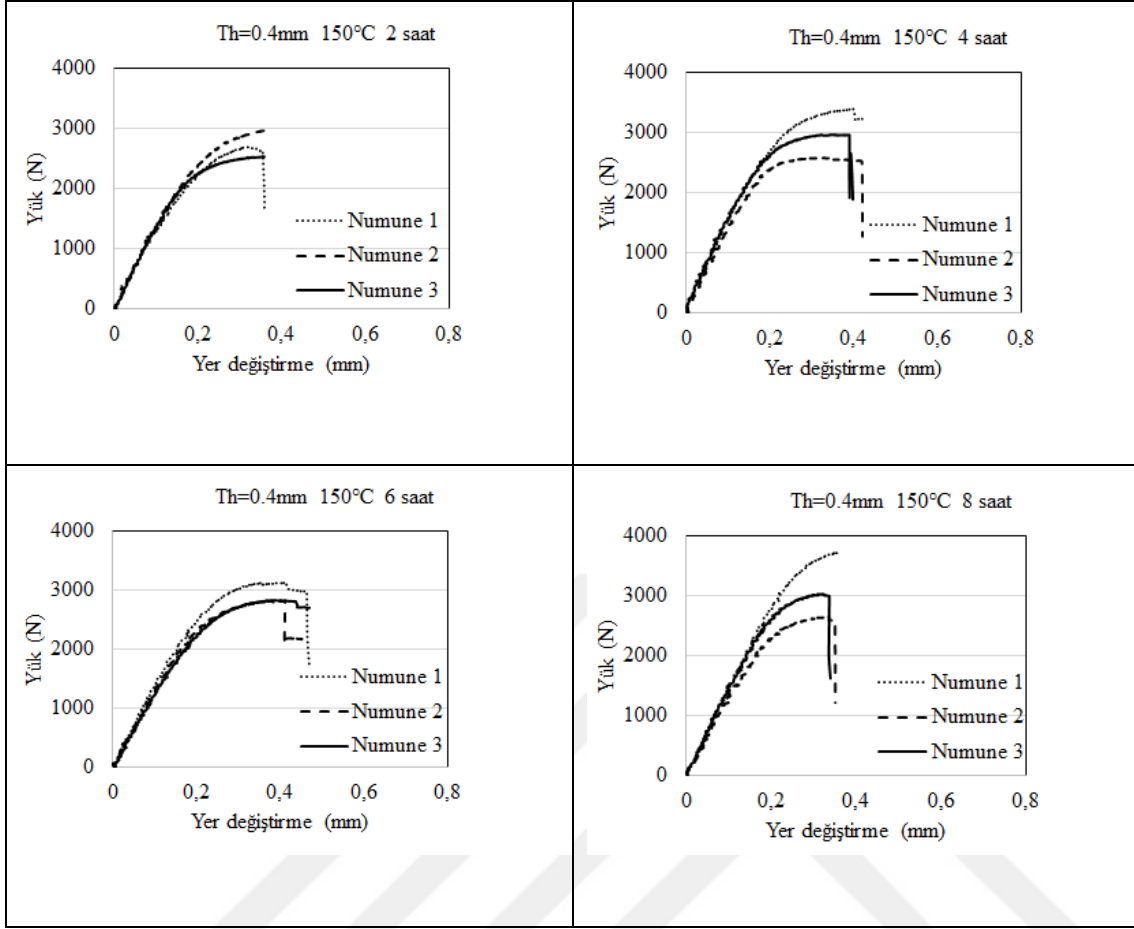
150 °C sıcaklıkta termal olarak yaşlandırılmış numuneler 2 saat, 4 saat, 6 saat ve saat süreli termal yaşlandırmalara tabi tutulmuş olup bu parametreler her bir 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlıklarına uygulanmıştır. Bu sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 4.36'da Tha = 0.2 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



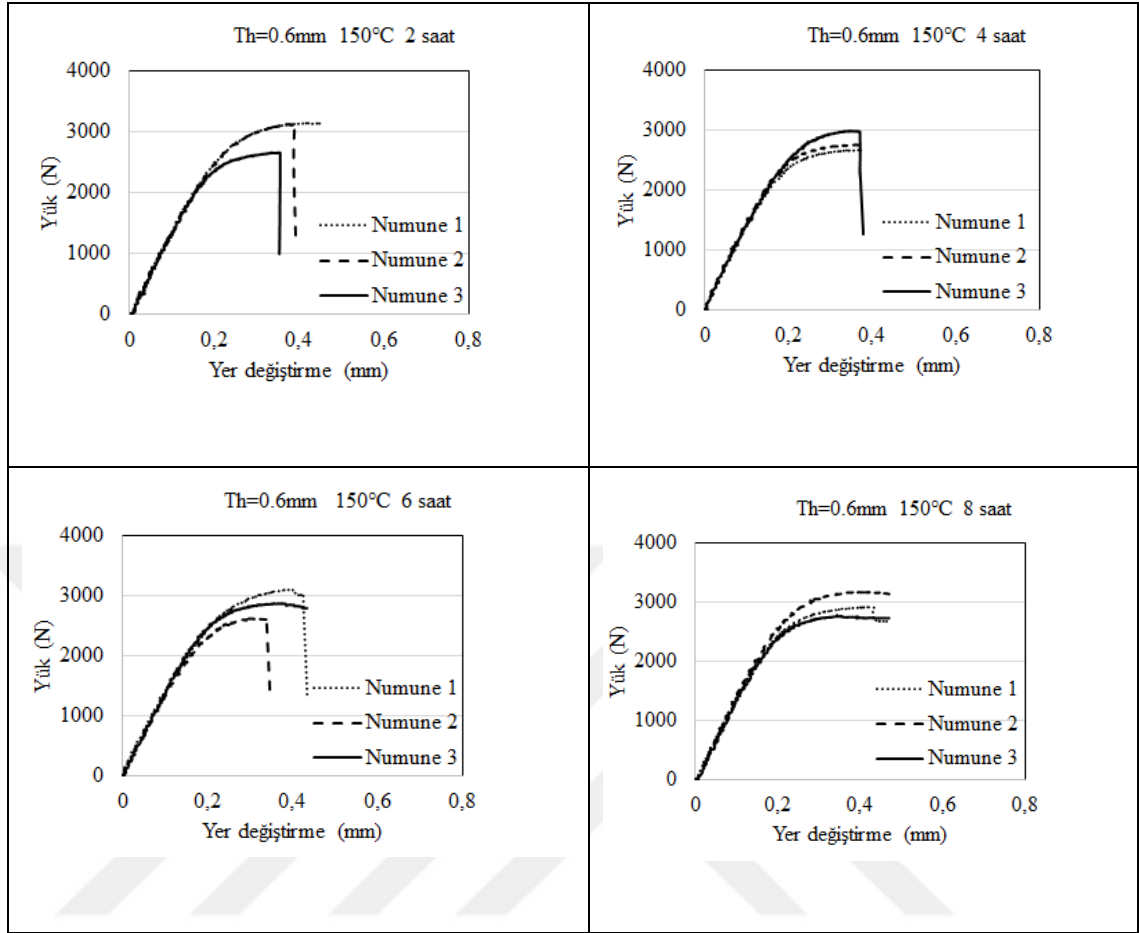
Şekil 4.36. Yapıştırma kalınlığı (Th) = 0.2 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.37’de Th = 0.4 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



