

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK TESİRLİ YAPIŞMA BAĞLANTILARININ HASAR
DAVRANIŞLARI ÜZERİNE TERMAL YAŞLANMA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Nazif SATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Haziran 2018

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Nazif SATI tarafından yapılan “Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarının Hasar Davranışları 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: Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Emin DENİZ

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

Akademik çalışma bilincini bende uyandıran ve her zaman bu bilinçle hareket etmemi sağlayan akademik olarak tüm bilgi ve çalışmalarını büyük bir içtenlikle paylaşan bu tezi hazırlamamda her türlü desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Kadir TURAN'a ve Yüksek Lisans derslerimde yardımlarından dolayı ve akademik bilgilerini benimle aynı içtenlikle paylaşan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN'e teşekkür ederim. Haklarını asla ödeyemeyeceğim anneme babama ve tüm aileme sonsuz teşekkürler.

Nazif SATI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA VE SİMGELER	XI
1. GİRİŞ.....	1
2 KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE METOT.....	15
3.1. Tanım	15
3.2. Kompozit Malzemelerin Teknolojik Gelişimi	15
3.3. Kompozit Malzeme Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları.....	15
3.3.1. Avantajları	15
3.3.2. Dezavantajları	16
3.4. Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı	16
3.5. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi	17
3.5.1. Yapıştırma Bağlantılarının Kullanılma Nedenleri	18
3.5.2. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları	18
3.5.3. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları	19
3.6. Yapıştırıcı Kullanılarak Birleştirilen Kompozit Malzemelerde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	20
3.6.1. Adhezyon	20
3.6.2. Kohezyon	21

3.7.	Yüzey Temizliği	21
3.8.	Termal Yaşlanma	22
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	23
4.1.	Problemin Modeli	23
4.2.	Numunelerin Hazırlanması	27
4.3.	Deneyin Yapılışı	34
4.4.	Deneysel Çalışma Sonuçları	35
4.4.1.	Lap15 th0.4 25°C (oda sıcaklığı) İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	35
4.4.2.	Lap15 mm th0.4mm 150°C 2h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	36
4.4.3.	Lap15 mm th0.4mm 150°C 4h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	37
4.4.4.	Lap15 mm th0.4mm 150°C 6h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	38
4.4.5.	Lap15 mm th0.4mm 150°C 8h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	39
4.4.6.	Lap30 mm th0.4mm 75°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	40
4.4.7.	Lap30 mm th0.4mm 100°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	41
4.4.8.	Lap30 mm th0.4mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	42
4.4.9.	Lap30 mm th0.2mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	43
4.4.10.	Lap30 mm th0.6mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	44
4.4.11.	Lap45 mm th0.4mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları	45
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	47
5.1.	Deney Sonuçlarının Tablo ve Grafiklerle İfadesi	47
5.1.1.	Bindirme Uzunluğu Değişiminin Sonuçları	47
5.1.2.	Bindirme Uzunluğu Değişiminin Zamana Göre Değerlendirilmesi.....	48
5.1.3.	Sıcaklık Değişiminin Değerlendirilmesi.....	49
5.1.4.	Yapıştırıcı Kalınlığı Değişiminin Değerlendirilmesi.....	51
5.1.5.	Yapıştırıcı Kalınlığı ve Termal Yaşlanma Etkisinin Değerlendirilmesi.....	52
5.1.6.	Deneysel Çalışma Sonrası Numunelerde Görülen Hasar Tipleri	53

5.1.7.	Oda Sıcaklığında Termal Yaşlanma Uygulanmayan Numuneler.....	56
5.1.8.	İki Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi.....	57
5.1.9.	Dört Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi	58
5.1.10.	Altı Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi	59
5.1.11.	Sekiz Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi....	60
5.2.	Sonuç ve Değerlendirme	61
6.	KAYNAKLAR	63
	ÖZGEÇMİŞ	67



ÖZET

TEK TESİRLİ YAPIŞMA BAĞLANTILARININ HASAR DAVRANIŞLARI ÜZERİNE TERMAL ETKİLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nazif SATI

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Bu çalışmada, tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışları üzerine termal yaşlandırma etkileri deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Deneysel çalışmada numuneler yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm 0,4 mm, 0,6 mm ve elektrikli fırın yardımıyla 75°C, 100°C, 150°C sıcaklıklara 2, 4, 6, 8 saat süreyle maruz bırakılmış, oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve daha sonra statik çekme yüküne tabi tutulmuştur. Termal yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen veriler termal yaşlandırmaya tabi tutulmayan numunelerle karşılaştırılmış ve termal yaşlandırma etkileri grafik ve tablolarla ortaya konmuştur. Deneysel çalışma sonucunda termal yaşlandırmanın bağlantının mukavemetini arttırdığı görülmüştür. En iyi sonuçlar ise 100°C ve 2 saat fırınlanma süresinde elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, termal yaşlanma, tek tesirli yapışma,yapıştırıcı bindirme bağlantısı

ABSTRACT

THERMAL AGING EFFECT ON THE STRENGTH OF SINGLE LAP JOINTED COMPOSITE PLATES

M.Sc. THESIS

Nazif SATI

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

2018

In this study, the thermal aging effect on failure loads of the single lap jointed composite plates was determined with experimental study. The composite plates were joined with different adhesive thickness 0,2 mm, 04 mm, 0,6 mm and these plates were exposed to the different temperature 75°C, 100°C, 150°C and to the different times 2, 4, 6, 8 hour in an electrical oven. At the end of thermal aging process, these plates were loaded with axial tensile load. The failure load of thermally aged specimens results were compared to un-aged specimens results. As a result of these studies, the thermal aging effect on the strength of single lap joints was determined. According to the this study thermal aging effect increased the mekanic result of the single lap jointed composite plates. Best resultt of this study got from the 100°C and 2 hours speciemens.

Keywords: Composite materials, Thermal aging effect, Single lap, Adhesively lap joints.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Lap15,30,45 mm, th0,4 mm ve150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu	48
Çizelge 5.2. Lap15,30,45 mm, th0,4 mm ve150°C 2, 4, 6, 8saat için elde edilen hasar yükleri tablosu	49
Çizelge 5.3. Lap30 mm, 750°C, 100°C ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu	50
Çizelge 5.4. Lap30 mm, th 0,2mm- th0,4 mm –th0,6mm ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu	52
Çizelge 5.5. Lap30 mm, th 0,2mm- th0,4 mm –th0,6mm ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu	53

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. (a) paralel fiberler, (b) dik fiberler	17
Şekil 3.2. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri	21
Şekil 3.3. Numunelere uygulanan yüzey temizleme işlemi	22
Şekil 3.4. Numunelere uygulanan suni termal yaşlandırma işlemi	22
Şekil 4.1. Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutu	23
Şekil 4.2. Deney numunelerinde kullanılan levhalar	23
Şekil 4.3. Tip1 bindirme uzunluğu 15mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,4mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi	24
Şekil 4.4. Tip2 bindirme uzunluğu 30mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,4mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi	25
Şekil 4.5. Tip3 bindirme uzunluğu 30mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,2mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi	25
Şekil 4.6. Tip4 bindirme uzunluğu 30mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,6mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi	26
Şekil 4.7. Tip5 bindirme uzunluğu 30mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,6mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi	26
Şekil 4.8. Deney numunelerinde kullanılan levhaların kesilme işlemi	27
Şekil 4.9. Deney numunelerinde kullanılmak üzere kesilen levhalar	27
Şekil 4.10. Deney numunelerinde kullanılan levhaların yüzey zımparalama işlemi	28
Şekil 4.11. Zımparalanan kompozit levhaların asetonla temizlenme işlemi	28
Şekil 4.12. Hazırlanan levhaların bindirme uzunluğuna göre çizilmesi işlemi	29
Şekil 4.13. Yapıştırma işlemi için özel kalıpların 3 boyutlu yazıcı ile üretilmesi işlemi	29
Şekil 4.14. Yapıştırıcının hazırlanma işlemi	30
Şekil 4.15. Yapıştırıcının numunelere sürülmesi işlemi	30

Şekil 4.16.	Yapıştırıcı sürülen numunenin kalıba yerleştirilmesi işlemi	31
Şekil 4.17.	Yapıştırma işlemi için ikinci parçası yapıştırılmış numune	31
Şekil 4.18.	Eğilme gerilmesini önlemek için numunenin uçlarına yapıştırılacak parçalar	32
Şekil 4.19.	Yapıştırma işlemi tamamlanmış numune	32
Şekil 4.20.	Numunelerin etiketlenme işlemi	32
Şekil 4.21.	Numunelerin fırınlanma işlemi	33
Şekil 4.22.	Numunelerin fırınlanma işleminden sonra markalanmış hali	33
Şekil 4.23.	Çekme test cihazı ve deney düzeneği	34
Şekil 4.24.	Lap15 th0,4 25°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	35
Şekil 4.25.	Lap15 th0,4 150°C 2h levha için elde edilen yük-uzama değerleri	36
Şekil 4.26.	Lap15 th0,4 150°C 4h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	37
Şekil 4.27.	Lap15 th0,4 150°C 6h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	38
Şekil 4.28.	Lap15 th0,4 150°C 8h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	39
Şekil 4.29.	Lap30 th0,4 75°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	40
Şekil 4.30.	Lap30 th0,4 100°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	41
Şekil 4.31.	Lap30 th0,4 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	42
Şekil 4.32.	Lap30 th0,2 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	43
Şekil 4.33.	Lap30 th0,6 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	44
Şekil 4.34.	Lap45 th0,4 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	45
Şekil 5.1.	Lap15,30,45 mm, th0,4 mm ve 150°C levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	47
Şekil 5.2.	Lap15,30,45 mm, th0,4 mm ve 150°C levhalar için elde edilen yük-zaman değerleri grafiği	48
Şekil 5.3.	Lap30, th0,4 ve 2, 4, 6, 8 saat numuneler için elde edilen yük-sıcaklık değerleri grafiği	49
Şekil 5.4.	Lap30 mm, th0,4 mm 25°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	51
Şekil 5.5.	Lap30 mm th0,4 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği	52

Şekil 5.6.	Birinci tip hasar şeklini gösteren fotoğraf	54
Şekil 5.7.	İkinci tip hasar şeklini gösteren fotoğraf	54
Şekil 5.8.	Üçüncü tip hasar şeklini gösteren fotoğraf	55
Şekil 5.9.	Dördüncü tip hasar şeklini gösteren fotoğraf	55
Şekil 5.10.	Oda sıcaklığında termal yaşlanma olmayan numunelerin test sonrası hasar tipi	56
Şekil 5.11.	İki saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar	57
Şekil 5.12.	Dört saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasa	58
Şekil 5.13.	Altı saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar	59
Şekil 5.14.	Sekiz saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar	60

KISALTMA VE SİMGELER

P	: Yük [N]
E_k	: Kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü
E_f	: Fiberlerin elastisite modülü
E_m	: Matrisin elastisite modülü
T_k	: Kompozitin çekme mukavemeti.
T_f	: Fiberlerin çekme mukavemeti
T_m	: Fiberlerin koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme
V_f	: Fiberlerin hacimsel oranı
ν_{12}	: Poisson oranı -
A	: Yapıştırma yüzey alanı [mm^2]
L	: Bağlantı uzunluğu [mm]
Lap	: Bindirme uzunluğu [mm]
th	: Yapıştırıcı Kalınlığı [mm]

1. GİRİŞ

Takviye eden ve takviye edilen iki veya daha fazla malzemeden oluşan ve bu malzemelerin kendi mukavemetlerini kaybedip fiziksel bir bağ oluşturarak sinerjik bir mukavemet ortaya çıkardığı yeni malzeme kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır. Günümüz ihtiyacı olan hafiflik ve sağlamlık özelliklerini bir arada sunan kompozit malzemelerin birleştirilmesi işlemi için yapışma bağlantısı kompozit malzemeler için sıkça başvurulmuş bağlantı türüdür.

Konstrüksiyonların güvenilirliği yapıyı bir arada tutan bağlantı şekli ile doğrudan ilgilidir. Hafif, mukavemetli ve korozyona dayanıklı olan kompozit malzemelerin birleştirilmesi geleneksel malzemelere oranla daha zordur. Gerilme yığılmaları, çentik etkileri, ağırlık artışı gibi problemlere neden olduğu için mekanik bağlantılar yerine yapışma bağlantıları tercih edilirler. Yapışma bağlantıları fiziksel bağlantıdan ziyade kimyasal bir bağ içerir. Bu durum bağlantı mukavemeti üzerine çevre şartlarının etkisini ortaya çıkarır.

Yapıştırılan parçaların ve yapıştırıcının mekanik özellikleri yapıştırma bağlantılarının mukavemetini belirler. Bu nedenle, yükleme koşullarına uygun yapıştırıcının seçimi ve yapıştırıcının parçalara sağlıklı bir şekilde yapışması son derece önemlidir. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı bindirme mesafesi uzunluğu, yapıştırıcı kalınlığı, yapıştırılan parçaların geometrik şekli gibi parametreler ve yüzey ön hazırlık işlemleri yapıştırma bağlantılarının dayanımını değiştirebilir (Pekbey, 2013).

Hafif, aynı zamanda mukavemetli, korozyona ve sıcaklığa dayanıklı olduğu için günümüzde kullanım alanı genişleyen ve önemi gittikçe artan kompozit malzemeleri bir arada tutmak için kullanılan yapışma bağlantısının önemi de gittikçe artmaktadır. Özellikle havacılık sektöründe kullanımı gittikçe artan kompozit malzemelerin sürekli farklı sıcaklıklara maruz kaldığı görülmektedir. Benzer şekilde uzayda kullanılan malzemeler -160°C ve 93.3°C aralığında farklı sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu nedenle genel sıcaklık değişimlerine göre tasarlanan yapışma bağlantılarının zamanla değişen sıcaklıklarla çalışma durumu, incelenmesi ve araştırılması gereken önemli bir konudur.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sawa ve arkadaşları (2000), yapmış oldukları çalışmada iki boyutlu elastisite teorisini kullanarak çekme yüküne maruz farklı yapıştırılan malzemelerin yapıştırılması ile oluşturulmuş tek taraflı bindirme bağlantısını incelemişlerdir. Yapıştırılan malzeme kalınlığı, yapıştırıcı tabakasının kalınlığı ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modülü farklarının ara yüzeyde oluşan gerilme dağılımı üzerine etkilerini analiz etmişlerdir. Yapıştırılan malzeme kalınlığı ve elastisite modülünün yapıştırmanın yapıldığı bölgenin serbest uçlarında oluşan gerilme dağılımları üzerine çok önemli etkisinin olduğunu görmüşlerdir.

Chen (2001), yapmış olduğu deneysel çalışmada, cıvata ile birleştirilmiş kompozit malzemenin performansı üzerine çevre şartlarının etkilerini incelemiştir. Bunun için Higrotermal çevrime tabi tutulan numunelerin yorulma testlerinde oluşan delik hasar uzaması, higrotermal çevrime maruz kalmayan numunenin yorulma testlerinde meydana gelen delik hasar uzamasından daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Bunun üzerine higrotermal çevrim etkisine maruz kalan numunelerin nem ağırlık artışlarını belirlemiş ve bu sonuçları analitik sonuçlar ile kıyaslamıştır.

Ferreira ve arkadaşları (2002), kompozit malzeme kullanılarak üretilmiş yapıştırma bağlantılarının yorulma davranışları üzerine; tabaka dizilimini, bindirme uzunluğunun, sıcaklık değişiminin ve belirli zaman aralıklarında suda bekletmenin etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda; 30 mm bindirme uzunluğunun, 60 mm bindirme uzunluğuna göre daha iyi statik ve yorulma dayanımı gösterdiğini belirlemiş ve yapıştırma bağlantılarının yorulma dayanımına suyun etkisinin, su sıcaklığı ve numunenin suda bekletilme süresine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Yang ve arkadaşları (2004), yapıştırıcı ile tek tesirli olarak birleştirilmiş kompozitlerde gerilme dağılımlarını incelemek için analitik bir model üzerinde çalışmışlardır. Üzerinde çalıştıkları bu modelde, Von Mises akma kriterine göre yapışkan elastoplastik, kompozit numuneleri ise lineer elastik olarak kabul etmişlerdir. Anizotropik plaka teorisini tabakalanmış ve yapıştırılmış kompozit plakaların genel denklemlerinin türetilmesinde kullanmışlardır. Abaquse sonlu elemanlar analizi programını kullanarak geliştirdikleri gerilme modelinin yapışkan gerilme dağılımlarını karşılaştırmış ve doğrulamışlardır.

Leveque ve arkadaşları (2004), termal yaşlanmanın polimer- matris bileşiklerinin uzun vadede mekanik davranışlarına etkisini incelemiştir. Çalışmanın ana amacı sonlu elemanlar da kullanılabilecek bir makroskopik model geliştirmektir. Kompozit malzeme olarak karbon fiber takviyeli epoksi matris reçineli levhalar kullanmışlardır. Termal yaşlanmaya maruz bıraktıkları numunelere (120°C) statik çekme testi uygulamışlardır. Sonuç olarak hacim düzeyinin, modelin parametrelerinden bazılarına bağımlı olan bir iç yaşlanma değişkeni aracılığıyla entegre edilebileceğini söylemişlerdir.

Quaresimin ve Ricotta (2005), yapıştırma bağlantıları üzerine yapmış oldukları çalışmada, karbon/epoksi kompozit plakaları epoksi bir yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları kompozit malzemelerin bağlantılarını deneysel olarak incelemiştir. Yapmış oldukları deneyler sonucunda, statik ve yorulma dayanımlarının, statik kopma yükünün yapıştırıcı kalınlığı kadar bindirme uzunluğuna ve köşe geometrisine bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yorulma mukavemetini, köşe geometrisinin yuvarlatılmış olmasıyla ve bindirme uzunluğunun uzunluğuyla etkilerini incelemiştir.