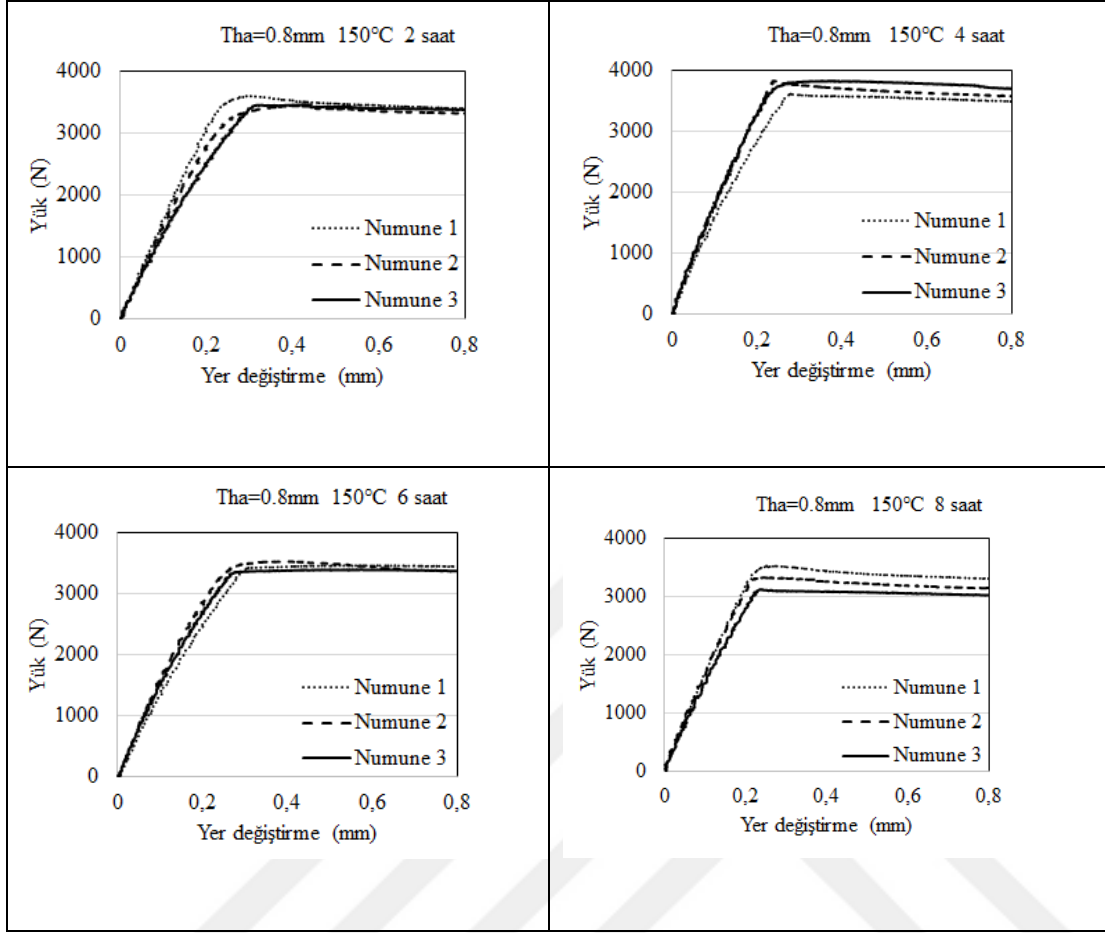
Şekil 4.37. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.4 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.38’de Tha = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



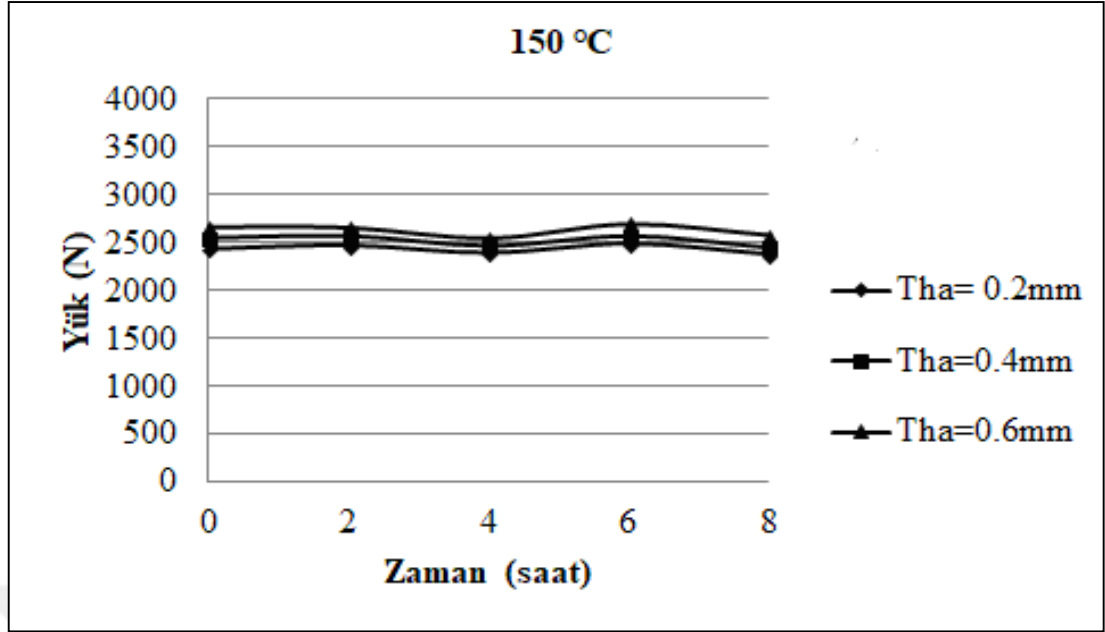
Şekil 4.38. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Th) = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Şekil 4.39’da Th = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.39. Yapıştırma kalınlığı kalınlığı (Tha) = 0.6 mm olan numunelerin 150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya tabi tutularak elde edilen deney sonuçları grafikleri.

Tha = 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm 150 °C sıcaklıkta zamana bağlı olarak uygulanan termal yaşlanma sonuçlarını yük-zaman grafikleri olarak Şekil 4.40’da sunulmuştur.



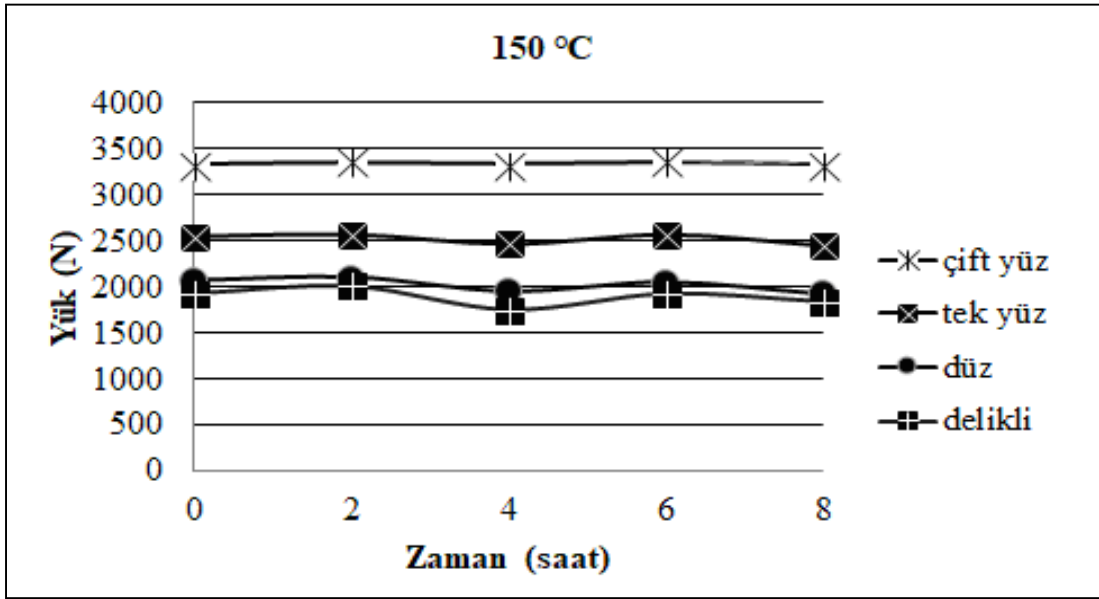
Şekil 4.40. 150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin yük-zaman grafiği.

Şekil 4.40’da diğer sıcaklıklarda olduğu gibi yapıştırma kalınlığı arttıkça yük değerinin arttığı gözlenmekle birlikte sıcaklık değerinin de değişmesinde de yük değerleri değiştirmektedir. Yük değerleri sıcaklığın 2 saat ve 6 saat sürelerinde artış yapmakta yine 0.6 mm kalınlıkta 6 saat süreyle uygulanması sonucunda oda sıcaklığında elde edilen değeri geçtiği hatta maksimum değerde olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. 150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	2432.34 N	2470.88 N	2393.26 N	2488.27 N	2378.46 N
0.4 mm	2550.65 N	2571.22 N	2477.69 N	2569.63 N	2460.92 N
0.6 mm	2675.46 N	2667.24 N	2553.10 N	2705.61 N	2587.43 N

Şekil 4.41’de 150 °C’de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafikleri verilmiştir.