Sınmazçelik ve arkadaşları (2005), termal yaşlanma etkisinin dolgunuz ve rastgele dizilmiş kısa fiber takviyeli PEEK ve kompozitlerinin özellikleri üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Numuneler önce 10°C/dk ısıtma oranı ile 360°C ye kadar ısıtılmış ve numuneleri bu sıcaklıkta 10 dk tuttuktan sonra buzlu suya batırmışlardır. Daha sonra numuneler 310°C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve 60 dk bu sıcaklıkta tutulup 10°C/dk soğuma hızı ile oda sıcaklığına getirmişlerdir. Yaptıkları mekanik testlerle termal yaşlanmanın malzemelerin eğilme mukavemetini arttırdığını ancak malzemeleri daha gevrek hale getirdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca elastisite modülü ve hasar yükünü önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir.

Kumar ve arkadaşları (2006) , yapmış oldukları çalışmada tek yönlü karbon fiber takviyeli kompozit parçalar ve 0.15 mm kalınlığında AF-163-2 film yapıştırıcı ile yapıştırılmış pahlı birleştirmeleri deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada numuneleri tek eksenli çekme yükü altında test etmiş ve şu sonuca varmışlardır. Pah açısının 2°'den küçük olması durumunda fiberlerde kırılma hasarı olduğu gözlemlenirken, pah açısının 2°'den büyük olması durumlarında ise yapışkan

film yapıştırıcı üzerinde kayma hasarlarını gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışma sonuçlarını sonlu elemanlar programını kullanarak analitik sonuçlarla karşılaştırmış ve deneysel yollarla buldukları sonuçları doğrulamışlardır.

Apalak ve arkadaşları (2006), yapıştırıcıyla tek tesirli ve tek yönlü olarak birleştirilen kompozit plakalarındaki hasarın başlangıç ve yayılım durumunu Hashin hasar kriterini temel alarak araştırmışlardır. Sonuç olarak; en büyük gerilmelerin, alt plakaya yapışkan arayüzün sağ serbest kenarı boyunca ve üst plaka-yapışkan arayüzün sol serbest kenarı boyunca meydana geldiğini belirlemişlerdir. Ayrıca hasarın levha kenarında başladığını ve daha sonra yapıştırıcı boyunca ilerlediğini belirlemişlerdir.

Camanho ve arkadaşları (2006), yapmış oldukları çalışmada tabakalı kompozitlerde mekanik olarak bağlanmış numunelerde, hasarın başlangıç yükünü, son hasar yükünü ve hasar tipini tahmin edebilmek için yeni bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Tabakalı kompozitlerin her bir katmanındaki gerilme dağılımını yarı analitik veya nümerik metotlar kullanarak belirlemişlerdir. Birleştirmenin elastik limitini, hasar kriterinde gerilme dağılımını ve kat kuvvetlerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Anlık ve ortalama gerilme modellerini kullanarak son hasar yükünü ve hasar tipini tahmin etmişlerdir. Buldukları sonuçları, pim ve civata ile yapılan birleştirmelerden elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırarak üzerinde çalıştıkları yöntemin doğruluğunu ispatlamışlardır.

Aydın ve arkadaşları (2007), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bindirme bağlantı mukavemetinin kürleşme boyunca uygulanan basınçla değişimini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneysel sonuçları Sonlu Eleman Analizlerinden elde edilen verilerle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak esnek karakterli yapıştırıcılar için kürleşme esnasında uygulanan basınçta meydana gelen artışın bağlantının dayanımında artışa neden olduğu, yapıştırılan malzeme kalınlığındaki artışın tek tesirli bindirme bağlantılarının dayanımı ve hasarı üzerindeki kayma gerilmelerinin etkisini artırdığını belirlemişlerdir. Yapıştırıcıların akma kriterlerindeki eksiklikler ve şekil değiştirme oranına bağımlılık gibi diğer parametrelere ilave olarak kürleşme basıncının da etkili olduğunu belirtmişlerdir. Yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışlarının doğru bir şekilde modellenmesi için yüksek sıcaklıklarda kürleşme boyunca uygulanan basıncın oluşturduğu termal artık gerilmelerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Silva ve Adams (2007), düşük ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet sağlamak için kullanılan iki farklı yapıştırıcıyı karıştırarak her sıcaklıkta kullanılabilen bir yapışma bağlantısının mukavemetini araştırmışlardır. Bindirmeli yapıştırma bağlantılarında en iyi tasarımı bulmak ve karma bir birleştirmede gerilme dağılımını Sonlu Elemanlar Metodu ile modellemişlerdir. İki yapıştırıcının birleşimi ile yapılan bağlantıların hasar yüklerini sadece yüksek sıcaklık yapıştırıcısının kullanılmasıyla elde edilen bağlantıların hasar yükleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta iki yapıştırıcının birleşimi ile yapılan bağlantıların çalışma sıcaklığı aralığının diğerine göre daha iyi bir performans gösterdiğini görmüşlerdir.

Kim ve arkadaşları (2008), tek tesirli yapışma bağlantılarında bindirme uzunluğuna bağlı olarak bağlantı yerlerinin hasar tiplerinin ve hasar yüklerinin değişimlerini deneysel yöntemlerle araştırmışlardır. Altı farklı bağlama uzunluğuna sahip karbon kompozit-alüminyum tek tesirli yapıştırılan numunelere çekme testi uygulamışlardır. Bağlantıların hasar yükleri, hasar tipleri ve bağlanma uzunlukları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bağlantıların hasar tiplerinin, kompozit ile yapıştırıcının delaminasyonundan kaynaklandığına ve delaminasyon modellerinin, yapışma uzunluğuna bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca hasar yüklerinin delaminasyon modellerinden etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Yapıştırıcının maksimum mukavemetini elde etmek için bağlantı uzunluğunun delaminasyona karşı güçlü direnç gösterecek şekilde tasarlanması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Matsuzaki ve arkadaşları (2008), yapmış oldukları çalışmada tek tesirli olarak civatalanmış ve kürleştirilmiş birleştirme yöntemi ile bağlanmış numunelerin mukavemetlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları numunelerde fiber takviye malzemelerini hasara uğratmadan ve yapıştırma birleşmesine zarar vermeyecek şekilde oluşturmuşlardır. Çalışmalarının sonucunda hibrit birleştirme yöntemiyle birleştirilmiş numunelerden elde ettikleri gerilme değerlerinin civatalanmış klasik birleştirmelerden elde ettikleri numunelerin gerilme değerlerinden daha az olduğunu belirlemişlerdir.

Jen ve Ko (2010), epoksi yapıştırıcı kullanılarak oluşturulmuş alüminyum tek tesirli bindirme bağlantılarında, farklı bindirme uzunlukları ve farklı yapıştırıcı kalınlıklarının bağlantıların yorulma mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Deneyler

sonucunda yapıştırıcı kalınlığının artmasının yorulma mukavemetini düşürdüğünü, benzer şekilde bindirme uzunluğunun artmasıyla yorulma mukavemetinin genel olarak azaldığını tespit etmişlerdir.

Turan ve Kaman (2010), iki kompozit levhayı yapıştırıcı ile birleştirip elde ettikleri tek tesirli yapışma bağlantısının hasar analizini deneysel ve sayısal metotlar kullanarak incelemiştir. Sayısal çözüm için ANSYS sonlu elemanlar programında ilerlemeli hasar analizini kullanmışlardır. Kompozit levhanın hasarını belirlemek için Hashin kriterini, yapıştırıcının hasar yükünü belirlemek için maksimum asal gerilme kriterini kullanmışlardır. Sayısal çalışmanın doğruluğunu deneysel olarak kontrol ederek bağlantı geometrisi parametrelerinin bağlantı mukavemeti üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bindirme mesafesinin, yapıştırıcı kalınlığının ve levha genişliğinin değişimi ile hasar yüklerinin değişimini araştırmışlardır. Bindirme mesafesi (b) değerinin artışının $s=0.1$ mm ve $w=18$ mm sabit değeri için hasar yüklerini arttırdığı görülmüştür. Levha genişliğinin artması ile mukavemeti arttığını ve sebebinin ise yapıştırıcının yüzey alanının artmasından kaynaklandığını gözlemlemişlerdir. Yapıştırıcının kalınlığının artışı hasar yükleri üzerinde en az etkiye sahip olduğunu nedeninin ise kalınlık artışına bağlı olarak iki kompozit levha arasında bağlantıyı sağlayan yapıştırıcı üzerindeki yükü arttırdığı ve bu durumda kalınlık artsa bile yapıştırıcı mukavemeti levhanın mukavemetine oranla oldukça düşük olduğu için mukavemetin sınırlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneysel çalışma sonucunun sayısal çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Panigrahi ve arkadaşları (2011), yapmış oldukları çalışmada tek tesirli kompozit tabakalar için üç boyutlu lineer olmayan sonlu eleman modelini kullanarak adhezyon, kohezyon ve delaminasyon hasarı ilerlemesi üzerine çalışmışlardır. Bunun için $[0^0]_8$ Grafit/epoksi kompozit levhalar ve epoksi yapıştırıcı kullanmışlardır. Bunun için 'Sub-laminate' diye adlandırılan hasar modeli üç ayrı hasar tipi için titreşim ve hasarın önündeki yer değişimini ihmal ederek uygulamışlardır. Yapıştırıcının içinde meydana gelen hasarın yapıştırıcı ile yüzey arasındaki hasardan daha hızlı yayıldığını belirlemişlerdir.

Vijayakumar ve arkadaşları (2012), yapmış oldukları çalışmada karbon fiber epoksi kompozit levhaların tek tesirli yapışma bağlantısının mukavemeti üzerine

yapıştırıcı kalitesi değişiminin etkisini incelemişlerdir. Yapıştırıcının özelliklerini değiştirmek için içerisine farklı miktarlarda polivinil alkol katmışlardır. Sayısal çalışmada ANSYS sonlu eleman programını kullanmışlardır. Deneysel çalışmada ultrasonik testler ve x-ray ışınları tekniğini kullanmışlardır. X-ray sonuçları ve ultrasonik görüntülerin yapışma kalitesini açıkça gösterdiği görülmüş ve iki işlemin de sonuçlarının birbirinden çok farklı olmadığı ortaya konulmuştur. Ses yayılımlarının hasarı daha erken tespit etme olanağı sunduğunu belirtmişlerdir.

Aldaş ve arkadaşları (2012), yapmış oldukları çalışmada pim ve yapıştırıcıyı birlikte kullanarak birleştirilmiş karma bağlantılı iki kompozit levhada uygulanan farklı sıcaklıklar etkisiyle meydana gelen gerilmeleri analiz etmişlerdir. Modelleme üç boyutlu olarak yapılmıştır. Modelleme ve çözümde sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS programından yararlanılmıştır. Oluşturulan modele hem çekme yükü hem de sıcaklık aynı anda uygulanmıştır. Sıcaklığın gerilmeler üzerine etkisini gözlemlemek için çekme yükü sabit tutulmuş fakat 50°C, 70°C, 90°C ve 110°C'lik sıcaklıklar uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, gerilmelerin delik çevresinde yoğunlaştığı görülmüştür. Karma bağlantı üzerinde başlayacak bir hasarın delik çevresinden başlayacağını tespit etmişlerdir.

Turan ve Pekbey (2015), atık kompozit parçacıklarla takviye edilmiş epoksi esaslı yapıştırıcıyla tek tesirli olarak birleştirilmiş kompozit malzemelerin hasar davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada Yapıştırıcı kalınlığı değişiminin, bindirme uzunluğu değişiminin ve yapıştırıcı tipi değişiminin etkilerini araştırmışlardır. Epoksi esaslı yapıştırıcıya karbon/fiber epoksi ve cam fiber/epoksi kompozit levhaların tozları katılmıştır. Bağlantı mukavemeti değişimini belirlemek için atık kompozit tozu katkılı yapıştırıcıların hasar yüklerini katkısız yapıştırıcının hasar yükü ile karşılaştırmışlardır. Sayısal çalışmalarını ANSYS sonlu elemanlar programında üç boyutlu olarak yapmışlardır. İlerlemeli hasar analizinde Hashin ve Tresca hasar kriteri kullanmışlardır. Atık kompozit parçacıkları olan takviyeli yapıştırıcıların yapışma mukavemetini arttırdığını belirlemişlerdir.

Khashaba ve arkadaşları (2015), yapmış oldukları çalışmada karbon fiber kompozit malzeme ve epoksi yapıştırıcı kullanarak oluşturdukları açılı yapıştırma bağlantılarında epoksi yapıştırıcı içerisine belirli oranlarda kattıkları SiC ve Al₂O₃

nanopartiküllerinin bağlantının çekme mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda epoksi yapıştırıcı içerisine nanopartikül takviyesinin bağlantının maksimum çekme dayanımını önemli oranda artırdığını tespit etmişlerdir.

Triantaou ve arkadaşları (2016), karbon bağlı fiber kompozit (CALCARB) ve seramik matris kompozitlerine dayalı havacılık uygulamaları için hibrit termik koruma sistemlerini araştırmışlardır. Kompozit malzemelerini grafit ve zirkonya- zirkonyum esaslı ticari yüksek sıcaklık yapıştırıcıları kullanarak birleştirmiş ve termal şok uygulayarak test etmişlerdir. Termal şok testlerinden sonra bağlantı yerlerinin mikroyapısal analizi, enerji dispersiyon spektroskopisi (EDS) ile birleştirilmiş optik mikroskopi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak yapmışlar ve şu sonuçlara ulaşmışlardır. Termal şok testleri, alümina, grafit ve ZrO_2 - $ZrSiO_4$ esaslı ticari marka yapıştırıcılara dayanan hibrit termik koruma sisteminin yani $C_f/SiC + C_B C_F$ ve $C/C-SiC + C_B C_F$ bağlantı yerleri için gerçekleştirilmiş. Her iki sistemde termal darbeye $1100^\circ C$ 'de, $9.5^\circ C/S$ ısıtma oranı ile dayanmıştır. Zirkonyum ve zirkonyum silikat ve grafit bazlı yapıştırıcıların kullanıldığı yapılar $C_f/SiC + C_B C_F$ ve $C/C-SiC + C_B C_F$ bağlantı yerlerinde ısı davranışların benzer olduğunu bulmuşlardır. Termal şok testlerinden sonra yapışkan tabakanın fazlarında veya mikroyapısında herhangi bir değişiklik olmadığını gözlemlemişlerdir.

Kadiyala ve Bijwe (2016), yüksek sıcaklık etkisinde ve ağır çalışma koşullarına maruz termoplastik yapıştırıcılarla birleştirilmiş metalik parçaların bağlantı performansını ve hasar davranışlarını araştırmışlardır. Yapıştırıcı olarak (poli eter sülfon) (PES), poli eter keton (PEK) ve poli eter-eter keton PEEK üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bu yapıştırıcılar kullanılarak hazırlanan tek tesirli yapışma bağlantıları $25^\circ C$, $150^\circ C$, $225^\circ C$ ve $300^\circ C$ sıcaklıklarda çekme testine tabi tutulmuştur. Sıcaklığın etkisini araştırabilmek için çekme test cihazına bağlanabilen ve $300^\circ C$ 'ye kadar ulaşılabilen özel bir fırın içerisinde 20 dk süre ile beklettiği numuneleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda bindirme kayma gerilmelerinin; PES için 13 MPa, PEK için 11 MPa ve PEEK için 5 MPa olduğunu ve sıcaklık artışı ile kayma gerilme değerlerini düşürdüğü sonucuna varmışlardır.

Okba ve arkadaşları (2016), sıcaklığın polimer yapıştırıcıların mekanik özelliklerine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Bunun için inşaat endüstrisinde

yaygın olarak kullanılan üç farklı tip yapıştırıcı kullanmışlardır. Tüm numuneler 4 farklı sıcaklığa 4 farklı süre de maruz bırakılmış ve sıcaklığa maruz kalmayan numunelerle karşılaştırmışlardır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin mukavemetlerinin düştüğü ve bu düşüşün çoğu numunelerde sıcaklığa 1 saatlik maruz kalma süresinden sonra gerçekleştiği görülmüştür.

Akderya ve arkadaşları (2016), termal yaşlanmanın epoksi yapıştırıcıyla tek tesirli olarak birleştirilmiş kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Epoksi yapıştırıcıyla birleştirilen kompozit malzemeler -18°C , 25°C ve 70°C de termal yaşlanmaya maruz bırakılmıştır. Malzemeler çekme testine tabii tutulmuş ve şu sonuçları elde etmişlerdir. Yük taşıma kapasitesinde artış sadece -18°C de termal yaşlandırılmaya maruz kalan numunede gözlemlenmiştir. -18°C bağlantısının yük taşıma kapasitesinin arttığı ancak darbe dayanımının azaldığı ve de -18°C ve 70°C de hasar yüklerinde azalmalar gözlenmiştir. En büyük uzama ise 25°C de görülmüştür.