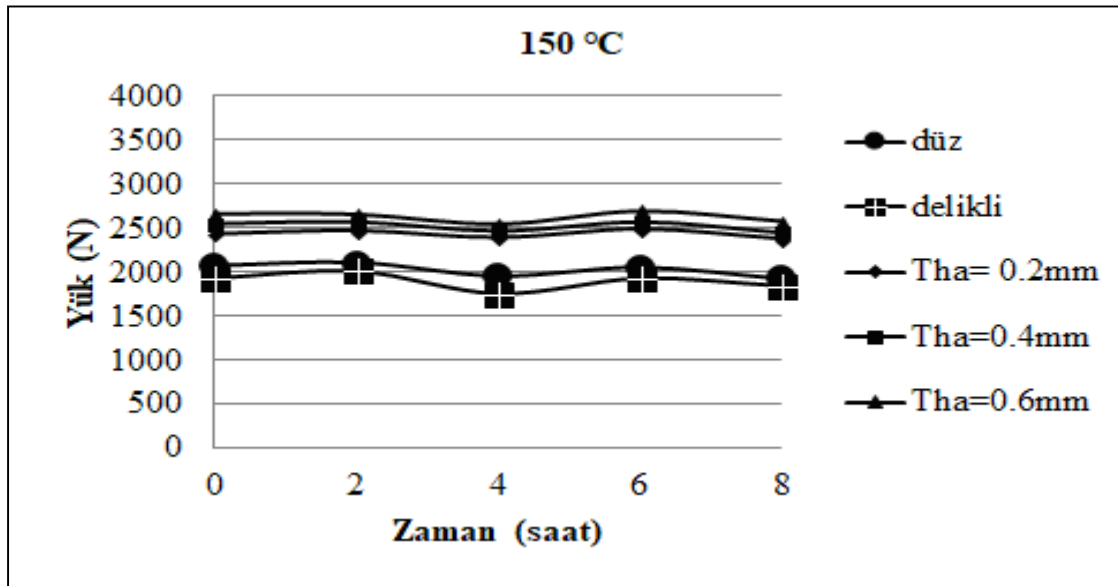
Şekil 4.41. 150 °C'de çift yüz (0.8 mm), tek yüz (0.4 mm), hasarsız (düz) ve hasarlı (delikli) numunelerin yük zaman grafiği.

Şekil 4.41'den anlaşılabileceği gibi termal yaşlanmanın 2 saat süreyle uygulanmasından kaynaklanan artış görülmekle birlikte en yüksek yük değeri çift yüz yapıştırma yani 0.8 mm yapıştırıcı kalınlığı ile 6 saat uygulanan termal yaşlanma ile elde edilmiştir. Çift yüz yapıştırma da 4 saat uygulanan termal yaşlanma sonucu da oda sıcaklığında ki değeri geçmektedir. Bu değerler Çizelge 4.7'de değerler verilmiştir.

Çizelge 4.7. 150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğramış 0.4 mm (tek yüz), çift yüz, hasarlı ve hasarsız yapıştırma kalınlıkları olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz kaldıktan sonra elde edilen yük değerleri.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
Çift yüz	3332.34 N	3362.64 N	3336.59 N	3368.6 N	3328.87 N
Tek yüz	2550.66 N	2571.23 N	2477.69 N	2569.64 N	2460.92 N
Hasarsız	2023.61 N	2106.01 N	1965.09 N	2055.4 N	1936.13 N
Hasarlı	1884 N	2021.54 N	1755.67 N	1938 N	1848.78 N

Şekil 4.42'de ise 150 °C sıcaklıkta hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği verilmiştir.



Şekil 4.42. 150 °C de hasarsız (düz), hasarlı (delikli), 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm yapıştırma kalınlığı olan numunelerin 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlandırmaya uğratılmış numunelerin grafiği.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Deney Sonuçlarının Grafik ve Çizelgeler ile Gösterilmesi

5.1.1. Hasarsız Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları

Bu kısımda termal yaşlandırmanın etkilerini anlayabilmek için uygulanan sıcaklık değişimlerinin hasar görmemiş numuneler üzerinde burkulma yüküne etkileri grafikler üzerinde ve Çizelgeler halinde sunulacaktır. Çizelgelerde P kritik yükünün değişimleri yüzdelik dilimler halinde verilecektir. Çizelgede '-' ler azalmayı göstermektedir. Kontrol grubu olarak oda sıcaklığında elde ettiğimiz sonuçlar kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Hasarsız numunelerin burkulma değerleri ve oranları.

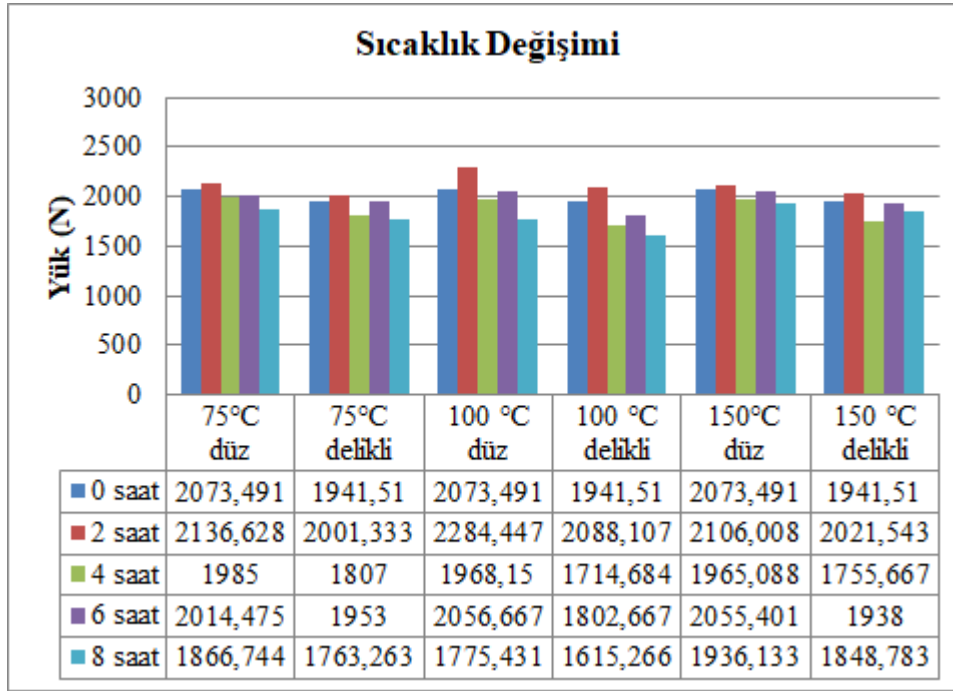
BURKULMA DEĞERİ					
	0 SAAT	2 SAAT	4 SAAT	6 SAAT	8 SAAT
75 °C	2073.49 N	2136.63 N	1985 N	2014.47 N	1866.74 N
100 °C	2073.49 N	2284.45 N	1968.15 N	2056.67 N	1775.43 N
150 °C	2073.49 N	2106.01 N	1965.09 N	2055.4 N	1936.13 N
ORANLAR					
	0 SAT	2 SAAT	4 SAAT	6 SAAT	8 SAAT
75 °C	1	3.04	-7.09	1.48	-7.33
100 °C	1	10.17	-13.84	4.49	-13.67
150 °C	1	1.56	-6.69	4.59	-5.80

Çizelge 5.1'den de anlaşılabacağı gibi en iyi burkulma yükü değeri 2 saat termal yaşlandırma elde edilmiş olup %10,174 gibi bir oran ile 100 °C ve 2 saat termal yaşlandırma sonucunda elde edilmiştir. En kötü burkulma yükünü ise 100 °C ve 4 saat termal yaşlandırma sonucunda %13,846 gibi bir değer düşüşü ile elde edilmiştir.

5.1.2. Hasarlı Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları

Bu kısımda tam ortasından 10 mm'lik delik açılarak hasara uğratılmış numunelerin termal yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen burkulma yükü değerleri grafik ve Çizelgeler halinde verilmiştir. Kontrol numunesi olarak hasarsız numuneler kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 5.1'de hasarsız ve hasarlı numunelerin 75

°C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırma sonucunda elde edilen sonuçlar ve grafiği verilmiştir.



Şekil 5.1. Hasarsız ve hasarlı numunelerin termal 75 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırma sonucunda elde edilen sonuçlar ve grafiği.

Hasarlar değişik oranlarda değişmesinin sebebi olarak delme işleminde kompozit malzemenin zarar gören lif sayısının etkisi vardır. Çizelge 5.2’de hasarlı numunelerin yük değerlerinin azalmasının oranları verilmiştir. Kontrol numunesi olarak aynı sıcaklık ve süreyle termal yaşlandırmaya maruz kalmış hasarsız numuneler baz alınmıştır.

Çizelge 5.2. Hasarlı numunelerdeki yük azalma oranları.

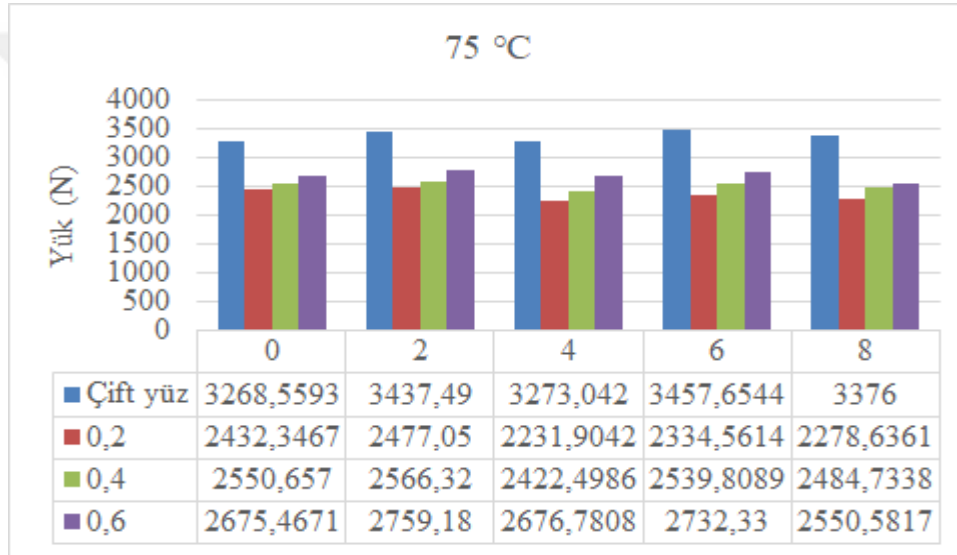
	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
75 °C delikli	6.36513	6.33217	8.96725	3.05164	5.5434
100 °C delikli	6.36513	8.59465	12.8784	12.3501	9.02121
150 °C delikli	6.36513	4.01065	10.6571	5.71183	4.51153

En büyük düşüş 100 °C sıcaklıkta 6 saat termal yaşlandırmaya maruz bırakılmış hasarlı numunede görülmüş olup hasarsız numunenin aynı sıcaklık ve saat termal yaşlandırmasına göre % 12.8784 oranında düşüş yaşanmıştır. En az düşüş ise 2

saat süreli 150 °C sıcaklık ile termal yaşlanmaya maruz bırakılmış numunede elde edilmiş olup bu oran % 4.01065' tir.

5.1.3. Yama ile Yapıştırılarak Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Burkulma Davranışları

Bu kısımda yama ile yapıştırılarak tamir edilmiş kompozit levhaların termal yaşlandırmaya tabi tutulduktan sonraki burkulma yükü etkileri grafikler halinde incelenecektir. Şekil 5.2' de 75 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.2. 75 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği.

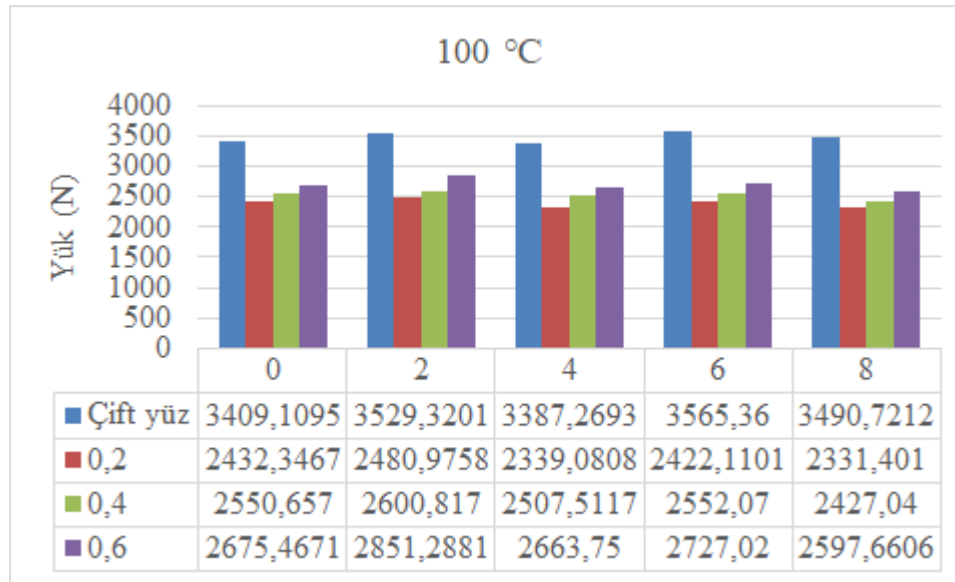
75 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz bırakılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz (0.8 mm) yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş kompozit numunelerin yük oranlarındaki değişim %'si olarak Çizelge 5.3'te verilmiştir. Kıyaslama numunesi olarak aynı saat ve sıcaklıktaki termal yaşlandırmaya tabi tutulmuş hasarlı numunenin değeri alınmıştır.

Çizelge 5.3. 75 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %' lik artış oranları.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	25.2812	23.77	23.5143	19.5372	29.2284
0.4 mm	31.3749	28.2305	34.0619	30.0465	40.9168
0.6 mm	37.8034	37.8671	48.134	39.9043	50.3225
0.8 mm (çift yüz)	68.3514	71.76	81.1313	77.0432	91.4632

Çizelge 5.3'ten anlaşılabileceği gibi en fazla yük değerinin artması 8 saat termal yaşlandırmaya uğramış ve çift yüzünden 0.4 mm yapıştırıcı ile yani toplamda yapıştırıcı kalınlığı 0.8 mm olan numune ile elde edilmiş olup, bu oran % 91.4632'dir. Oranın böyle çıkmasında 8 saat süre ile termal yaşlandırılmış hasarlı numunenin değerinin düşük olmasının da payı büyüktür. En düşük artış ise % 19.5372 ile 6 saat süreyle termal yaşlandırılmış 0.2 mm ile tamir edilmiş kompozit numunede elde edilmiştir.

Şekil 5.3'te 100 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.3. 100 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği.

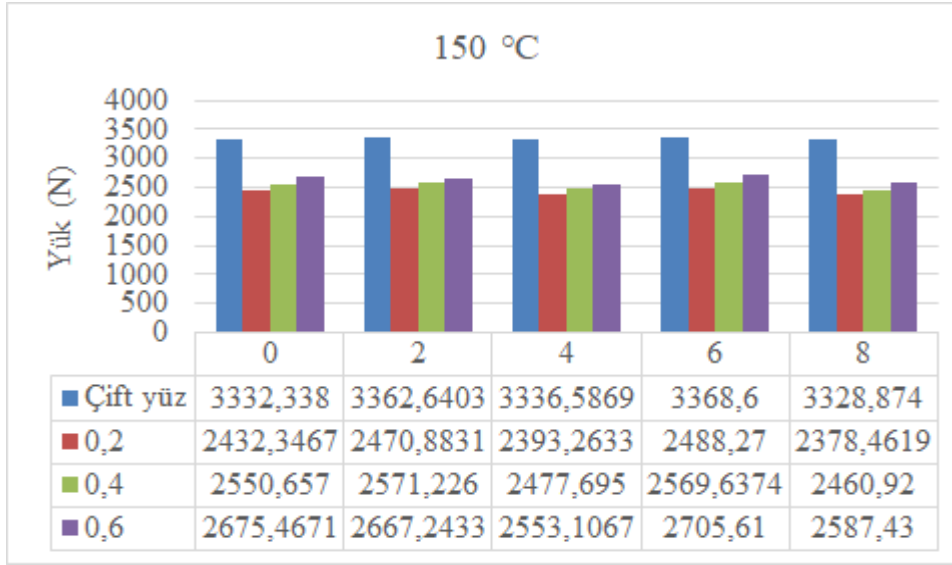
100 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 sat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz bırakılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz (0.8 mm) yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş kompozit numunelerin yük oranlarındaki değişim %' de olarak Çizelge 5.4'te verilmiştir. Kıyaslama numunesi olarak burada da aynı saat ve aynı sıcaklıktaki termal yaşlandırmaya tabi tutulmuş hasarlı numunenin değeri alınmıştır.

Çizelge 5.4. 100 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %'lik artış oranları.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	25.2812	18.8146	36.4147	34.3626	44.3354
0.4 mm	31.3749	24.5538	46.2375	41.5719	50.2564
0.6 mm	37.8034	36.5489	55.3493	51.277	60.8194
0.8 mm (çift yüz)	75.5906	69.0201	97.5448	97.7825	116.108

Çizelge 5.4'ten anlaşılabacağı gibi en fazla yük değerinin artması 8 saat termal yaşlandırmaya uğramış ve çift yüzünden 0.4 mm yapıştırıcı ile yapıştırılmış yani toplamda yapıştırıcı kalınlı 0.8 mm olan numune ile elde edilmiş olup bu oran % 116.108'dir. En düşük artış ise % 18.8146 ile 2 saat süreyle termal yaşlandırılmış 0.2 mm ile tamir edilmiş kompozit numunede elde edilmiştir.

Şekil 5.4.'te 150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 5.4. 150 °C sıcaklıkta termal yaşlandırılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz yama ile tamir edilmiş kompozit levhaların yük- zaman grafiği.

150 °C sıcaklıkta 2 saat, 4 saat, 6 saat ve 8 saat süreyle termal yaşlanmaya maruz bırakılmış 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ve çift yüz (0.8 mm) yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş kompozit numunelerin yük oranlarındaki değişim %'de olarak Çizelge 5.5'te verilmiştir. Kıyaslama numunesi olarak burada da aynı saat ve sıcaklıktaki termal yaşlandırmaya tabi tutulmuş hasarlı numunenin değeri alınmıştır.