Turan (2016), kompozit levhalarda yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısının etkilerini deneysel yöntemlerle araştırmıştır. 8 tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli epoksi matriks reçineli levhalar epoksi bazlı yapıştırıcı kullanarak birleştirilmiştir. Statik çekme deneyi ile yapılan deneysel çalışmada yama takviye açısının, yama uzunluğunun ve yapıştırıcı kalınlığının etkileri araştırılmıştır. Kompozit levhanın fiber takviye açısı olarak 0° ve yamanın fiber takviye açısı 0° , 15° , 30° ve 45° olarak seçilmiştir. Yama uzunluğu olarak 25.4, 38.1 ve 50.8 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm, 0.6 mm ve 1.0 mm olarak seçilmiştir. Bağlantı mukavemetinin yama fiber takviye açısı ile önemli oranda değiştiği belirlenmiştir. Yama uzunluğu artışının bağlantı mukavemetini %10 ile %45 arasında değişen oranlarda arttırdığı tespit edilmiştir. Çift yüzünden yapışmanın tek yüzünden yapışmaya oranla hasar yüklerini %73 ile %160 arası değişen oranlarda arttırdığı belirlenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasına bağlı olarak da hasar yüklerinin %11 ile %30 arasında değişen oranda azaldığı görülmüştür.

Turan ve Kaman (2016), ıslak yama ile yapıştırılmış bindirme bağlantılarının hasar analizi deneysel yöntemlerle araştırmıştır. Yapıştırılan malzeme olarak sekiz tabakalı örgülü cam elyaf/epoksi kompozit levhalar kullanılmıştır. Yapıştırma işleminde

epoksi esaslı yapıştırıcı emdirilmiş örgülü cam elyaf takviyeli kompozit yamalar kullanılmıştır. Çekme testi kullanılarak yapılan deneylerde yama sayısının, yama uzunluğunun, tek yüz yapıştırmanın ve çift yüz yapıştırmanın hasar yükleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yama sayısı olarak 2, 4 ve 6 kat yama kullanılırken, bindirme uzunluğu olarak ta 20 mm, 30 mm ve 40 mm uzunlukları kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda; yama sayısı artışının hasar yüklerini % 22 ile % 116 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bindirme uzunluğu artışının ise hasar yüklerini % 33 ile % 85 arası değişen oranlarda arttırdığı belirlenmiştir. Çift yüz yapıştırmanın ise tek yüz yapıştırmaya göre hasar yüklerini % 48 ile % 208 arası değişen oranlarda arttırdığı belirlenmiştir. Yama sayısı artışının hasar yükleri üzerinde daha etkili olduğunu gözlemlemiştir.

Turan ve arkadaşları (2016), v çentikli cam/epoksi tabakalı kompozit levhaların hasar yüklerinde termal yaşlanma etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Bunun için farklı sıcaklıklarda 18°C, 120°C, 160°C ve değişen zamanlarda (2h, 4h, 6h) termal yaşlanmaya maruz bırakılan numuneleri, termal yaşlanmaya maruz bırakılmayan numunelerle statik çekme testi kullanılarak karşılaştırmış ve şu sonuçları elde etmiştir. Maksimum hasar yükündeki termal yaşlanma etkisinin çentik uzunluğundan bağımsız olduğunu ve termal yaşlanmanın, kompozit malzemeler için mukavemeti azaltacak daha önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir.

Turan ve Örcen (2016), takviyeli yapıştırıcıların bindirmeli yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Atık kompozit levhalardan elde edilen partiküllerle güçlendirilmiş yapıştırıcılar ile tek ve çift tesirli yapışma bağlantıları oluşturmuşlardır. Hem tek tesirli hem de çift tesirli bağlantı için 3 farklı yapıştırıcı tipi kullanmışlardır. 1. Tip yapıştırıcı saf olarak kullanılmıştır. İkinci tip yapıştırıcı için cam fiber takviyeli epoksi reçine matriksli kompozit levhaların öğütülmesinden elde edilen partiküller yapıştırıcıya katılmış 3. Tip yapıştırıcı ise karbon fiber takviyeli epoksi reçine matriksli kompozit levhaların öğütülmesinden elde edilen kompozit partiküllerin yapıştırıcıya katılmasıyla elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler statik çekme testine tabi tutulmuş ve şu sonuçlar elde etmişlerdir. Yapıştırıcı tipinin tek ve çift tesirli bağlantıların hasar yükleri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir. Yapıştırıcıların hasar davranışının değişimi içinde çift tesirli bağlantılardan elde edilen bağlantı mukavemeti tek tesirli bağlantıya göre daha yüksek olduğu,

sırasıyla yapıştırıcı için %30, cam fiber takviyeli kompozit partiküllü takviyeli yapıştırıcı için %58.7 ve karbon fiber takviyeli kompozit partiküllü takviyeli yapıştırıcı için %58.4 artış sağladığı tespit edilmiştir. Yapıştırıcı içerisine karıştırılan artık kompozit partiküllerinin bağlantı mukavemetini artırdığı, karbon partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan tek tesirli bağlantıda elde edilen mukavemetin cam partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan tek tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetten %7.59 daha fazla olduğu ve cam partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan tek tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetin ise epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetten ise %7.62 daha fazla olduğunu tespit etmişler. Karbon partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan çift tesirli bağlantıda elde edilen mukavemetin cam partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan çift tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetten %9.73 daha fazla olduğu, cam partikül katılmış yapıştırıcı ile oluşturulan çift tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetin ise epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiş çift tesirli bağlantıdan elde edilen mukavemetten %31.03 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Saraç ve arkadaşları (2016), yapmış oldukları çalışmada epoksi yapıştırıcı içerisine %2 oranında Al_2O_3 nanopartikül katarak ve katkısız epoksi yapıştırıcı kullanılarak tek tesirli bindirme bağlantıları oluşturmuş ve bağlantıların mekanik özellikleri çekme yükü altında 20 mm, 25 mm ve 30 mm bindirme boylarında deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda DP460 epoksi yapıştırıcısı, Al_2O_3 nanopartikülleri ve yapıştırılan malzeme olarak St-37 çeliği kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda %2 Al_2O_3 nanopartikül katkılı yapıştırıcıların kullanılmasıyla 20 mm ve 30 mm bindirme boylu bağlantılarda genel olarak hasar yükünün azaldığı Ancak 25 mm bindirme boyunda %5 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca nanopartikül ilavesi bağlantıların uzama kapasitelerine azaltıcı yönde etki yapmış olduğu gözlemlenmiştir.

Jojibabu ve arkadaşları(2017), yapmış oldukları çalışmada karbon nano dolguların epoksi yapıştırıcıların mukavemetleri üzerine hidrotermal yaşlanmanın etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Üç farklı karbon nano dolgu maddesi(cnt ,gnp, cnh) içeren ve saf haldeki(dolgunsuz) yapıştırıcılar 12 hafta süre ile 25°C suya bırakılmış ve daha sonra çıkarılıp çekme testine tabii tutulmuştur. Çalışma sonucunda karbon nano dolgu takviyeli yapıştırıcıların saf yapıştırıcıya göre mekanik özelliklerinin

daha üstün olduğunu görmüşlerdir. Karbon nano dolguların epoksi yapıştırıcıların yaşlanmaya karşı direncini önemli ölçüde iyileştirebildiğini görmüşlerdir.

Bu çalışmada tek tesirli yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine termal yaşlanma etkileri deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Yapışan olarak 8 tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli kompozit levhalar kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak iki bileşenli epoksi bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Termal yaşlandırma işleminde sabit sıcaklıklar için zaman değişimi uygulanmıştır. Termal yaşlandırma etkilerini görmek için deney sonuçları termal yaşlandırma işlemi uygulanmayan ve oda sıcaklığında (25°C) bekletilen numunelerin deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Zaman değişimi olarak 2 saat 4 saat 5 saat ve 8 saat zaman parametreleri kullanılmıştır. Sıcaklık parametreleri olarak 75°C 100°C ve 150°C kullanılmıştır. Geometrik parametre olarak 15 mm 30 mm ve 45 mm bindirme mesafesi olarak seçilmiştir. Yapıştırıcı kalınlığı olarak da 0.2 mm, 0.4 mm ve 0.8 mm kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tanım

Takviye eden ve takviye edilen iki veya daha fazla malzemeden oluşan ve bu malzemelerin kendi mukavemetlerini kaybedip fiziksel bir bağ oluşturarak sinerjik bir mukavemet ortaya çıkardığı yeni malzeme kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır.

3.2. Kompozit Malzemelerin Teknolojik Gelişimi

20 yy. da modern kompozitler, 1930'larda reçinelerin cam fiberlerle takviye edilmesiyle teknolojik hayata başlamıştır. 1970'lerden sonra karbon, boron ve aramid gibi yeni fiberlerin ve metallerden, seramiklerden elde edilen matrislerin kullanıldığı yeni kompozit sistemlerin gelişimiyle kompozit malzemelerin uygulama alanları artmıştır. Gelişen teknolojiyle mekanik avantajı öne çıkan kompozit malzemeler özgül modül ve özgül mukavemet değerleri yüksek olduğu için başta havacılık sektörü olmak üzere bir çok alanda uygulama alanı artmıştır (Kaw, 2014).

3.3. Kompozit Malzeme Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

3.3.1. Avantajları

- Aynı ağırlıktaki metallere oranla mukavemetlerinin çok daha fazla olması,
- Hafif olmaları (% 25-45 daha hafif),
- Yeni tasarım esneklikleri sunması,
- Korozyona karşı dayanıklı olması,
- Aşınmalara karşı dayanıklı olması,
- Düşük ısı geçirgenliği,
- Spesifik çekme dayanımlarının çelik ve alüminyumdan 4-6 kat fazla olması,
- Sertliğinin yoğunluğuna oranının, çelik ve alüminyumdan 3 -5 kat fazla olması,
- Yorulma dayanım limitlerinin metallerden önemli ölçüde fazla olması,
- Darbeyi soğurma enerjilerinin metallerden önemli ölçüde fazla olması,

- Bağlantı elemanlarının diğer malzemelerdekine oranla daha az kullanılması sonucu bu elemanlardan kaynaklanan yapısal zayıflıkları en aza indirmesi (M.E.B. 2011).

3.3.2. Dezavantajları

- Kompoziti oluşturan her bir bileşenin olumlu olanların yanı sıra olumsuz tüm özellikleri de nihai parçaya yansır (anizotropik),

- Ham malzemesi pahalıdır ancak bağlantı elemanları sayısındaki azalış ve ağırlıktaki düşüş dikkate alındığında toplam maliyette bir düşme gösterir,

- Karbon ile metalin temasında galvanik korozyon oluşur,

- Sıcaklık farklılıklarında bozulur,

- Yıldırıma karşı ekstra koruma gerektirir,

- Test yapma yöntemleri pahalıdır,

- Tabakalar arası gizli yapışmamaları incelemek zordur,

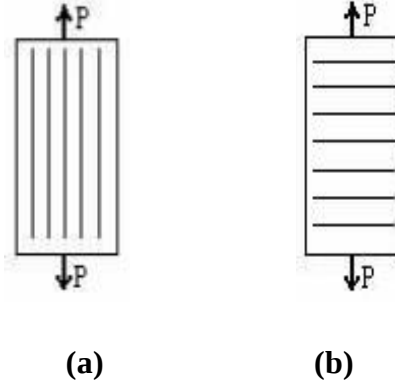
- Tabakalar arasında kalan hava ve gazlar malzemenin ömrünü azaltır (M.E.B. 2011).

3.4. Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı

Kompozitlerde fiberler kuvvet yönüne paralel veya dik yönde veya rast gele dağılmış durumda bulunurlar. Fiberler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Fiberler rast gele dağıtılmış ise düzlemsel boyutta izotrop olurlar.

Fiberler kuvvet birbirine paralel ise liflerle matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir. Matrisin elastisite modülü E_m , fiberlerin elastisite modülü E_f ve fiberlerin hacimsel oranı V_f ise kompozitin paralel doğrultudaki bileşke elastisite modülü

$$E_k = E_f V_f + V_f (1 - E_m) \text{ olur.}$$



Şekil 3.1. (a) paralel fiberler, (b) dik fiberler (Ünal, 2008).

Kompozit malzemelerin çekme mukavemetleri fiberlerin kopmasıyla sona erer. En uygun kompozit yapısında fiberler kuvvet doğrultusunda paraleldir.

Fiberler kuvvet yönüne dik olduğu hallerde makro ile fiberler aynı yükü taşır. Eş gerilme hali bilinen bu yükleme karşısında kompozitin elastisite modülü;

$$E_k = \frac{E_m E_f}{E_m V_f + (1 - V_f) E_f}$$

Kompozit malzemenin çekme mukavemeti fiberlerin kopması ile sona erer. En uygun kompozit yapısında fiberler kuvvet doğrultusuna paraleldir. E_f , T_f fiberlerin çekme mukavemeti, T_m fiberlerin koptuğu andaki şekil değiştirme için matristeki gerilme ve V_f fiberlerin hacimsel oranı ile kompozitin çekme mukavemeti (Ünal, 2008).

$$T_k = T_f V_f + (1 - V_f) T_m \text{ olur}$$

3.5. Kompozit Malzemelerin Birleştirilmesi

Kompozit malzemeler fiberlerden oluştuğu ve ağırlıklı olarak özelliklerini buradan aldığı için kompozit malzemelere mekanik birleştirme işlemlerinin uygulanması liflere zarar verme işleminden dolayı tercih edilmez. Bunun yerine daha çok bu durumu elimine eden yapıştırıcı kullanımı yaygındır. Kimya sektörünün gelişen teknolojiye ön sıralarda yer alması kimyasal ürünlerin gelişimini ve dolayısıyla kimyasal ürün olan yapıştırıcının da gelişimine katkı sunmuştur. Birçok avantajı olan kompozit malzemelerin de kullanımını ve dolayısıyla kullanım alanını oldukça arttırmıştır.

3.5.1. Yapıştırma Bağlantılarının Kullanılma Nedenleri

Yapıştırma, diğer çözülmeyen bağlantı elemanlarını tamamlayıcı olmak üzere:

- Diğer malzeme birleştirme yöntemlerinde (kaynak lehim gibi) ısı etkisi nedeniyle meydana gelen kusurlar (molekül yapısındaki değişimler, gerilme birikimleri, mukavemet azalması, çekmeler ve çarpılmalar gibi) bu yöntemde görülmez.
- Diğer bağlama elemanları ile birleştirilmesi olanaksız olan ince parçaların bu yolla birleştirilmesi sağlanır.
- Bağlantı yapılırken büyük bir ısı ve basınç etkisine ihtiyaç yoktur. Dolayısıyla bağlanan parçalar kendi özelliklerini muhafaza ederler.
- Değişik malzeme türlerinin özellikle metallerle metal olmayan malzemelerin, birleştirilmesinde uygun bir bağlayıcıdır.
- Yapıştırıcı maddelerin düşük mukavemette olması nedeniyle büyük yapıştırma yüzeylerine gereksinim vardır.
- Bağlantının ısıya karşı mukavemeti düşüktür. Bu nedenle yapıştırma bağlantılarının işletme sıcaklığı en çok 100°C olmalıdır.

Ayrıca sızdırmaz bir bağlantı yapmak, uygun olmayan diğer bağlantıların yerini tutmak ve tamamen yeni konstrüksiyonlar yapabilmek için kullanılır. Yapıştırma bağlantıları ince sac yapıların gerektiği yerler için daha uygundur. Termik ve mekanik zorlanmalara karşı hassas olan malzemeler (ıslah edilmiş ve sertleştirilmiş çelikler, hafif malzemeler) yapıştırma yoluyla iyi bir şekilde birleştirilebilirler. Aşınmaya maruz kalan malzemeleri (fren ve debriyaj balataları gibi) birçok halde yapıştırma yolu ile daha iyi ve daha ekonomik bir şekilde birleştirmek mümkündür (Tın, 2006).

3.5.2. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları

- Düzgün gerilme dağılımı olur,
- Yapılması kolaydır,
- Kaynak bağlantısındaki gibi yapısal değişim olmaz,
- Uygun olmayan kaynak izleri yoktur,
- Hemen hemen her malzeme ile birleştirilebilir,

- Sızdırmazlık sağlar,
- Benzer veya farklı özellikteki metaller birleştirilebilir,
- Korozyon sürtünmesi nedeniyle aşınma ortadan kalkar,
- Pim, cıvata, perçin, kelepçe vs kullanımı gereksiz hale gelir. Bu nedenle parça adedi azalır,
- Perçin veya kaynakta olduğu gibi bağlantının görünümünde istenmeyen görüntüler olmaz. Bu nedenle tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için bir çok olanak sağlar,
- Bağlantı zamanla, vida bağlantısında olduğu gibi, gevşeme olayına maruz kalmaz,
- Bağlantı için, malzeme delinmek zorunda kalmaz ve bu nedenle korozyon ihtimali de azalır,
- İşçiliği azdır,
- En az diğer bağlantılarda olduğu kadar mukavemetlidir,
- İnce metaller rahatlıkla birleştirilebilir,
- Bağlantıdaki boşluklar doldurulur,
- Yorulma dayanımı yüksektir,
- Farklı metaller arasında korozyonu önler,
- Elektriksel yalıtım sağlar,
- Bağlama elemanı üretiminde yüksek enerji girişine gerek yoktur,
- Sönümleyici özelliğinden ötürü titreşimleri absorbe eder,
- Maliyeti düşüktür (Çalık, 2008).