Çizelge 5.5. 150 °C sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonucundaki %'lik artış oranları.

	0 saat	2 saat	4 saat	6 saat	8 saat
0.2 mm	25.2812	22.2276	36.3165	28.3937	28.6501
0.4 mm	31.3749	27.1912	41.1256	32.5922	33.1102
0.6 mm	37.8034	31.941	45.4209	39.6084	39.9531
0.8 mm (çift yüz)	71.6364	66.3403	90.0467	73.8184	80.0575

Çizelge 5.4'e göre en fazla yük değerinin artması 8 saat termal yaşlandırmaya uğramış ve çift yüzünden 0.4 mm yapıştırıcı ile yapıştırılmış yani toplamda yapıştırıcı kalınlığı 0.8 mm olan numune ile elde edilmiş olup bu oran % 80.0575'dir. En düşük artış ise % 22.2276 ile 2 saat süreyle termal yaşlandırılmış 0.2 mm ile tamir edilmiş kompozit numunede elde edilmiştir. Bu kısımda oranların diğer sıcaklıklara göre daha

az oranlarda olmasının sebebi 150 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırmada hasarlı veya hasarsız olsun veya tamir edilmiş yada tamir edilmemiş olsun malzemenin mukavemet değerlerini çok etkilediğinden dolayı yani iç yapısında değişikliklerden kaynaklanması gösterilebilir.

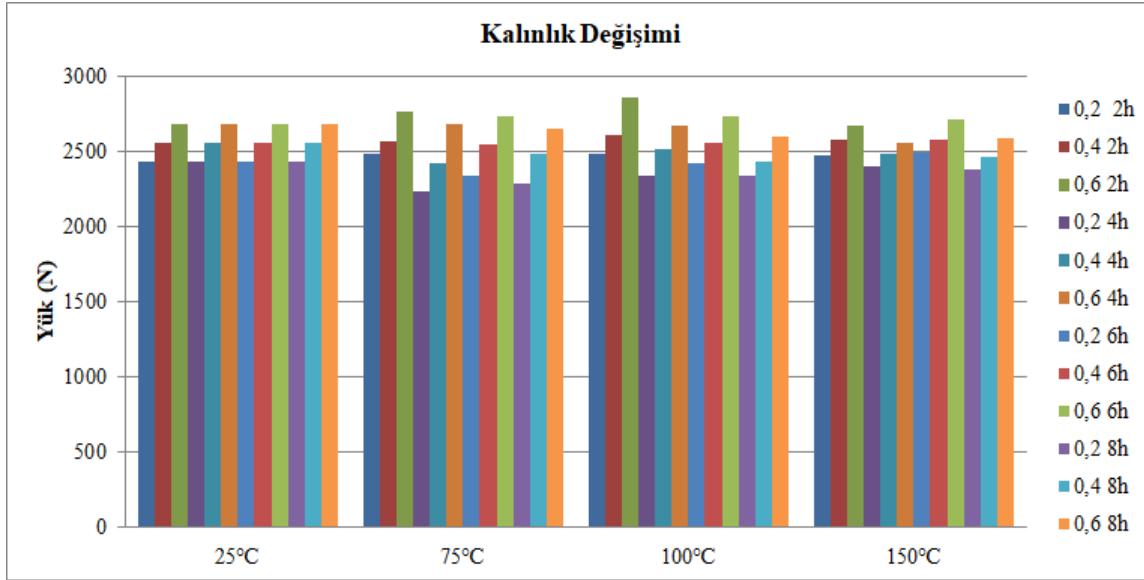
Şekil 5.5’de kalınlık değişimlerinin uygulanan termal yaşlanma sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişimlerinin grafiği Çizelge 5.6 ve 5.7’de ise sayısal olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kalınlık değişimlerinin uygulanan termal yaşlanma sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişimlerinin N olarak değerleri.

	0.2 mm 2 saat	0.4 mm 2 saat	0.6 mm 2 saat	0.2 mm 4 saat	0.4 mm 4 saat	0.6 mm 4 saat
25 °C	2432.35	2550.66	2675.47	2432.35	2550.66	2675.47
75 °C	2477.05	2566.32	2759.18	2231.9	2422.5	2676.78
100 °C	2480.98	2600.82	2851.29	2339.08	2507.51	2663.75
150 °C	2470.88	2571.23	2667.24	2393.26	2477.69	2553.11

Çizelge 5.7. Kalınlık değişimlerinin uygulanan termal yaşlanma sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişimlerinin N olarak değerleri

	0.2 mm 6 saat	0.4 mm 6 saat	0.6 mm 6 saat	0.2 mm 8 saat	0.4 mm 8 saat	0.6 mm saat
25 °C	2432.35	2550.66	2675.47	2432.35	2550.66	2675.47
75 °C	2334.56	2539.81	2732.33	2278.64	2484.73	2650.58
100 °C	2422.11	2552.07	2727.02	2331.4	2427.04	2597.66
150 °C	2488.27	2569.64	2705.61	2378.46	2460.92	2587.43



Şekil 5.5. Kalınlık değişiminin uygulanan termal yaşlanma sonucuna yük-sıcaklık grafiği

Şekil 5.5’den anlaşılabacağı gibi en iyi yük değerleri 3565.36 N ile 100 °C ile 6 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda çift yüzlü yani 0.8 mm ile tamir edilmiş kompozit levhada elde edilmiştir. En düşük değer ise 2231.9042 N ile 75 °C ile 4 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda 0.2 mm yapıştırma kalınlığı ile tamir edilmiş kompozit levhada elde edilmiştir.

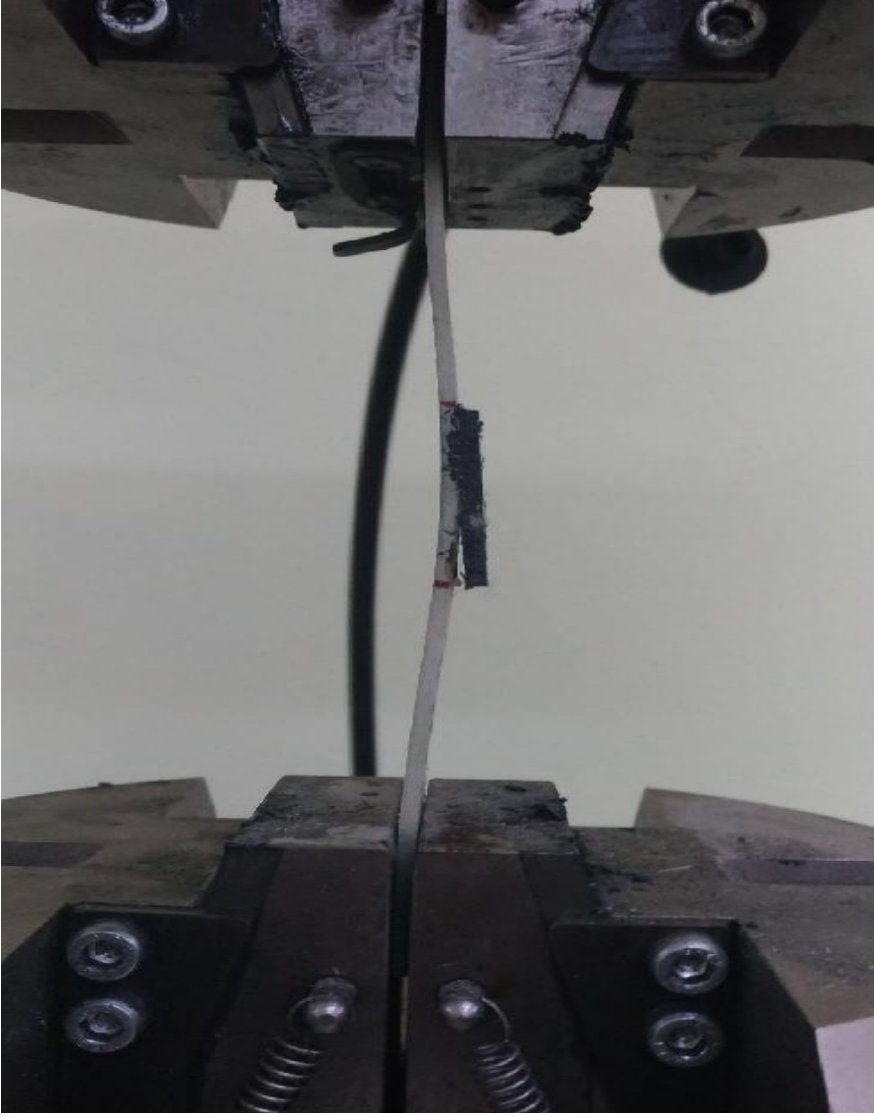
5.2. Deneysel Çalışmanın Değerlendirilmesi ve Sonuçlar

Yapıştırıcı kalınlığı artıkcı kritik burkulma yükünde artış gözlenmekle birlikte termal yaşlanma süresinin ve sıcaklık değerinin değişmesinde de yük değerlerinde artış gözlenmekle birlikte bazı sıcaklık değerlerinde sert düşüşler yaşanmaktadır. Kritik burkulma yükünün hesaplarken numuneler zarar görmeden deney makinasında Şekil 5.6’daki gibi kompozit levhanın uzunluğu (L) ilk boyuna göre kısalarak eğimli bir duruma geliyorlardı. Şekilden de anlaşılabacağı gibi burkulma yük değeri aşılmış durumda ve yük değeri doğrusal bir çizgi olarak devam etmektedir. Deney makinesi durdurulmaması durumunda ise numune kırılmaya gitmektedir.