3.5.3. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları

- Bağlantının sağlıklı yapılabilmesi için tecrübeli kişilere ihtiyaç vardır,
- Oldukça uzun bakımlar gerektirir,
- Yüksek ısıya karşı dayanımı düşüktür,

- Yüzey temizliği hassasiyet gerektirir,
- Bağlantının durumuna göre bağlantı uygun olabilmesi için gerekli olan süre uzun olabilir,
- Bazı durumlarda uygun bağlantı için basınç ve ısı kullanılması gerekebilir,
- Tamir edilme güçlükleri yaşanabilir,
- Bağlantı ara birimleri veya aparatları gerekebilir,
- Bağlantının tahribatsız muayenesi zordur,
- Bağlantı yapılırken uygun çevre şartları gereklidir,
- Düşük sıcaklıklarda bazı ürünlerde kolay kırılabilirlik görülebilir,
- Bükülebilir ürünlerde sürünme dayanımı düşüktür,
- Zehirleyici ve alev alma problemlerini içermektedir (Çalık, 2008).

3.6. Yapıştırıcı Kullanılarak Birleştirilen Kompozit Malzemelerde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

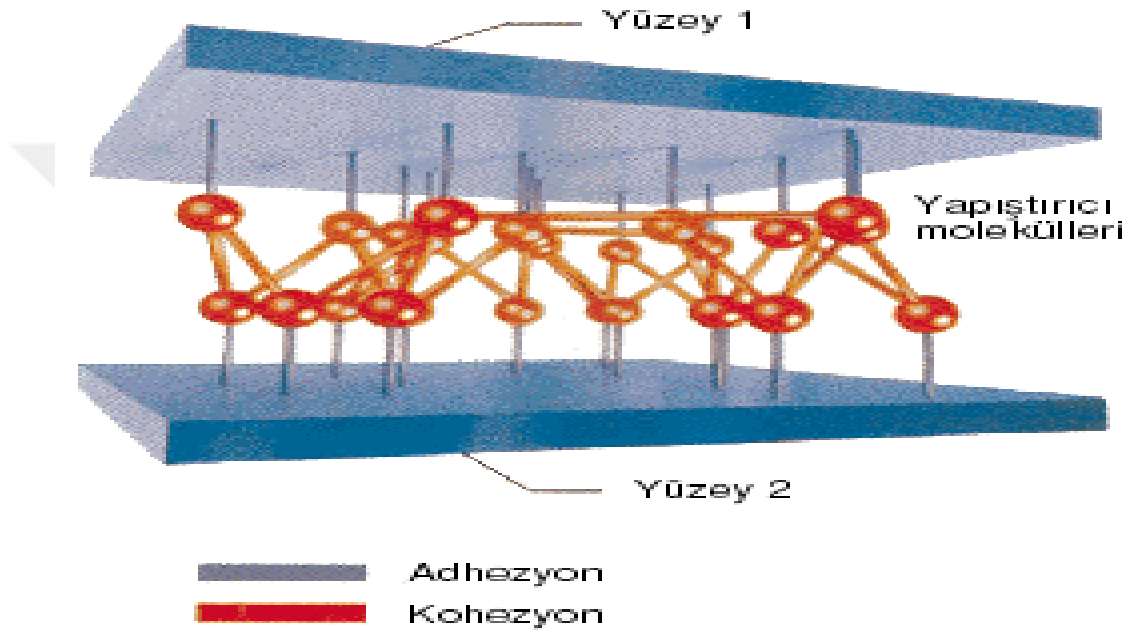
Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu yapıştırıcının kimyasal olduğu ve çevre şartlarından çok fazla etkilendiği gerçeğidir. Yapışma olayında yapıştırıcıyla yapışan malzeme arasında ne kadar iyi bağ oluşturulabilirse o kadar sağlıklı yapışma elde edilir. Bu durumların başında şu kavramlar öne çıkmaktadır.

3.6.1. Adhezyon

İki maddenin temas yüzeylerinde oluşan yapışma kuvvetidir. Van der Waals kuvvetleri olarak da bilinen çekim ve yüzeye tutunma yapışmada en önemli etkidir. Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlem görmüş pürüzlü yüzeylere tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle yapıştırıcının pürüzlü yüzeylere tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyleri ıslatması gerekir. Dolayısıyla yapıştırmanın kuvveti, maksimum moleküller arası temas için hem yüzeyin ıslatılması, hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kir varsa ıslatmayı olumsuz etkiler. Adheziv kırılma, uygun olmayan yüzey temizliğinden kaynaklanır ve yapıştırıcı malzeme yüzeyinden kalkar Bu istenmeyen bir durumdur (Polat, 2008).

3.6.2. Kohezyon

Moleküller arası çekim kuvveti ve polimer moleküllerin birbirine kenetlenmesi kohezyon kuvvetlerine etki eder. Yapıştırıcı bağlantılarda yüzey temizliği uygun yapılmış ise kırılma, koheziv bir kırılma olup hasar yapıştırıcının içinde meydana gelir (Şekil 4.2.b). Bir zincir dayanımının en zayıf zincir halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, yapıştırmada adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır (Polat, 2008).



Şekil 3.2. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Loctite, 1988).

3.7. Yüzey Temizliği

Yapıştırılacak olan parçaların yüzey temizliği ıslanabilirliği ve dolayısıyla yapışma mukavemetini etkiler. Bu nedenle yapıştırıcının kimyasal yapısına zarar vermeyen ama aynı zamanda yüzeyin ıslanabilirliğini en üst düzeye çıkaracak tüm hazırlıklar mutlaka titizlikle yapılmalıdır. Bu hazırlıklarda yüzeyi zımparalama işlemi yapılırken yine kompozit malzemelerin mekanik performansını olumsuz etkileyecek şekilde değil, yapışma olayının sağlıklı yapılmasını sağlayacak uygunlukta yapılmalıdır. Çünkü kompozit malzemeler genellikle tabakalı şekilde olduğundan fazla zımparalama tabakalara zarar verir ve bağlantının mukavemeti ciddi şekilde etkilenebilir. Zımparalama işleminden sonra uygulanması gereken diğer işlem yüzeyi uygun

çözeltiyle temizleme şeklindedir. Yine burada da kullanılacak çözeltinin zımparalanan yüzeye uygun olup olmadığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.3. Numunelere uygulanan yüzey temizleme işlemi

3.8. Termal Yaşlanma

Termal yaşlanma ısı yardımıyla numunelere uygulanan ve numunenin mikro ve makro yapısında değişikliklere yol açan ve bu yolla malzemenin mekanik değerlerinde etkili olan ısı işlemi olarak adlandırılabilir. Bu işlemler doğada zaman geçtikçe doğal koşulların etkisiyle olabildiği gibi suni yollarla da malzemeye uygulanarak hızlandırılmış doğal etki şeklinde de olabilir. Nitekim bu çalışmada elektrikli fırın yardımıyla malzeme ısıya tabi tutularak suni bir yaşlandırma işlemi yapılmıştır.



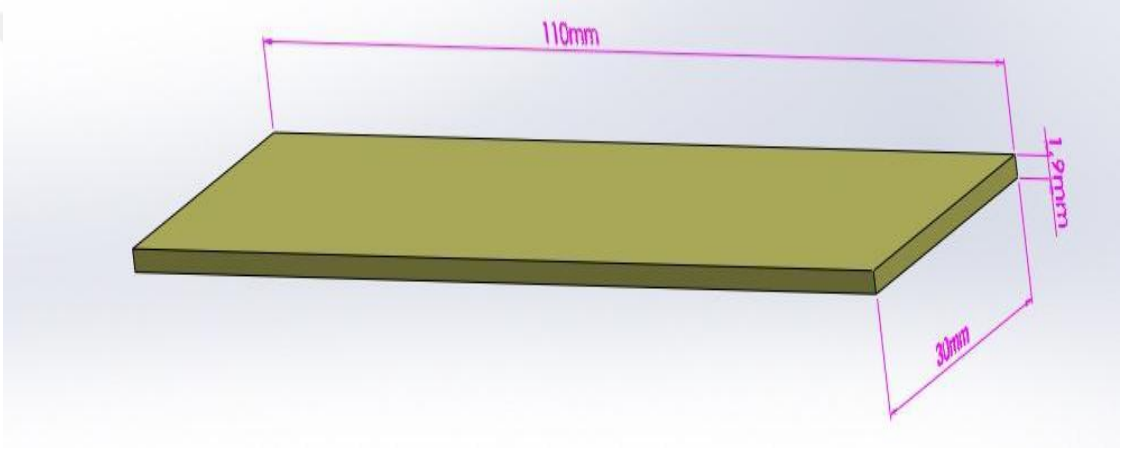
Şekil 3.4. Numunelere uygulanan suni termal yaşlandırma işlemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

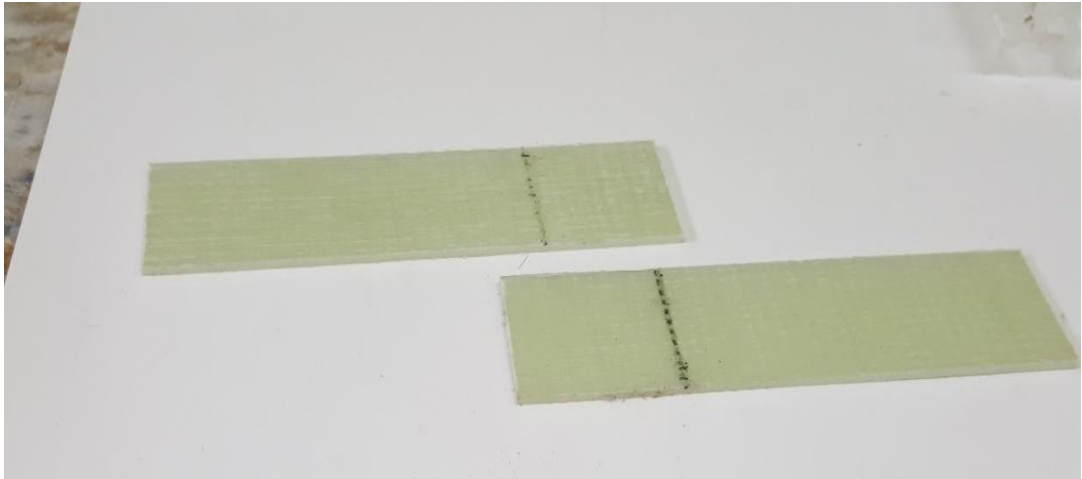
Bu bölümde yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmiş ve termal yaşlanmaya maruz bırakılan kompozit levhaların statik çekme testlerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. İlk olarak deneysel çalışmada kullanılan kompozit levhalar ve yapılan ön hazırlıklar sunulmuştur.

4.1. Problemin Modeli

Deneysel çalışmada kullanılacak levhaların boyutları 110 mm x 30 mm x 1.9 mm boyutlarında kompozit levhalar olarak seçilmiş ve kullanılmıştır. Bu levhalar $[0^0]_8$ fiber takviye açlarına sahip olup Şekildeki gibi kesilerek hazırlanmıştır.



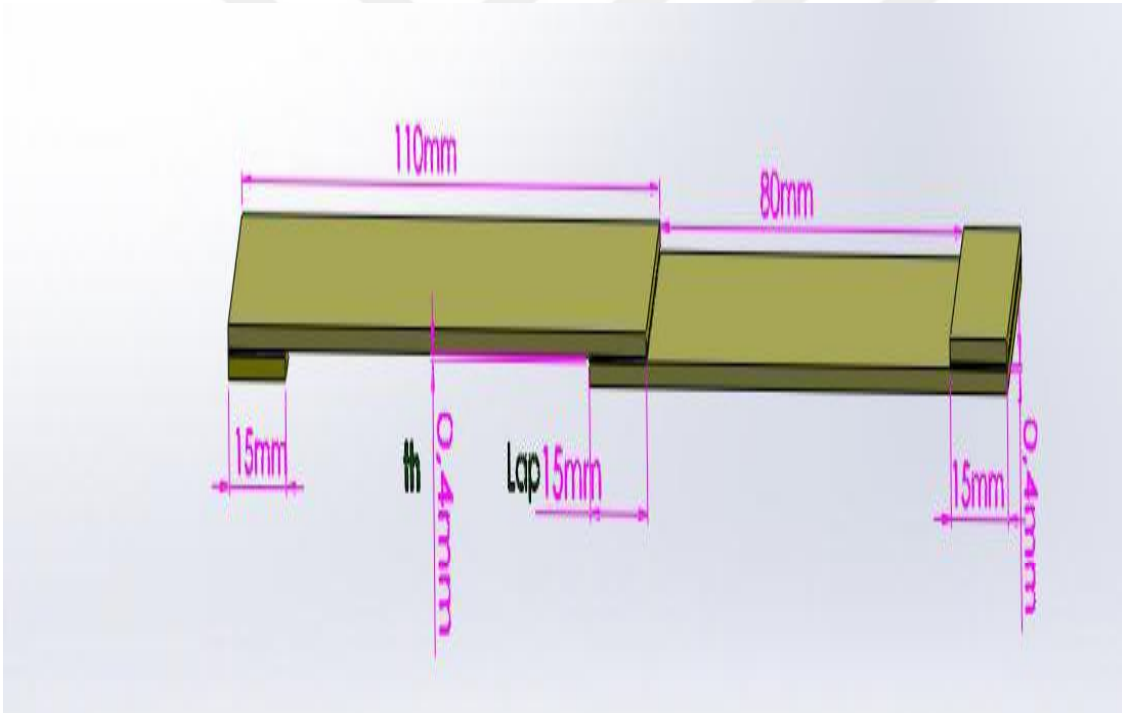
Şekil 4.1. Deney numunelerinde kullanılan levhaların boyutu



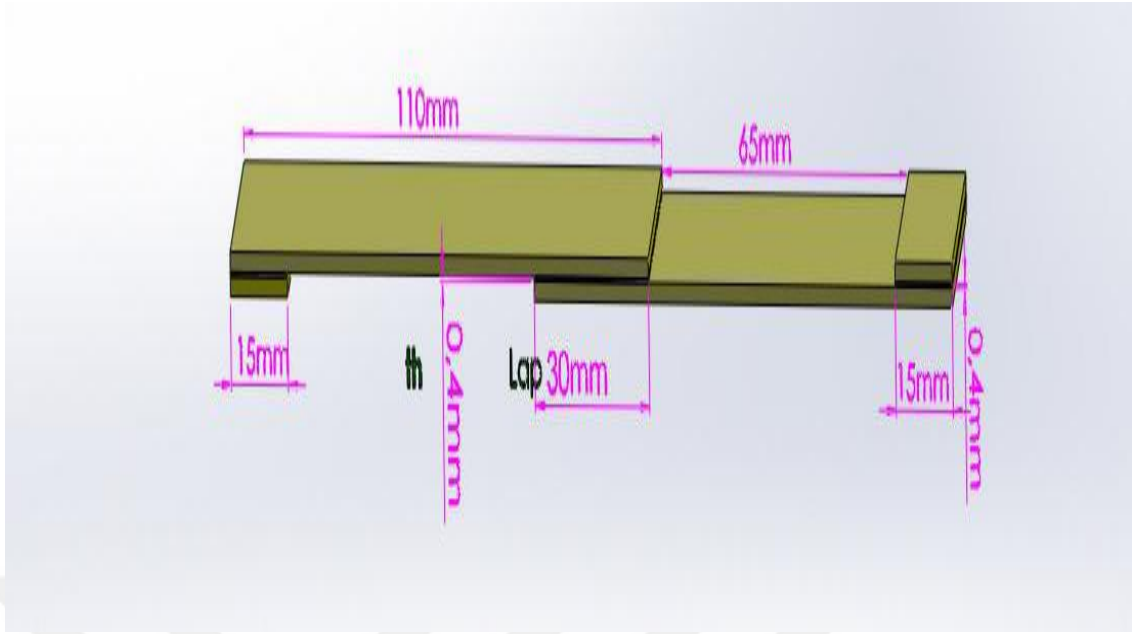
Şekil 4.2. Deney numunelerinde kullanılan birleşme yüzeyleri belirlenmiş levhalar

Bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığına göre numuneler Tip1, Tip2, Tip3, Tip4 ve Tip5 olarak isimlendirilmiştir. Her tip farklı bir bindirme uzunluğunu veya yapıştırıcı kalınlığına göre birleştirilmiş numune tipini göstermektedir.

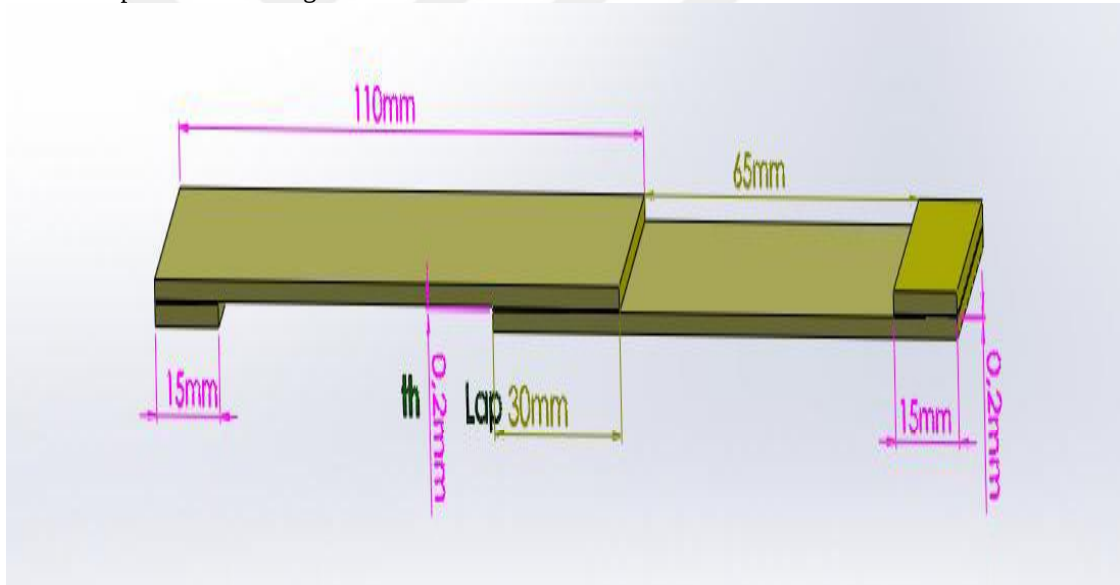
Lap bindirme mesafesini ve th yapıştırıcı kalınlığını temsil etmektedir. Lap=15 mm ve th 0.4 mm uygulaması 25°C ve 150°C numunelerinde uygulanmıştır. Lap=30 mm ve th 0.4 mm uygulaması 25°C, 75°C, 100°C ve 150°C numunelerinde uygulanmıştır. Lap=30 mm th 0.2 mm uygulaması 25°C, ve 150°C numunelerinde uygulanmıştır. Lap=30 mm th 0.6 mm uygulaması 25°C, ve 150°C numunelerinde uygulanmıştır. Lap=45 mm th 0.4 mm 25°C, ve 150 °C numunelerinde uygulanmıştır. Her bir parametre 2h, 4h, 6h, ve 8 saat fırınlanmıştır. Daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılarak yapay bir termal yaşlanma uygulanmıştır.



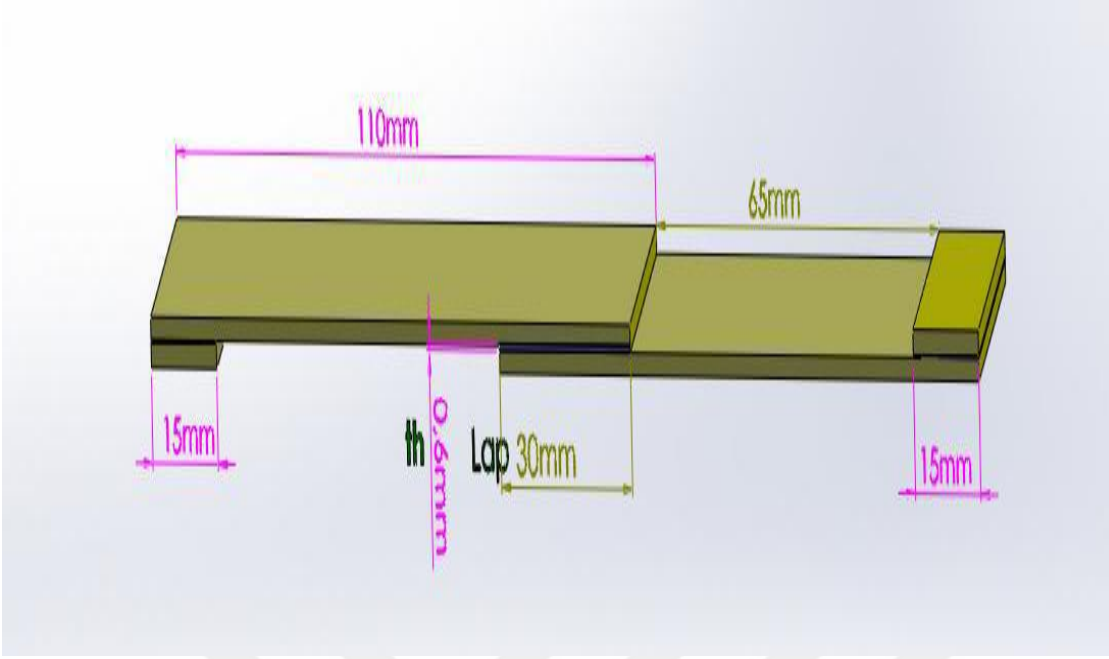
Şekil 4.3. Tip1 bindirme uzunluğu 15 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,4 mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi



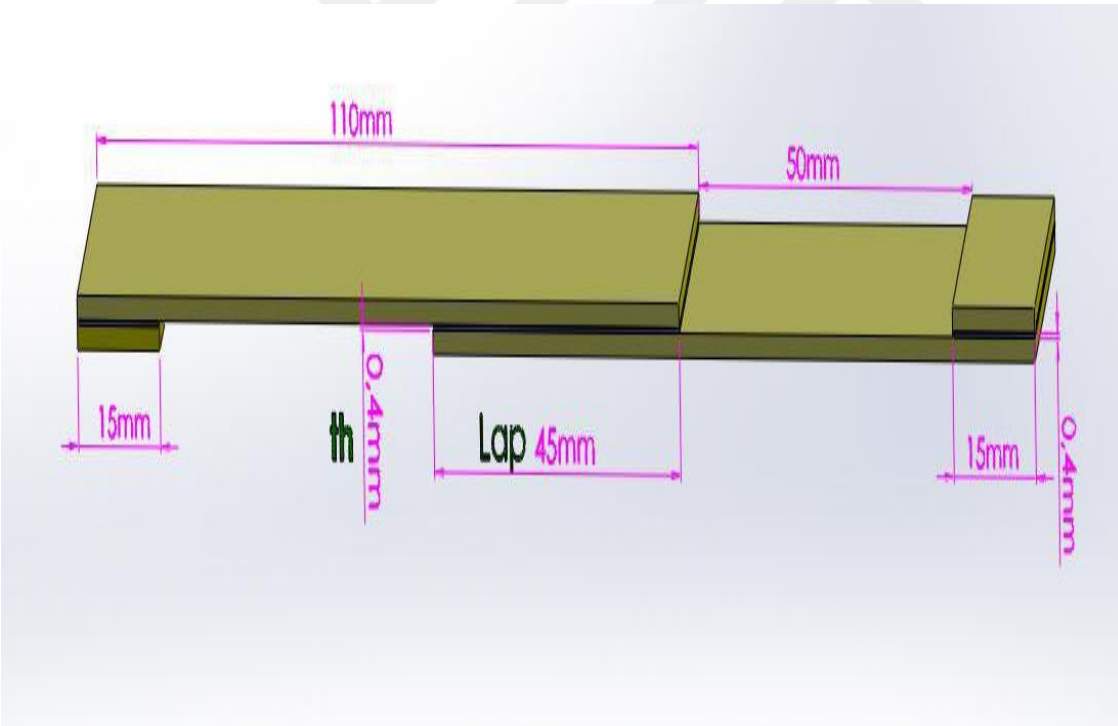
Şekil 4.4. Tip2 bindirme uzunluğu 30 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.4 mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi



Şekil 4.5. Tip3 bindirme uzunluğu 30 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi



Şekil 4.6. Tip4 bindirme uzunluğu 30 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.6 mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi



Şekil 4.7. Tip5 bindirme uzunluğu 30 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.6 mm olan numunenin geometrik parametrelerinin gösterimi

4.2. Numunelerin Hazırlanması

İlk olarak kullanılacak levhaların boyutları 110 mm x 30 mm x 1.9 mm ölçülerinde olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.



Şekil 4.8. Deney numuneleri için levhaların kesilme işlemi

Daha sonra numunelerin yüzey hazırlama işlemine geçilmiştir. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcının yapıştırılacak olan yüzeylere tam temasını sağlamak yapıştırılan yüzeylere uygulanacak yüzey hazırlama ile sağlanabilir. Yüzey hazırlama işlemi birleştirmenin veriminden, deney sonrası oluşabilecek hasar tipini belirlemeye kadar etkili olan önemli parametrelerden biridir. Yüzey hazırlama işlemleri, yüzeyin zımparalanması ve çözeltiliyle temizlenmesi şeklinde yapılmıştır.



Şekil 4.9. Deney numunelerinde kullanılmak üzere kesilen numuneler

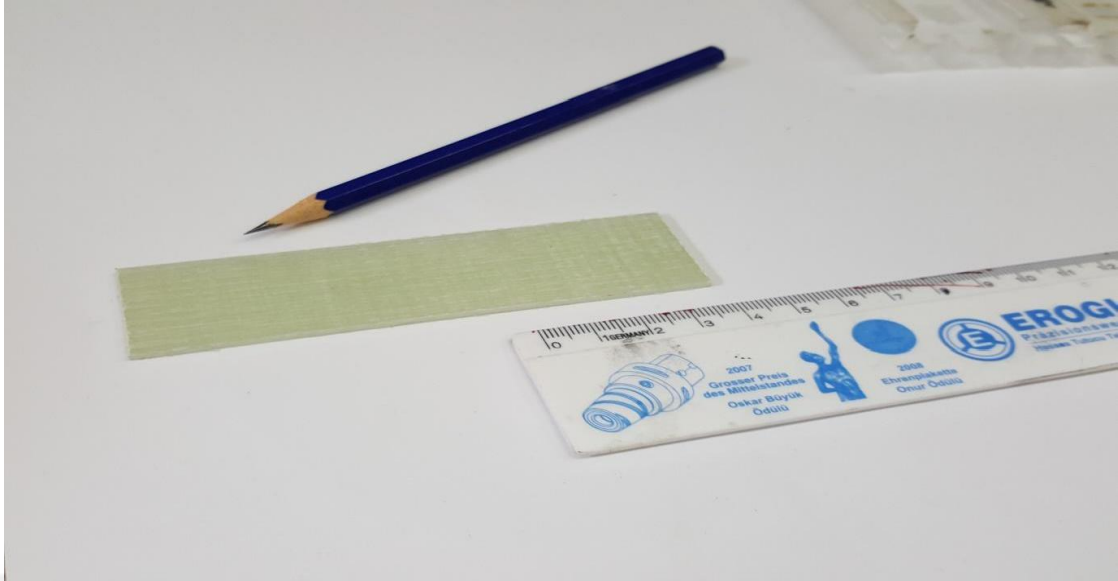


şekil 4.10. Deney numunelerinde kullanılan levhaların yüzey zımparalama işlemi



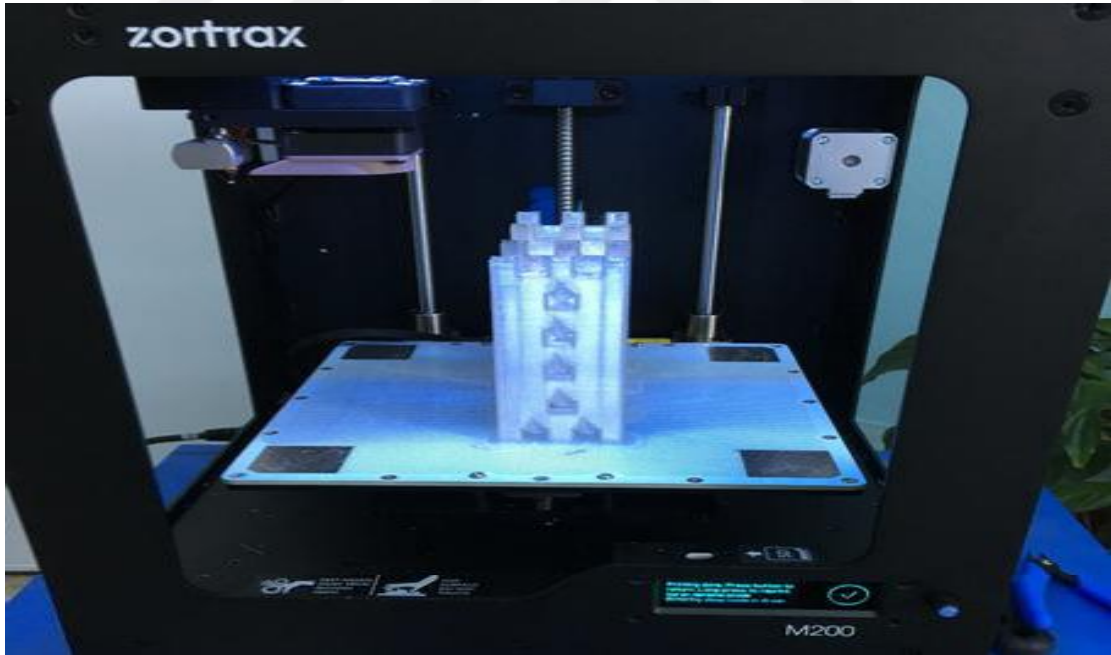
şekil 4.11. Zımparalanan numunelerin asetonla temizlenme işlemi

Daha sonra numuneler bindirme uzunluğuna göre işaretlenmiştir.



Şekil 4.12. Hazırlanan numunelerin bindirme uzunluğuna göre çizilmesi işlemi

Daha sonra tüm numuneler birleştirme işlemi için beklemeye alınmıştır. Birleştirme işlemi için önceden 3boyutlu yazıcı kullanılarak kalıplar hazırlanmıştır. Bu kalıplar yapıştırma kalınlığına göre tolere edilmiş ve deney için özel olarak üretilmiştir.



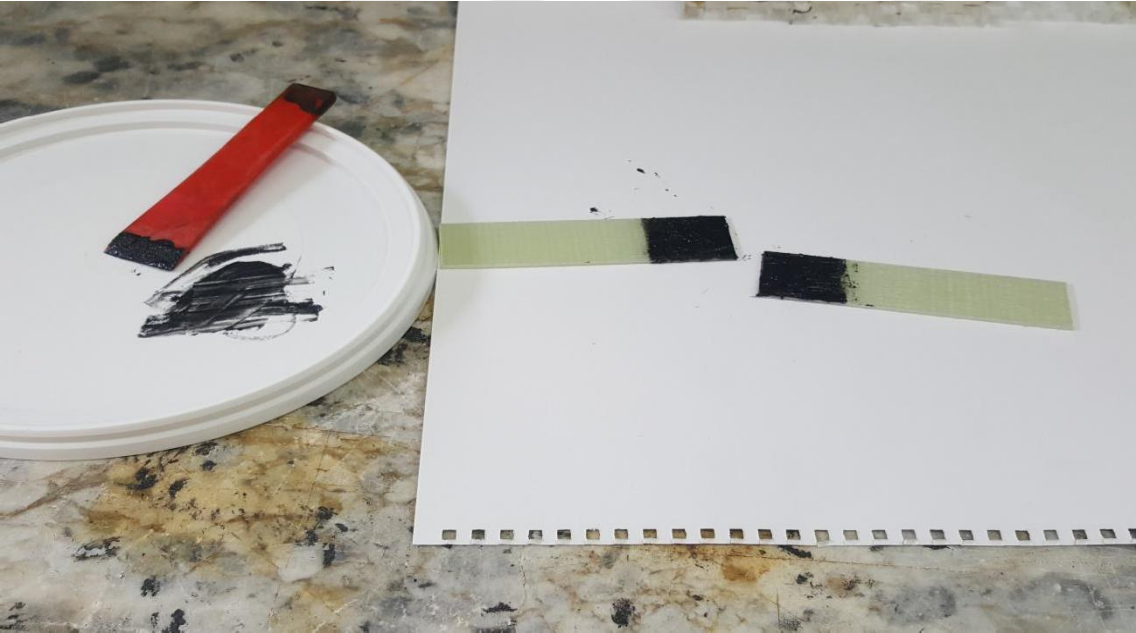
Şekil 4.13. Yapıştırma işlemi için özel kalıpların 3 boyutlu yazıcı ile üretilmesi işlemi

Yapıştırma işlemi için Loctite marka epoksi içerikli ticari yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı 1/1 oranda karıştırılmıştır.



Şekil 4.14. Yapıştırıcının hazırlanma işlemi

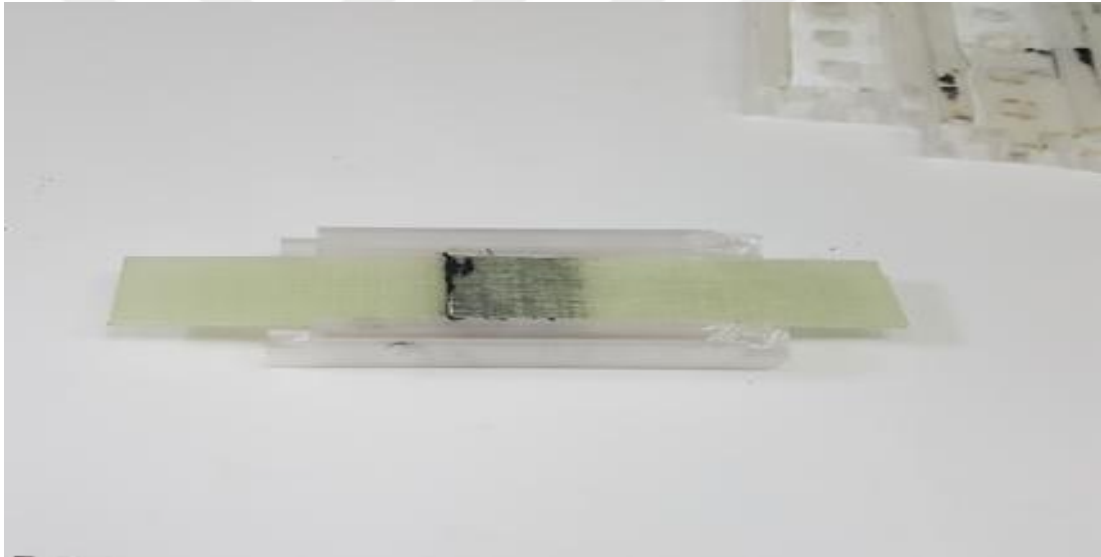
Yapıştırıcının hazırlanması işleminden sonra yapıştırma işlemine geçilmiştir. Numuneler bindirme uzunluğu önceden belirlenmiş, işaretlenmiş ve yapıştırılma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15. Yapıştırıcının numunelere sürülmesi işlemi



Şekil 4.16. Yapıştırıcı sürülen numunenin kalıba yerleştirilmesi işlemi

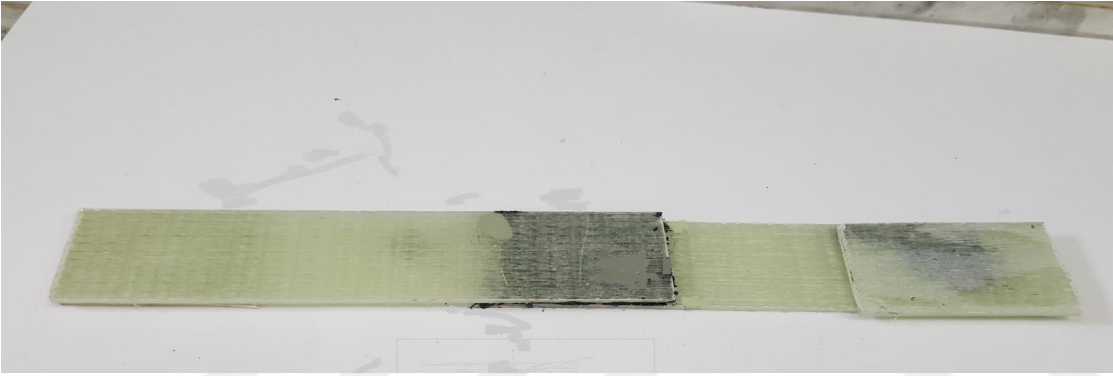


Şekil 4.17. Yapıştırma işlemi için ikinci parçası yapıştırılmış numune

Numuneler statik çekme yükü testi uygulanırken eğilmeden kaynaklı gerilmeleri önlemek için test makinasın çenelerine gelen kısımlar aynı kompozit levhadan kesilmiş parçalar yapıştırılmıştır.