Şekil 5.6. Kritik burkulma yükünü geçtikten sonra burkulan malzeme

Tek tarafından yama ile yapıştırılmış deney numunelerinin ise deney sonrasında aldıkları şekil Şekil 5.7’de gösterilmiş olup kritik burkulma yüküne ulaşıldıktan sonra yamanın yapışkan kısmının alt tarafından kopmaya başladığı gözlenmektedir.



Şekil 5.7. Tek tarafından yapıştırıcı ile tamir edilmiş deney numunesinin deney sonrası yamanın yapıştırıcı kısmından ayrılması.

Çift yüz yapıştırmada ise numuneler Şekil 5.8'deki gibi bir görünüme kavuşmakta eğer deney makinası durdurulmadığı takdirde yamalardan bir tanesi koparak fırlamaktadır.



Şekil 5.8. Çift yüzünden yapıştırıcı ile yapıştırılmış numunenin kritik burkulma yükünü geçtikten sonra ki görünümü.

Deneyler sırasında numunelerde herhangi bir soyulma veya çentik kısmında kırılmalar yaşanmamıştır.

5.2.1. 75 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi

Hasarsız ve hasarlı numunelerde 75 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırma sonucunda en iyi değerleri 2 saat süreyle uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde etmişlerdir. Bu değerler hasarsız numunede 2136.628 N olurken hasarlı numunede ise 2001.333 N olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonuçlarında farklılık ise 4 saat uygulama sonucunda değerler düşüşe geçerken 6 saat uygulanmasında tekrar bir artış gözlenmektedir. Fakat bu artış hasarlı numunede oda sıcaklığındaki değerinin de üstüne çıkmaktadır. Termal yaşlanmanın 8 saate çıkarılması

durumunda ise değerler en düşük seviyelerine ulaşarak hasarsız numunede 1866.744 N ve hasarlı numunede ise 1763.263 N olarak ölçülmüştür.

75 °C sıcaklıkta termal yaşlanma uygulanarak tamir edilmiş kompozit yamaların sonuçlarında ise en iyi sonuçlar şaşırmayacak şekilde çift yüzünden 0.4 mm ile yani toplamda 0.8 mm yama kalınlığı olan numunelerde elde edilmiştir.

0.2 mm ile tamir edilmiş numunede en iyi sonuçlar 2 saat süreli termal yaşlandırma sonucunda elde edilirken 2477.05 N olarak ölçülmüş olup, en düşük değer hasarlı veya hasarsız numunedekilerin aksine 4 saat uygulanan termal yaşlandırma ile elde edilmiştir ve değeri 2231.904 N olarak ölçülmüştür.

0.4 mm’de elde edilen değerler 0.2 mm olduğu gibi en iyi değer 2 saat uygulanan termal yaşlandırma ile ölçülmüş 2566.2 N’dur. En düşük değeri de 4 saat termal yaşlandırma da olup 2422.499 dur.

0.6 mm yapıştırıcı kalınlığında en iyi sonuçlar 2 saat uygulanan termal yaşlanma sonucunda elde edilmiş olup 2719.18 N olarak ölçülmüştür. En düşük değerler ise 0.2 mm ve 0.4 mm de kinin aksine 8 saat süreyle elde edilmiştir. Bu değer 2650.582 N olarak ölçülürken oda sıcaklığında ki değerine yakın bir değerdir.

0.8 mm yani çift yüz yapışma da ise en iyi değerler 6 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda ortaya çıkarken 3457.654 N olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise oda sıcaklığındaki değerde elde edilmiş olup değeri 3268.599 N olarak ölçülmüştür.

75 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırmada hasarlı, hasarsız ve 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ile yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş numunelerde en iyi sonuçların 2 saat termal yaşlandırma ile edildiği kesindir. Hasarın oluşması burkulma yükü üzerinde % 6.36513 oranında bir azalma yapmaktadır. 20 mm levha genişliği için 10 mm’ lik dairesel delik çapı levha mukavemetinin yaklaşık % 50 oranında azaltmıştır (Soutis, 1999). Yapıştırıcı kalınlığının artması da yük değerlerini lineer bir şekilde artırmakta olduğu gözlemlenmekte hatta elde edilen değerler hasarlı numunenin, hasarsız numunenin değerlerinin üstüne de çıkmaktadır. Tek yüzünden yama ve yapıştırıcı kullanılarak tamir edilmiş kompozit levhanın hasar yüklerinin hasarsız numunenin hasar yüklerine % 80 yaklaşmıştır (Soutis, 1999). Elde edilen değerler Soitis ve arkadaşlarının değerleri ile uyuşmamaktadır.

75 °C sıcaklıkta hasarlı, hasarsız ve 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm ile yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş numunelerde en düşük sonuçlarda ise değişiklikler gözlenmekte olup termal yaşlanmanın 4 saat ve 8 saat süreyle uygulanan sıcaklıklarda elde edilmiştir. Yaşlanma süresi artıktıkça kopma mukavemeti %22 oranında azalır (Belaid, 2015).

Çift yüz yapıştırmada ise maksimum değerlere ulaşılmıştır. Tek ve çift yüzünden yama ile yapıştırılarak tamir edilen kompozit levhaların burkulma yükleri delikli kompozit levhaların burkulma yüküne göre % 96 ve 263 oranında artmıştır (Turan, 2013). Uygulanan termal yaşlandırmalar burkulma yükü üzerine pozitif etkiler yaparak oda sıcaklığında elde edilen değerinde üstüne çıkan sonuçlar elde edilmiştir.

5.2.2. 100 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi

100 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırma sonucunda ise hasarsız ve hasarlı numunelerde en iyi değerleri yine 75 °C sıcaklıkta olduğu gibi 2 saat süreyle uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde etmişlerdir. Bu değerler hasarsız numunede 2284.447 N olurken hasarlı numunede ise 2088.107 N olarak belirlenmiştir. Aynı sıcaklıktaki termal yaşlandırma sonuçlarında farklılık ise 4 saat uygulama sonucunda değerler düşüşe geçerken 6 saat uygulanmasında tekrar bir artış gözlenmektedir. 75 °C sıcaklıkta olduğu gibi termal yaşlanmanın 8 saate çıkarılması durumunda ise değerler en düşük seviyelerine ulaşarak hasarsız numunede 1775.431 N ve hasarlı numunede ise 1615.236 N olarak ölçülmüştür.

100 °C sıcaklıkta da termal yaşlanma uygulanarak tamir edilmiş kompozit yamaların sonuçlarında ise en iyi sonuçlar sağlanmayacak şekilde çift yüzünden 0.4 mm ile yani toplamda 0.8 mm yama kalınlığı olan numunelerde elde edilmiştir.

0.2 mm ile tamir edilmiş numunede en iyi sonuçlar 2 saat süreli termal yaşlandırma ile elde edilirken 2480.976 N olarak ölçülmüş olup, en düşük değer hasarlı veya hasarsız numunedekiler gibi 8 saat uygulanan termal yaşlandırma ile elde edilmiştir ve değeri 2231.401 N olarak ölçülmüştür.

0.4 mm'de elde edilen değerler 0.2 mm olduğu gibi en iyi değer 2 saat uygulanan termal yaşlandırma ile ölçülmüş 2600.817 N'dur, en düşük değeri de 8 saat termal yaşlandırma da olup 2427.04 dur.

0,6 mm yapıştırıcı kalınlığında en iyi sonuçlar 2 saat uygulanan termal yaşlanma sonucunda elde edilmiş olup 2851.288 N olarak ölçülmüştür. En düşük değerler ise 0.2 mm ve 0.4 mm de olduğu gibi 8 saat süreyle elde edilmiş 2597.661 N olarak ölçülmüştür.

0.8 mm yani çift yüz yapışma da ise en iyi değerler yine 75 °C sıcaklıkta olduğu gibi 6 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda ortaya çıkarken 3565.36 N olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise 4 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde edilmiş olup değeri 3387.269 N olarak ölçülmüştür.

5.2.3. 150 °C Sıcaklıktaki Termal Yaşlanmanın Değerlendirilmesi

150 °C sıcaklıkta termal yaşlanmaya uğratılmış numunelerden elde edilen en iyi sonuçlar hasarlı, hasarsız ve 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.6 mm de değişmeksizin 2 saat süreli uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde edilmiştir. Belirli bir sürede uygulanan termal yaşlanma malzemenin mukavemet özelliklerini olumlu yönde arttırdığı aşıkardır. Polyester kompozitlerde 61.5 °C ve 79 °C derecedeki kürlleme sıcaklığında daha iyi gerilme ve darbe özelliklerine ulaşılır (Boopathi, 2014). En düşük değerler ise 8 saat süreyle uygulanan sıcaklık değerlerinde elde edilmiştir. Artan termal yaşlanma süresi malzemenin mukavemet özelliklerine kötü yönde etki ederek değerlerde düşüş yaşamasını sağlamıştır.

0.8 mm yani çift yüz yapıştırmada ise değerler 75 °C olduğu gibi değerler maksimum değerlere ulaşmıştır. En yüksek değer 75 °C olduğu gibi 6 saatte elde edilmiş olup en düşük değer 75 °C olduğu gibi oda sıcaklığında değil de 4 saat uygulanan termal yaşlanma sonucunda ortaya çıkmıştır. Yani uygulanan sıcaklığın artması sonucunda malzemenin ve yapıştırıcının yapısındaki değişikliklerden dolayı malzemenin mukavemetinin kötü yönde etkilendiği ortaya çıkmaktadır. Daha fazla kürlleme sıcaklığı daha fazla termal gerilmeler ile sonuçlanır ve sıcaklık artmasının numunelerin çöküşünü önemli ölçüde artırır (Wang, 2008).

150 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırma sonucunda ise hasarsız ve hasarlı numunelerde en iyi değerleri yine 75 °C ve 100 °C sıcaklıkta olduğu gibi 2 saat süreyle uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde etmişlerdir. Bu değerler hasarsız numunede 2106.008 N olurken hasarlı numunede ise 2021.543 N olarak belirlenmiştir. 100 °C sıcaklıkta olduğu gibi en düşük değerler termal yaşlanmanın 8 saate çıkarılması

durumunda ulaşılırken hasarlı numune için bu durum 4 saat süreli termal yaşlanma süresinde elde edilmiştir. En düşük kritik burkulma yükü hasarsız numunede 1936.133 N ve hasarlı numunede ise 1755.667 N olarak ölçölmüştür.

150 °C sıcaklıkta da termal yaşlanma uygulanarak tamir edilmiş kompozit yamaların sonuçlarında ise en iyi sonuçlar yine 75 °C ve 100 °C sıcaklıkta olduğu gibi çift yüzünden 0.4 mm ile yani toplamda 0.8 mm yama kalınlığı olan numunelerde elde edilmiştir.

0.2 mm ile tamir edilmiş numunede diğer 75 °C ve 100 °C sıcaklığın aksine en iyi sonuç 6 saat süreli uygulamada elde edilirken 2488.27 N olarak ölçölmüş olup, en düşük değer 8 saat uygulanan termal yaşlandırma ile elde edilmiştir ve değer 2378.462 N olarak ölçölmüştür.

0.4 mm' yapıştırıcı kalınlığı ile tamir edilmiş numunede ise en iyi değer 2 saat uygulanan termal yaşlandırma ile ölçölmüş 2571.226 N'dur, en düşük değer 8 saat termal yaşlandırma da olup 2460.92 dur.

0,6 mm yapıştırıcı kalınlığında en iyi sonuçlar 0.2 mm kalınlıkta olduğu gibi 6 saat uygulanan termal yaşlanma sonucunda elde edilmiş olup 2705.61 N olarak ölçölmüştür. En düşük değer ise 4 saat süreyle elde edilmiş 2553.107 N olarak ölçölmüştür.

0.8 mm yani çift yüz yapışma da ise en iyi değerler yine 75 °C ve 100 °C sıcaklıkta olduğu gibi 6 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda ortaya çıkarken 3368.6 N olarak ölçölmüştür. En düşük değer ise 8 saat uygulanan termal yaşlandırma sonucunda elde edilmiş olup değer 3328.874 N olarak ölçölmüştür.

150 °C sıcaklıkta uygulanan termal yaşlanma sonucunda diğer sıcaklıklara göre biraz farklılık göstermekte ve elde edilen değerler numunelerin oda sıcaklığına yakın değerler olmaktadır. Bu durum sıcaklığın fazla artmasında malzemenin ve yapıştırıcının özelliklerinin etkilendiğini göstermektedir.

5.3. Sonuç ve Değerlendirme

Tam ortasında 10 mm delik ile delinmiş numuneler de kritik burkulma yükü değerleri düşmektedir. Bu durum oda sıcaklığında % 6,36 iken en fazla oran termal

yaşlandırmanın 100 °C sıcaklıkta 8 saat ile uygulanmasında elde edilmiş olup % 9,02'dir.

Hasarsız numunelerde burkulma yükünde en iyi sonuç 2 saat süreyle 100 °C sıcaklık ile termal yaşlandırmaya uğramış numunede elde edilirken en düşük sonuç 8 saat süreyle 100 °C sıcaklıkta termal yaşlandırmaya uğramış numunede tespit edilmiştir.

Hasar görmüş kompozit malzemeler tamir edildikten sonra kritik burkulma yükleri oda sıcaklığında hasarsız durumundan olduğunda daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Hasar görmüş kompozit levhalar tamir edildikten sonra aynı süreli ve sıcaklıkta uygulanan termal yaşlandırma sonucunda da kritik burkulma yükü değeri hasarsız durumda olduğundan daha yüksek değer ulaşmaktadır.

Yapıştırıcı kalınlığı artıkça kritik burkulma yükü artmaktadır.

Yapıştırıcı kalınlığı termal yaşlandırmanın aynı sıcaklık ve süre ile uygulanması durumunda da kritik burkulma yükünü artırmaktadır.

Termal yaşlandırma süresi kritik burkulma yükü üzerinde süreye bağlı olarak lineer bir eğri çizmemektedir. Sıcaklık değeri değişmeksizin 2 saat süreli termal yaşlandırma sonucunda kritik burkulma yükü artış gösterirken 4 saat süreli termal yaşlandırma sonucunda değer tekrar düşüşe geçmekte bu değerler oda çoğunlukla oda sıcaklığının da altına düşmekte ve 6 saat süreli termal yaşlandırma sonucunda ise değer tekrar artmaktadır. 8 saat süreli yaşlandırma sonucunda ise azalma devam etmektedir.

Çift yüz yapıştırmada en iyi kritik burkulma yükü 100 °C 6 saat süreli termal yaşlandırma sonucunda elde edilmiştir. Burada yapıştırıcının özelliklerinin de termal yaşlandırma ile etkileştiğini ve mukavemet değerleri üzerinde rol oynadığını belirtebiliriz.

6. KAYNAKLAR

- A. Albedah, B Bachir Bouiadjra, W Ouddad, M Es-saheb and F Binyahia., Elastic plastic analysis of bonded composite repair in cracked aircraft structures, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 7 September 2010
- A.R. Ghasemi, M. Moradi., Effect of thermal cycling and open-hole size on mechanical properties of polymer matrix composites, *Elsevier, Polymer Testing* 59 (2017) 20e28
- Abdelaziz A. Taib, Rachid Boukhili, Said Achiou, Sebastien Gordon, Hychem Boukehili., Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 26 (2006) 226–236
- Abolghassem Zabihollah and Rajamohan Ganesan., Buckling Analysis of Tapered Composite Beams using a Higher Order Finite Element Formulation, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28 January 2010 DOI: 10.1177/0731684409352124
- Adnan Naji Jameel, Kawther Khalid Younus., Buckling Analysis Of Damaged Composite Plates Under Uniform Or Non-Uniform Compressive Load *Journal of Engineering* Volume 18 August 2012
- Ahmet Avci, Omer Sinan Sahin, Mesut Uyaner., Thermal buckling of hybrid laminated composite plates with a hole, *ScienceDirect Composite Structures* 68 (2005) 247–254
- Ali Günyar, Hasan Öztürk, Mustafa Sabuncu., Kompozit Eğri Çubukların Doğal Frekans Ve Burkulma Yüğü Analizi, *Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* Cilt: 14 Sayı: 42 sh. 33-42 Ekim 2012
- B. Alcock, N.O. Cabrera , N.-M. Barkoula, C.T. Reynolds , L.E. Govaert , T. Peijs., The effect of temperature and strain rate on the mechanical properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites, *ScienceDirect Composites Science and Technology* 67 (2007) 2061-2070
- B.C.Ray., Temperature effect during humid ageing on interfaces of glass and carbon fibers reinforced epoxy composites, *ScienceDirect journal of Colloid and Interface Science* 298 (2006)111-117
- Beylergil, B., Yapıştırılarak Bağlantı Sağlanan Kompozit Levhaların Bağlantı Performansının Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, 2010.
- Buket Okutan Baba, Aysun Baltacı., Buckling Characteristics of Symmetrically and Antisymmetrically Laminated Composite Plates with Central Cutout, *Appl Compos Mater* (2007) 14:265–276, DOI 10.1007/s10443-007-9045-z
- C.Boopathi, S.Kalyana Sundaram, S.Jayabal, S.Karthikeyan. , Influence of Curing Temperature and Fiber Volume Fraction on the Mechanical Properties of Sisal Fiber Reinforced Polyester Composites, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 3, Issue 7, July 2014
- Chung-Li Hwan, K.-H. Tsai, Wen-Liang Chen, Chang-Hsuan Chiu and C.M. Wu Strength prediction of braided composite plates with a center hole, *Journal of Composite Materials* published online DOI: 10.1177/0021998311399483 8 March 2011
- D. Ouinas, B.B. Bouiadjra, B. Serier, M. SaidBekkouche., Comparison of the effectiveness of boron/epoxy and graphite/epoxy patches for repaired cracks emanating from a semicircular notch edge, *ScienceDirect Composite Structures* 80 (2007) 514–522
erzurum.edu.tr/Content/Yuklemeler/Personel/Salih.../burkulma11068.docx