Şekil 4.18. Eğilme gerilmesini önlemek için numunenin uçlarına yapıştırılacak parçalar



Şekil 4.19. Yapıştırma işlemi tamamlanmış numune

Yapıştırma işlemi tüm numuneler için tamamlandıktan sonra fırınlama işleminden önce karışıklığı engellemek için etiketlenmiştir.



Şekil 4.20. Numunelerin etiketlenme işlemi

Tüm işlemler tamamlandıktan sonra numuneler termal yaşlanma için fırınlama aşamasına geçilmiştir. Fırınlama işleminde numuneler 25°C(oda sıcaklığı), 75°C, 100°C

ve 150°C sıcaklıklara 2, 4, 6, ve 8 saat süreyle maruz bırakılmıştır. Her bir parametre için 3 ayrı numune kullanılmıştır.



Şekil 4.21. Numunelerin fırınlanma işlemi

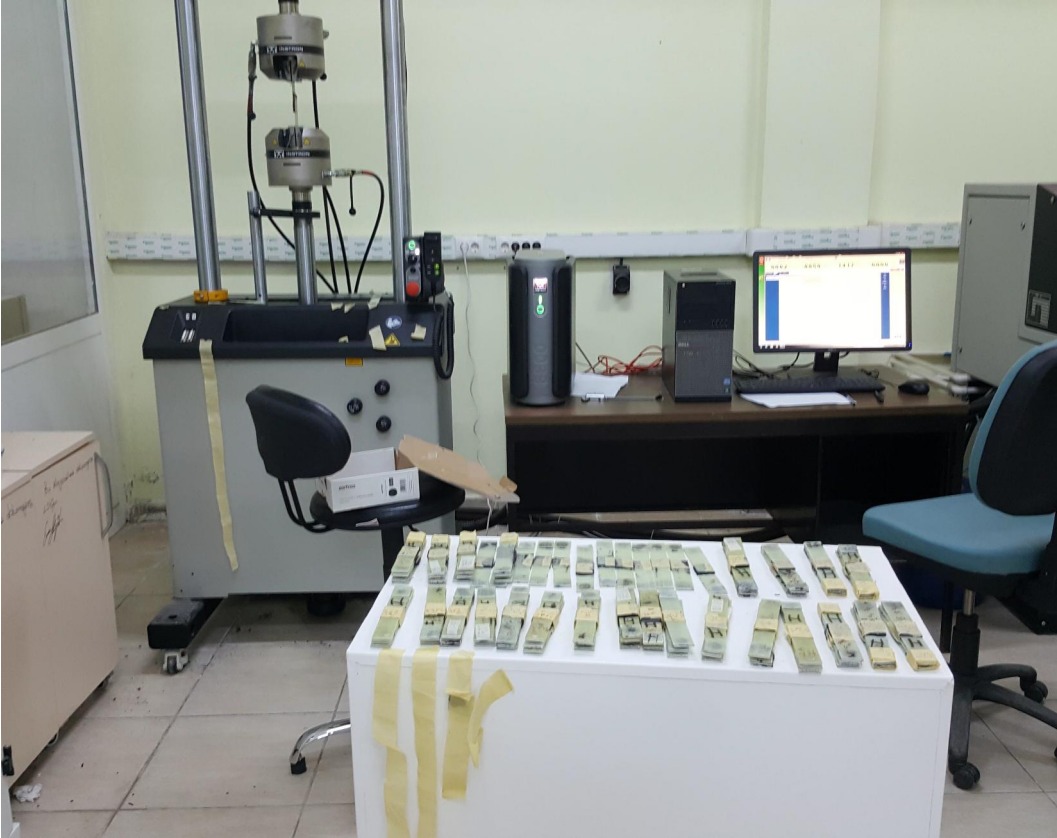
Fırınlama işleminden sonra tüm numuneler son kez etiketlenip test aşamasına geçilmiştir. Burada numuneler test edilmeden önce bir hafta süreyle oda sıcaklığında bekletilmiş ve daha sonra testler yapılmıştır.



Şekil 4.22. Numunelerin fırınlanma işleminden sonra markalanmış hali

4.3. Deneyin Yapılışı

Numunelerin hazırlanışı ve deneyler Dicle Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için üçer numune hazırlanmıştır. Tüm numuneler uç kısımlarından çenelere sabitlenerek şekildeki 100 kN kapasiteli Instron Bs 8800 çekme test cihazıyla ASTM standartlarına göre oda sıcaklığında çekme testine tabi tutulmuştur (ASTM-D, 1982). Ortam neminin malzeme özelliklerine etkisinin olmadığı kabul edilmiştir. Çekme test hızı 1 mm/dk uygulanmıştır. Test cihazının üstteki çenesi sabit ve alttaki çenesi hareketlidir. Numuneler bağlanırken eksenlemeye dikkat edilmiş ve çenelerin numuneye uyguladığı sıkıştırma basınçları eşit uygulanmıştır. Her bir numunenin çekme testi esnasında şekil değişimleri, soyulmaları ve hasara uğrama şekilleri gözlemlenmiş, yapılan gözlemler not edilmiştir. Numuneler test edilirken hasar yükleri ve uzamalar bilgisayara otomatik olarak kaydedilmiş ve bu verilere dayanarak grafik ve tablolar oluşturulmuştur.

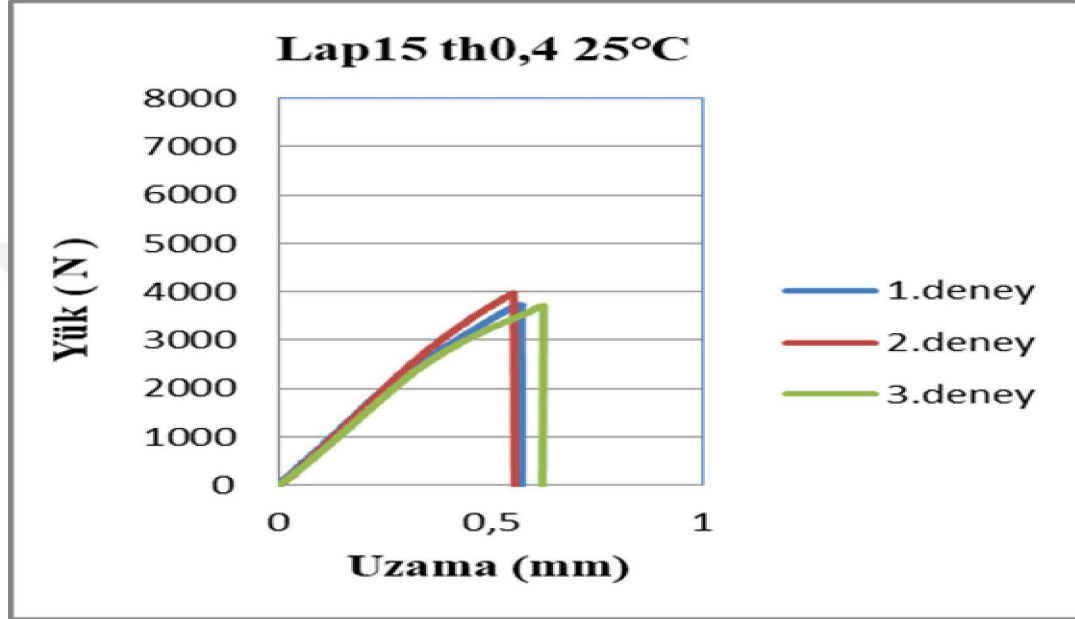


Şekil 4.23. Çekme test cihazı ve deney düzeneği

4.4. Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde sıcaklık, yapıştırıcı kalınlığı ve zaman parametrelerinin hasar yüküne etkileri hasar yükü-uzama grafikleri üzerinden incelenecektir.

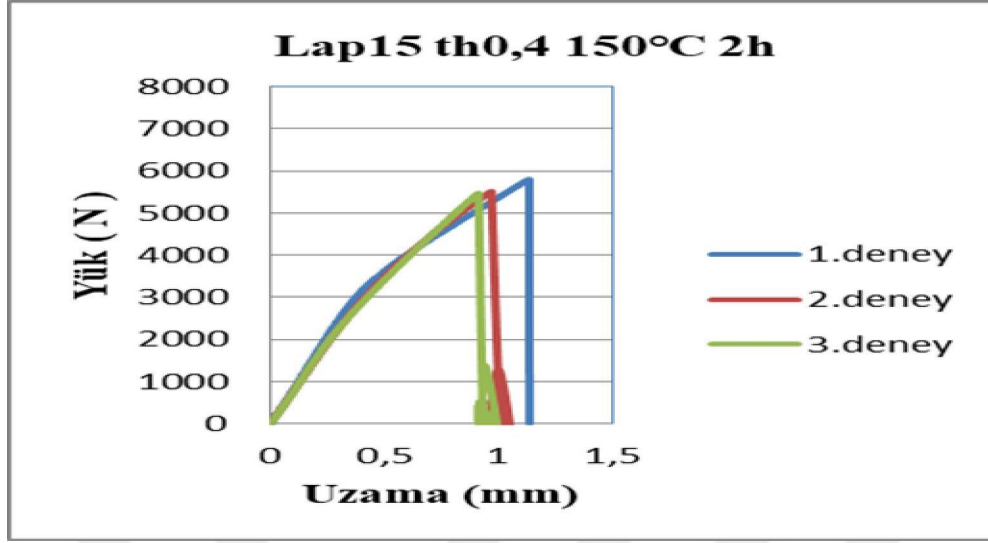
4.4.1. Lap 15 mm th 0.4 mm 25°C (oda sıcaklığı) İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.24. Lap 15 mm th 0.4 mm 25°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri 2400 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 2400 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı ve ortalama 3800 N civarında anlık kırılmayla numunelerin hasara uğradığı görülmektedir.

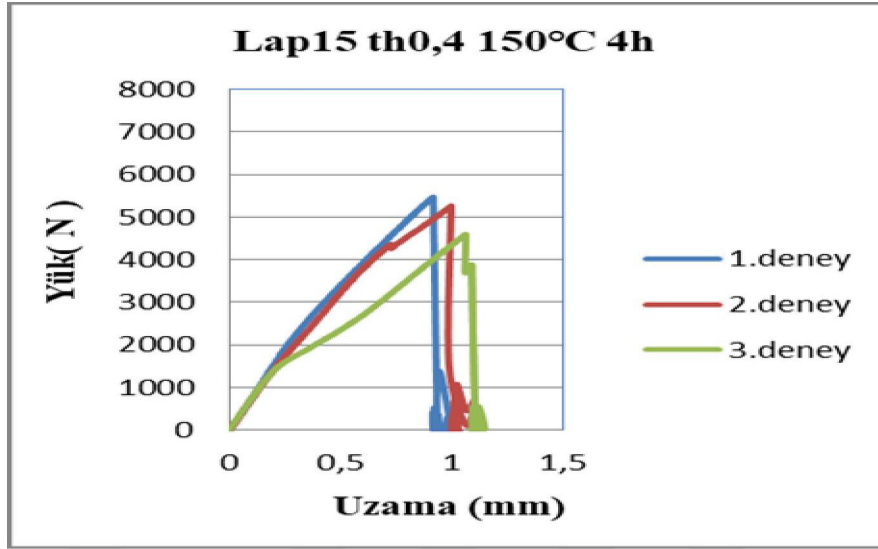
4.4.2. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 2h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.25. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 2h levha için elde edilen yük-uzama değerleri

Grafik eğrileri burada 3100 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 3100 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı, ancak kırılma hasar yükünün arttığı ve ortalama 5800 N civarında anlık kırılmayla levhaların hasara uğradığı görülmektedir. Burada termal yaşlanma etkisini göstermiş ve kırılma hasar yükünü arttırmış olduğu gözlemlenmektedir.

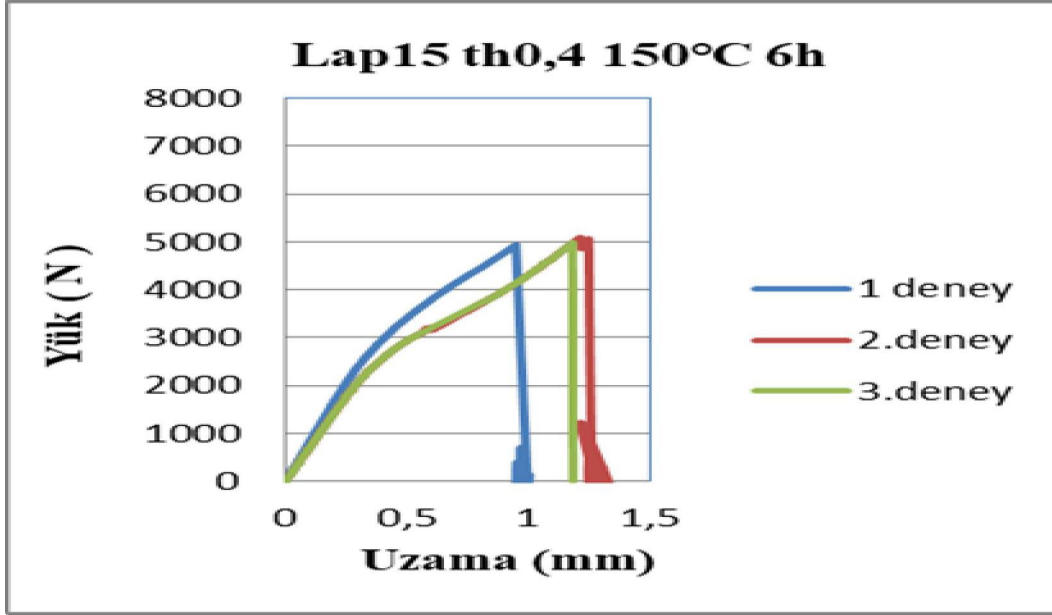
4.4.3. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 4h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.26. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 4h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri yine 2500 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 2500 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının yine azaldığı, ancak 2 saat ile 4 saat bekleme süresi arasında kırılma hasar yükünün bir miktar azaldığı ve ortalama 5100 N civarında anlık kırılmayla levhaların hasara uğradığı görülmektedir. Burada termal yaşlanma etkisini 2 saat ile 4 saatlik bekleme süresi arasında 2 saate göre daha az etki göstermiş ve kırılma hasar yükünü bir miktar azaltmış olduğu gözlemlenmektedir.

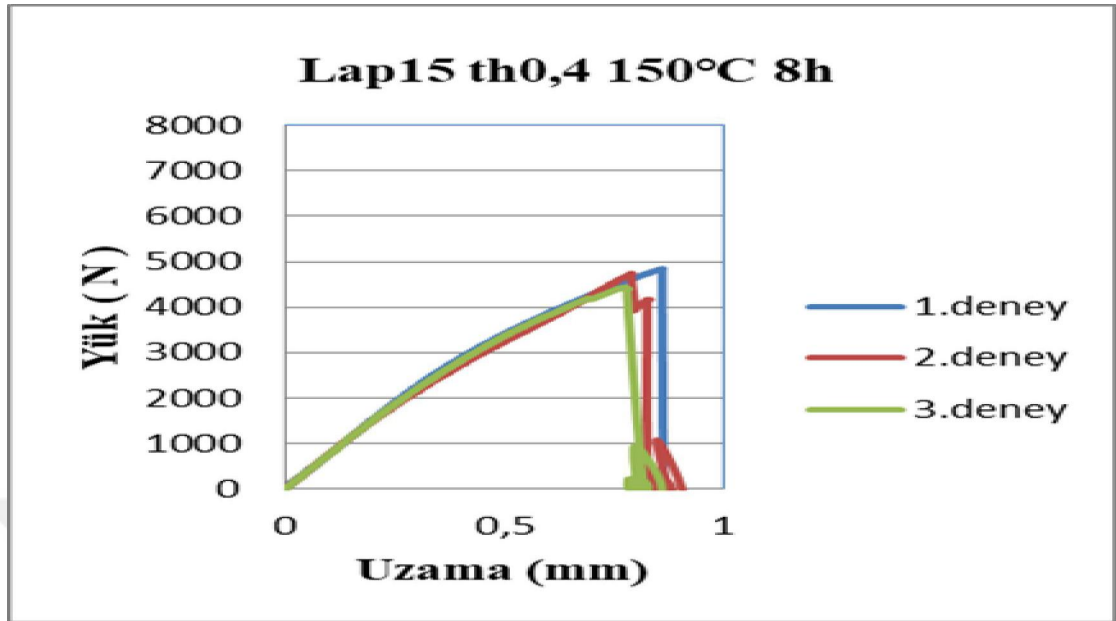
4.4.4. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 6h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.27. lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 6h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri ortalama 2600 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 2600 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının yine azaldığı, ancak 4 saat ile 6 saat bekleme süresi arasında kırılma hasar yükünün bir miktar arttığı ve ortalama 5300 N civarında anlık kırılmayla levhaların hasara uğradığı görülmektedir. Burada termal yaşlanma etkisini hem grafiğin lineer olarak ulaştığı maksimum yükte hem de maksimum kırılma hasar yükünde göstermiştir.

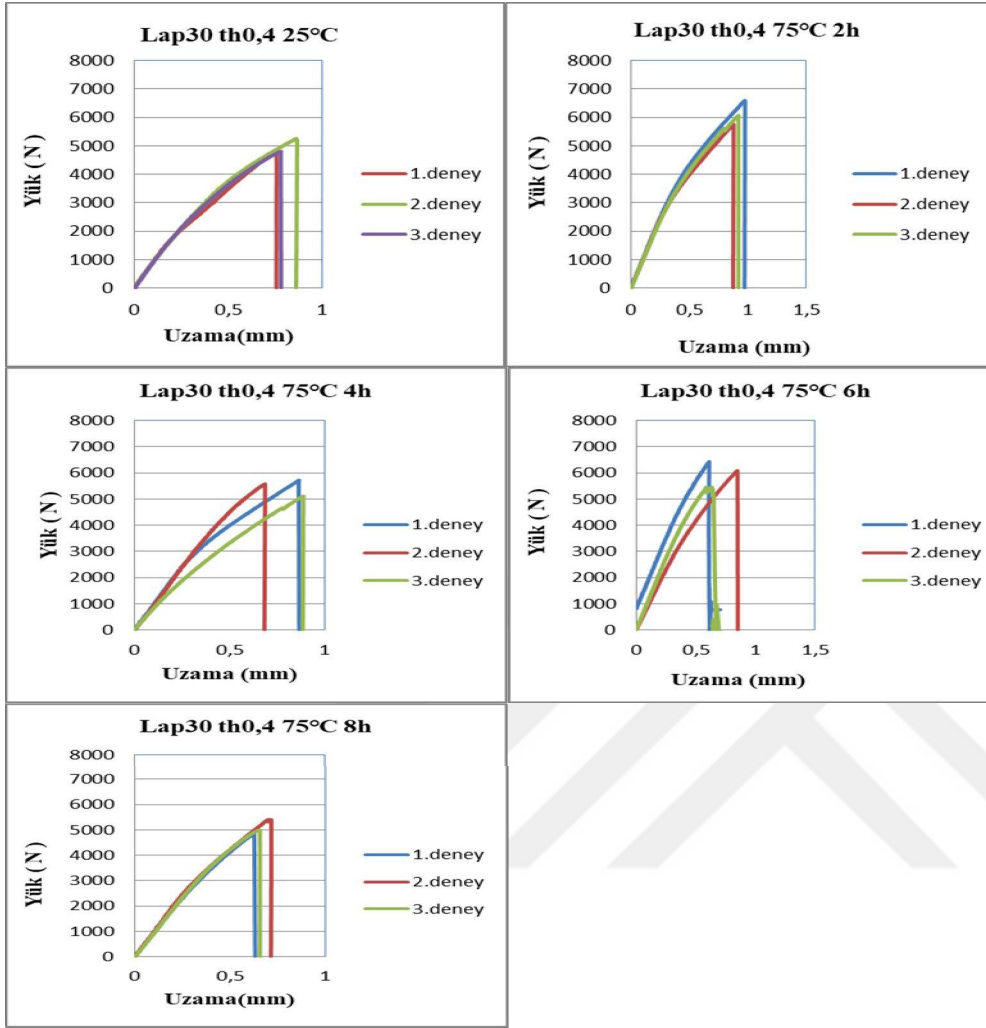
4.4.5. Lap 15 mm th 0.4mm 150°C 8h İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.28. Lap 15 mm th 0.4 mm 150°C 8h levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri ortalama 2200 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 2200 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının yine azaldığı ve ortalama 4700 N civarında anlık kırılmayla levhaların hasara uğradığı görülmektedir. Burada 8 saat bekleme süresinin kırılma hasar yükünü azalttığı görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin hem grafiğin lineer olarak ulaştığı maksimum yükte hem de kırılma hasar yükünde azalma şeklinde gösterdiği görülmektedir. Bu durumda 6 saatlik bekleme süresinden sonra termal yaşlanmanın azaltıcı yönde etki gösterdiğini görmekteyiz.

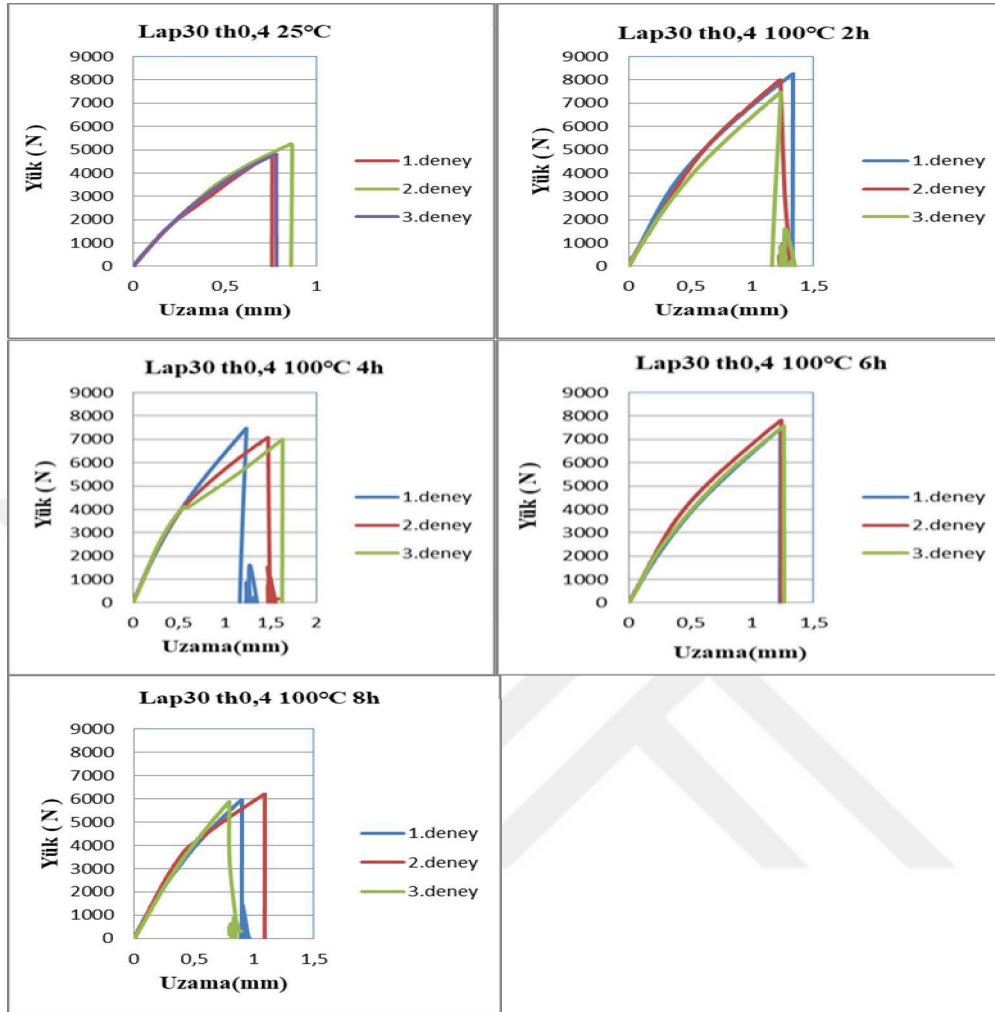
4.4.6. Lap 30 mm th 0.4 mm 75°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.29. Lap 30 mm th 0.4 mm 75°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri genel olarak ortalama 3000 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 3000 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Bindirme uzunluğu artışının genel olarak kırılma hasar yükünü arttırdığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri oda sıcaklığı için ortalama 4565 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 6167 N, 4 saat için 5507 N, 6 saat için 6059 N ve 8 saat için 5213 N olduğu görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin 75°C de 2saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü arttırdığı 4 saat için azalttığı, 6 saat için tekrar arttırdığı ve 8 saatlik bekleme süresinde ise maksimum kırılma hasar yükünün azalttığı görülmektedir. Ancak tüm değerlerde termal yaşlanmanın maksimum kırılma hasar yükünün oda sıcaklığındakinden fazla olduğu dikkat çekmektedir.

4.4.7. Lap 30 mm th 0.4 mm 100°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları

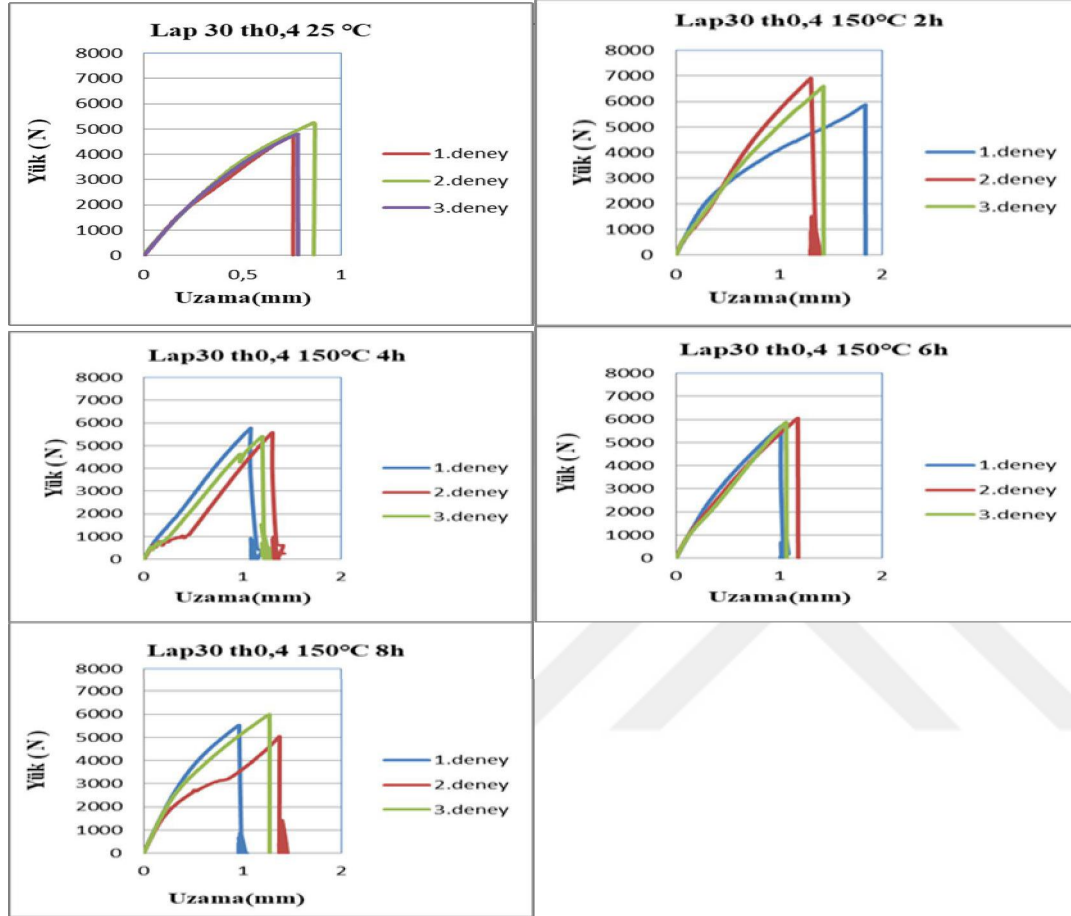


Şekil 4.30. Lap 30 mm th 0.4 mm 100°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri genel olarak ortalama 3500 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 3500 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri oda sıcaklığı için ortalama 4565 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 8170 N, 4 saat için 7595 N, 6 saat için 7614 N ve 8 saat için 6320 N olduğu görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin 100°C de 2 saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü oda sıcaklığına göre neredeyse iki kat arttırdığı 4 saat için azalttığı, 6 saat için çok az arttırdığı ve 8 saatlik bekleme süresinde ise maksimum kırılma hasar yükünü azalttığı görülmektedir. Ancak tüm değerlerde termal yaşlanmanın maksimum kırılma hasar yükünün oda

sıcaklığındakinden fazla olduğu tekrar görülmektedir. Genel olarak 100°C de maksimum kırılma hasar yüklerinin ciddi oranda arttığı görülmektedir.

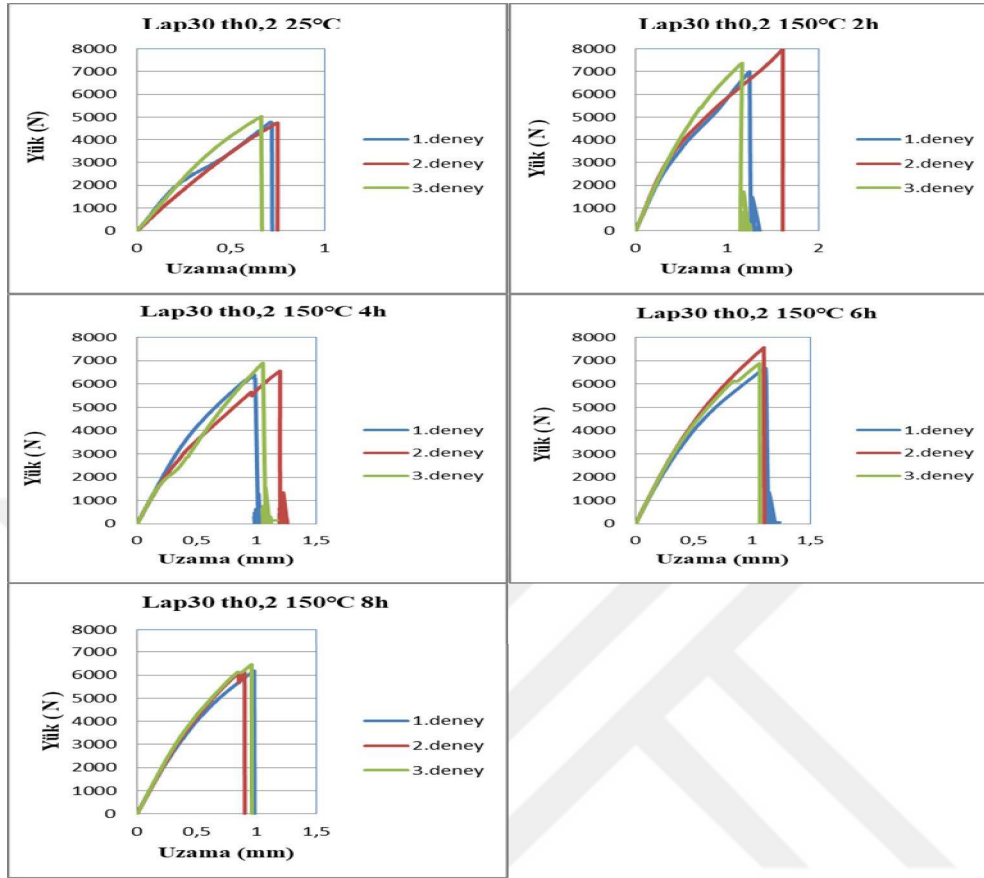
4.4.8. Lap 30 mm th 0.4 mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.31. Lap 30 mm th 0.4 mm 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri genel olarak ortalama 3500 N civarına kadar lineer olarak artmakta, 3500 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri oda sıcaklığı için ortalama 4565 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 6353 N, 4 saat için 5649 N, 6 saat için 5773 N ve 8 saat için 5338 N olduğu görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin 150°C de 2 saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü arttırdığı, 4 saat için bir miktar azalttığı, 6 saat için bir miktar arttırdığı ve 8 saatlik bekleme süresinde ise maksimum kırılma hasar yükünü azalttığı görülmektedir. Ancak tüm değerlerde termal yaşlanmanın maksimum kırılma hasar yükünün yine de oda sıcaklığından fazla olduğu görülmektedir.