- Evgeny Y. Razumov, Ruslan R. Safin, Steafan Barcik, Monika Kvietkova, Khasan R. Romelevich., **DRVNA INDUSTRIJA** 64 (1) 3-6 (2013)
- F.Z. Hu, C. Soutis, Strength prediction of patch-repaired CFRP laminates loaded in compression, **CompositeS Science and Technology** 60 (2000) 1103-1114
- Gülşah ALAR ÖNER, Şemsettin TEMİZ, Hamit AKBULUT, Adnan ÖZEL. , İnce Cidarlı, Çapraz Takviyeli, Tabakalı Kompozit Tüplerde Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Burulmalı Burkulma Analizi, **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi** Cilt:9 Sayı:1 s.35-44 Ocak 2007
- H. Hosseini-Toudeshky, S. Bakhshandeh, B. Mohammadi, H.R. Daghyani., Experimental investigations on fatigue crack growth of repaired thick aluminium panels in mixed-mode conditions, **ScienceDirect Composites Structure** 75 (2006) 437-443
- H. Hosseini-Toudeshky., Effects of composite patches on fatigue crack propagation of single-side repaired aluminum panels, **ScienceDirect Composites Structure** 76 (2006) 243-251
- Kadir Turan, Buckling behavior of adhesively patch-repaired composite plates **Journal of Composite Materials** 2014 48: 3253 originally published online DOI: 10.1177/0021998313508801 20 November 2013
- Kemal Aldaş, Faruk Şen. , Karma Bağlantılı Kompozit Plaklarda Farklı Sıcaklıklar Etkisiyle Oluşan Gerilmelerin Analizi, **KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15(1), 2012
- Kompozit Malzemeler Dersi - Bölüm 1: Genel Bilgiler - Prof. Dr. Mehmet Zor http://kisi.deu.edu.tr//mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf
- M.D. Aydın, Ş. Temiz, A. Özel., Yapıştırma bağlantılarının dayanımı üzerine kürleşme basıncının etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7-9 Kasım 2007
- Melih Belevi, Gürel İnancı, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2008 (4) 19-31 Darbe ve Ortam Şartlarının Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkileri **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi** 2008 (4) 19-31
- Mohammad Kashfuddoja, M. Ramji., Design of optimum patch shape and size for bonded repair on damaged Carbon fibre reinforced polymer panels, **Materials and Design**, 54 (2014) 174–183
- Murat Yazıcı, Reşat Özcan, Sedat Ülkü., Buckling of Composite Plates With U-shaped Cutouts **Journal of COMPOSITE MATERIALS**, Vol. 37, No. 24/2003
- P. Papanikos, K.I. Tserpes, G. Labeas , Sp. Pantelakis. , Progressive damage modelling of bonded composite repairs, **ScienceDirect Theoretical and Applied Fracture Mechanics** 43 (2005) 189-198
- R.D.S.G. Campilho, M.F.S.F. de Moura, D.A. Ramantani, J.J.L. Morais, J.J.M.S. Domingues., Buckling strength of adhesively-bonded single and double-strap repairs on carbon-epoxy structures, **Composites Science and Technology** 70 (2010) 371-379
- S. Feiha , H.R. Shercliffa., Adhesive and composite failure prediction of single-L joint structures under tensile loading, **International Journal of Adhesion & Adhesives** 25 (2005) 47–59
- S.Belaid, S.F. Chabira, P.Balland, M. Sebaa, S.Belhoudeg., Thermal aging effect on the mechanical properties of polyester fiberglass composites, **j.Mater. Environ. Sci.** 6(10) (2015) 2795-2803
- Shufeng Liu, Xiaoquan Cheng, Qian Zhang, Jie Zhang, Jianwen Bao, Xin Guo., An investigation of hygrothermal effects on adhesive materials and double lap shear joints of CFRP composite laminates, **Science Direct Composites Part B** 91 (2016) 431e440

- Soutis C., Duan D-M., Goutas P., Compressive behaviour of CFRP laminates repaired with adhesively bonded external patches, *Composite Structures* **45** (1999) 289±301 1999
- Temiz, V., İtü Ders Notları, 2003.
- Turan, K., Çözülebilir Bağlantılı Kompozit levhaların Mekanik Davranışlarının Analizi, Fırat Üniversitesi, Doktora Tezi, 2009.
- V. Kamala Kannan, Vela Murali, A. Rajadurai and B. Nageswara Rao., Tension and Compression Strength Evaluation of Composite Plates with Circular Holes, *Journal of Reinforced Plastics and composites*, 2010 29: 1500 originally published online 23 June 2009 DOI: 10.1177/0731684409337904
- W. Oudad , B. Bachir Bouiadja , M. Belhouari, S. Touzain, X. Feaugas., Analysis of the plastic zone size ahead of repaired cracks with bonded composite patch of metallic aircraft structures, *ScienceDirect Computational Materials Science* **46** (2009) 950-954
- Yarrington, P., Zhang, J., Collier, C., Bednarczyk, B.A., 2005, Failure Analysis of Adhesively Bonded Composite Joints, 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, *Structural Dynamics & Materials Conference*, Austin, Texas, AIAA, 2005 23-76
- Ye Zhang, Anastasios P. Vassilopoulos, Thomas Keller., Effects of low and high temperatures on tensile behavior of adhesively-bonded GFRP joints, *Composite Structures* **92** (2010) 1631–1639
- Yu. A. Gorbatkina, V. G. Ivanova-Mumzhieva, A. M. Kuperman, I. I. Ponamarev., Effect of thermal aging on the adhesive strength of joints of double-chain polymers with fibers and on the properties of unidirectional cfrps based on them, *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 46, No. 1, 2010
- Zun Wang, Jiayu Xiao, Dazhi Jiang, Jingcheng Zeng and Fubiao Yang, Journal of Reinforced Plastics and Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* (2009) 28: 587
- <http://tur.turknotik.com/vagabond/> <http://www.savarbalistik.com.tr/content.php?icerikpk=4>
- <https://www.donanimhaber.com/otomobil-teknolojileri/haberleri/Lamborghini-770-beygirlik-yeni-super-otomobili-Centenario.htm>
- <http://www.serdarkorkut.com/2017/05/30/burkulma-buckling-nedir/>
- <https://teknikbilgi.files.wordpress.com/2011/04/burkulma2.jpg>
- <https://www.muhandisbeyinler.net/kompozit-malzemeler-nedir/>
- <https://www.dishastaliklari.gen.tr>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Baran ERKEK
Doğum Yeri : Diyarbakır
E-posta : erkekbaran@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

2012- 2018 Yüksek Lisans Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Mekanik Ana
Bilim Dalı
2000- 2004 Lisans Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği

İŞ TECRÜBESİ

2005- 2006 Özkılıç Tekstil, Bakım Şefi
2007- 2010 Ceylan Otomotiv, Yedek Parça Satış Temsilcisi
2010- 2012 Makine Mühendisleri Odası Diyarbakır Şube, Teknik Görevli
2012- Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Öğretim Görevlisi



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

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Baran ERKEK
ÖĞRENCİ NO	12818013
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017-2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Yama ve Yapıştırıcı Kullanılarak Tamir Edilmiş Kompozit Levhaların Burkulma Davranışı Üzerine Termal Yaşlanma Etkilerinin Araştırılması

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	91
BENZERLİK ORANI	% 17
RAPORLAMA TARİHİ	26/06/ 2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 91 sayfalık kısmına ilişkin, 26/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 17 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

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

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

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Baran ERKEK

29/06/2018

Doç.Dr. Kadir TURAN

29.06/2018

Doç.Dr. Vedat ORUÇ