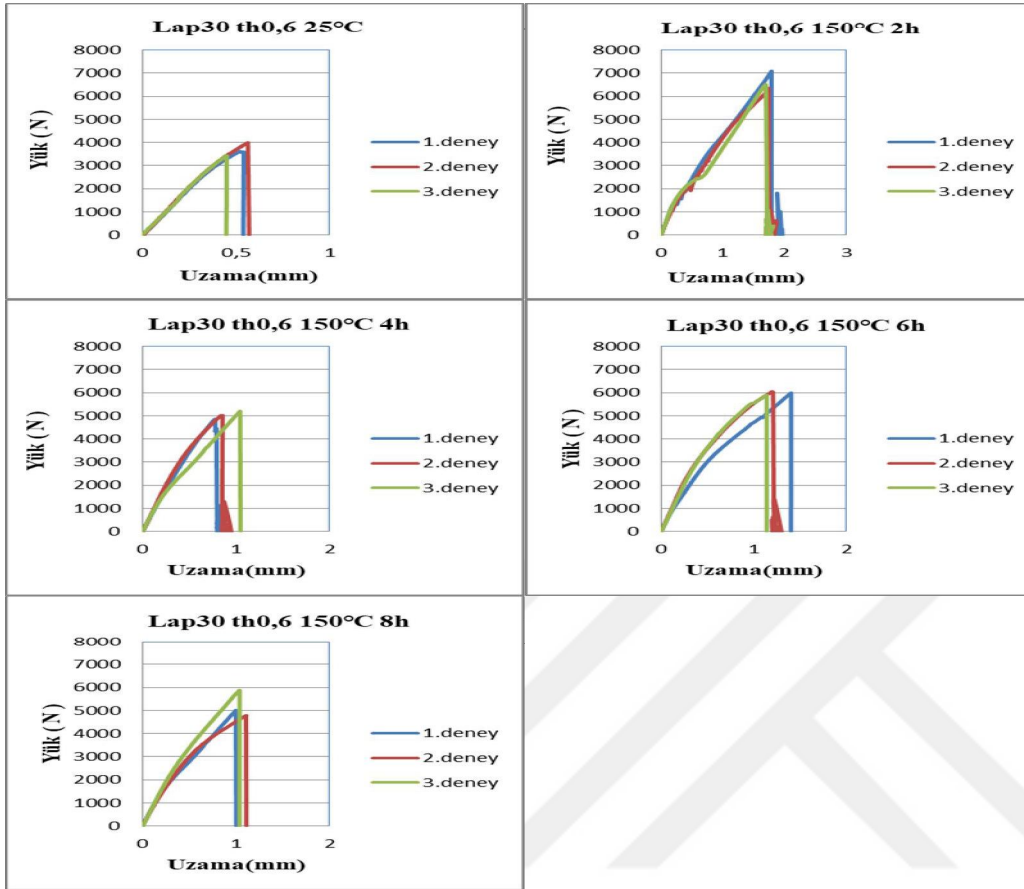
4.4.9. Lap 30 mm th 0.2 mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.32. Lap 30 mm th 0.2 mm 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde genel olarak ortalama 2800 N civarına kadar lineer olarak artmakta iken 2800 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri oda sıcaklığı için ortalama 4790 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 7723 N, 4 saat için 6621 N, 6 saat için 6627 N ve 8 saat için 6065 N olduğu görülmektedir. Aynı bindirme uzunluğu ve aynı sıcaklık için yapıştırıcı kalınlığının yarıya düşmesinin mukavemete olumlu etkisi görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin 2 saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü ciddi oranda arttırdığı görülmektedir. 4 saat bekleme süresi için azalttığı, 6 saat için 4 saatle hemen hemen aynı olduğu ve 8 saat için ise bir miktar azalttığı görülmektedir. Ancak tüm değerlerdeki artışın oda sıcaklığından fazla olması dikkat çekmektedir.

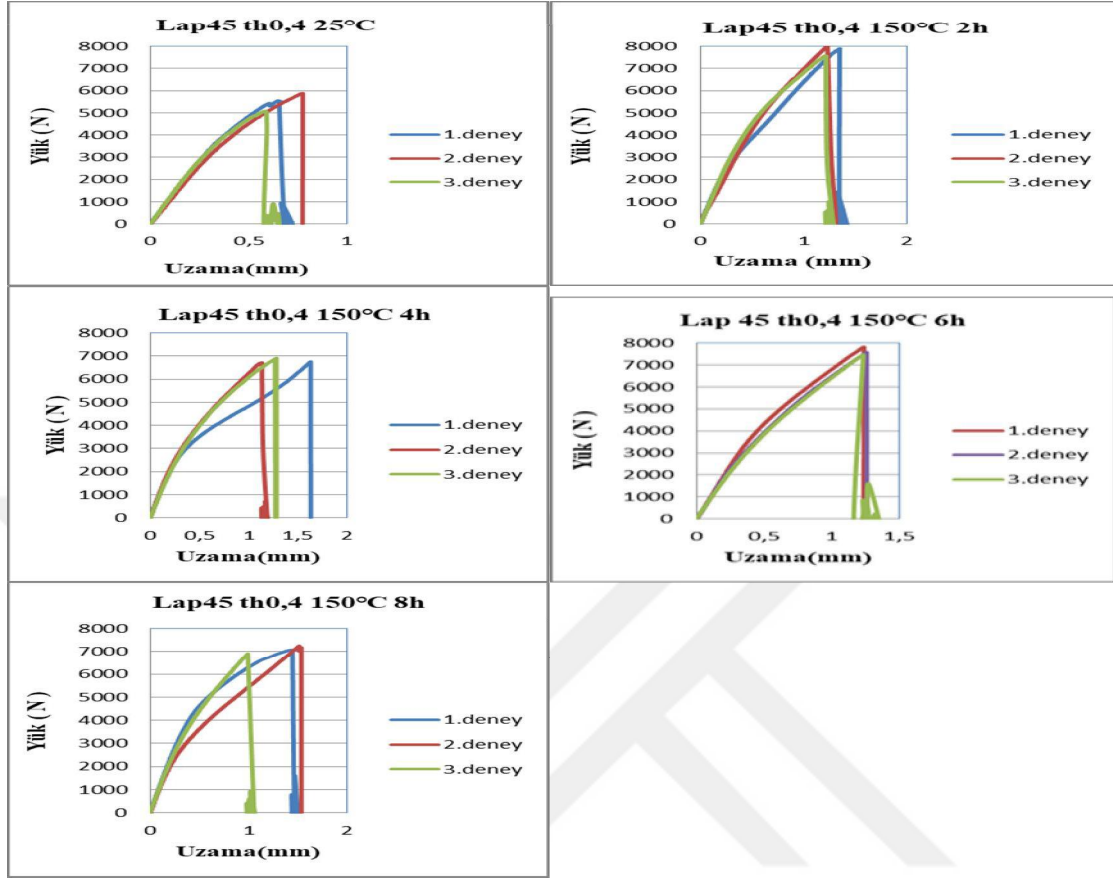
4.4.10. Lap 30 mm th 0.6 mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.33. Lap 30 mm th 0.6 mm 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde genel olarak ortalama 2100 N civarına kadar lineer olarak artmakta iken 2100 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri; oda sıcaklığı için ortalama 3648 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 6211 N, 4 saat için 5197 N, 6 saat için 5600 N ve 8 saat için 5074 N olduğu görülmektedir. Aynı bindirme uzunluğu ve aynı sıcaklık için yapıştırıcı kalınlığının yarı yarıya artmasının mukavemete olumsuz etkisi görülmektedir ve genel olarak mukavemet değerlerini düşürmüştür. Termal yaşlanma etkisinin ise 2 saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü arttırdığı, 4 saat bekleme süresi için azalttığı, 6 saat için arttırdığı ve 8 saat için ise azalttığı görülmektedir. Burada yapıştırıcı kalınlığındaki artışın mukavemete olumsuz etkisi dikkat çekicidir.

4.4.11. Lap 45 mm th 0.4 mm 150°C İçin Deneysel Çalışma Sonuçları



Şekil 4.34. Lap 45 mm th 0,4 mm 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde genel olarak ortalama 3600 N civarına kadar lineer olarak artmakta iken 3600 N'dan sonra kırılma gerçekleşene kadar mukavemetin artış oranının azaldığı görülmektedir. Maksimum kırılma hasar yükleri; oda sıcaklığı için ortalama 5858 N, 2 saat bekleme süresi için ortalama 7830 N, 4 saat için 6913 N, 6 saat için 7504 N ve 8 saat için 6725 N olduğu görülmektedir. Bindirme uzunluğunun yarı yarıya artması ve mukavemete olumlu etkisi görülmektedir ve mukavemet değerlerini arttırmıştır. Termal yaşlanma etkisinin ise 2 saat bekleme süresi için maksimum kırılma hasar yükünü önemli oranda arttırdığı, 4 saat bekleme süresi için bir miktar azalttığı, 6 saat için arttırdığı ve 8 saat için ise azalttığı görülmektedir. Burada bindirme uzunluğundaki artışın mukavemete olumlu etkisi önemlidir.

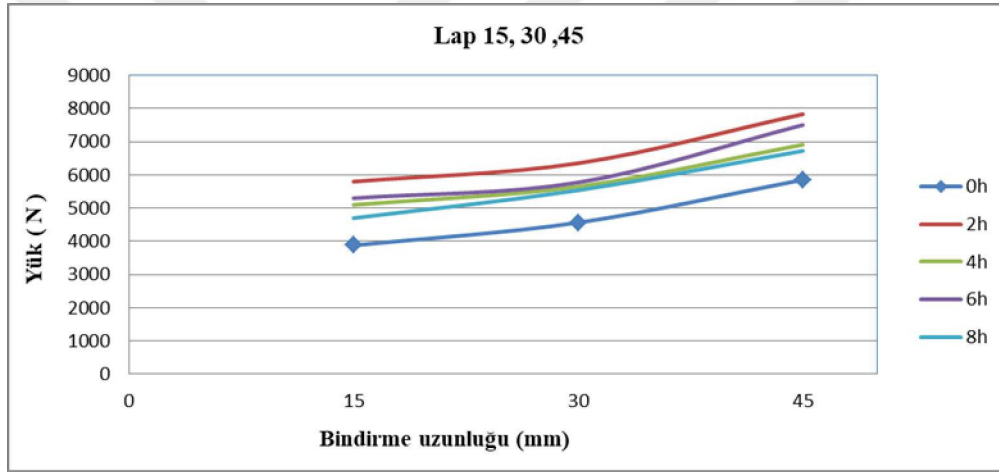


5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1.Deney Sonuçlarının Tablo ve Grafiklerle İfadesi

Bu bölümde termal yaşlanma etkisinin, yapıştırıcının bağlantı performansını etkileyen parametrelerin hasar yüküne etkileri grafikler halinde ve birbirlerine göre hasar yüklerindeki yüzdelik artma ve azalma oranları tablolar halinde sunulmuştur. Tablolarda yer alan ifadelerde, yüzdesel değerler termal yaşlanma sonucu elde edilen hasar yüklerinin oda sıcaklığına göre hasar yüklerine yaklaşım oranlarını göstermektedir. Böylece termal yaşlanma etkisinin net olarak gösterilebilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

5.1.1.Bindirme Uzunluğu Değişiminin Sonuçları



Şekil 5.1. Lap 15, 30 ,45 mm, th 0.4 mm ve150°C levhalar için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

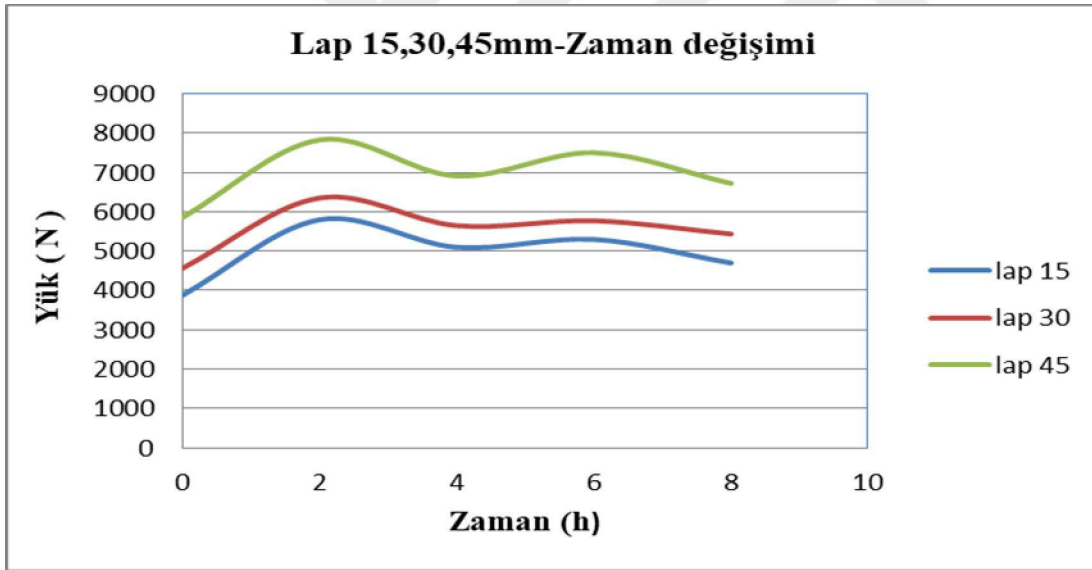
Grafik eğrileri incelendiğinde bindirme uzunluğu arttıkça maksimum hasar yükü değerlerinin arttığı görülmektedir. Yapıştırıcının yüzey alanı arttıkça bağlantının daha mukavemetli bir hal aldığı grafikte görülmektedir. Burada maksimum kırılma hasar yükünün bindirme uzunluğu 45 mm olan ve fırınlanma süresi 2 saat olan numune gerçekleştiği görülmektedir. Minimum mukavemet değerleri oda sıcaklığında görülmekte ve minimum kırılma hasar yükü bindirme uzunluğu 15 mm olan numunelerde görülmektedir. Termal yaşlanma etkisinin; tüm numunelerde oda sıcaklığındaki numunelere göre yüksek olması genel olarak mukavemeti arttırdığını ve olumlu etki ettiğini göstermektedir. Maksimum mukavemet değerlerinin 2 ve 6 saat fırınlanmış numunelerde görülmektedir.

Çizelge 5.1. Lap 15,30,45 mm, th 0.4 mm ve150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu

Bindirme uzunluğu	Lap 15 mm	Lap 30 mm	Lap 45 mm
Maksimum kopma mukavemeti	5800.233 N	6353.546 N	7830.327 N
Minimum kopma mukavemeti	3878.533 N	4655.641 N	5855.31 N
Yüzdelik oran	%49.2 artmış	%36.4 artmış	%33.3 artmış

Çizelge incelendiğinde tüm bindirme uzunlukları için termal yaşlanmanın olumlu etki ettiği görülmektedir. Maksimum hasar yüklerindeki iyileşme %49.2 ile lap 15 mm için olmuştur. En az artış ise %33.3 oranı ile lap 45 mm için olmuştur. Çizelgede bindirme uzunluğu en fazla olan numunede termal yaşlanma etkisinin en az artış gösterdiğini görmekteyiz. Bindirme uzunluğu en düşük olan numunelerde ise termal yaşlanma etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir.

5.1.2. Bindirme Uzunluğu Değişiminin Zamana Göre Değerlendirilmesi



Şekil 5.2. Lap 15,30,45 mm, th 0.4 mm ve 150°C levhalar için elde edilen yük-zaman değerleri grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde tüm numunelerde mukavemet artmıştır. Oda sıcaklığında en az mukavemet değerleri görülürken termal yaşlanma etkisiyle numunelerin mukavemet artışı 2 saatlik bekleme süreli numunelerde en fazla artışın görüldüğü, 4 saatlik bekleme süresinde bir miktar azaldığı ve 6 saatlik bekleme süresindeki değerlerde kırılma hasar yükü değerlerinin tekrar arttığı görülmektedir. 6 saatlik bekleme süresinden sonra mukavemet değerlerinde azalma olduğu

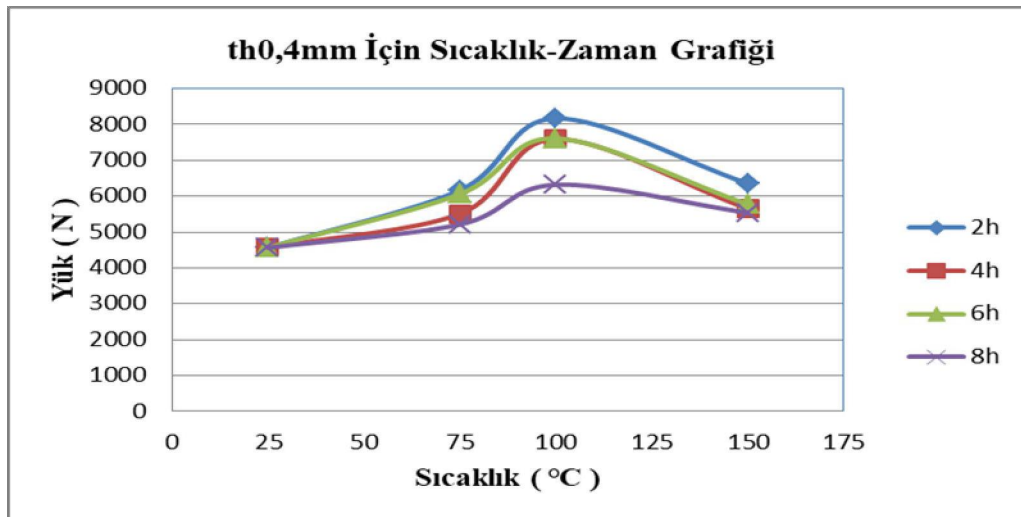
görülmektedir. Ayrıca en düşük değerlerin 8 saatlik bekleme süresinde görülmesi önemlidir. Bu durum aşırı ısının mukavemeti bir noktadan sonra etkilediği ve yapıştırıcı üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olarak bağlantının mukavemetini azalttığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Lap 15,30,45 mm, th 0.4 mm ve 150°C 2, 4, 6, 8saat için elde edilen hasar yükleri tablosu

Fırınlanma süresi	oda sıcaklığı (25°C) 0 saat	150°C 2 saat	Yüzdelik oran	150°C 4 saat	Yüzdelik oran	150°C 6 saat	Yüzdelik oran	150°C 8 saat	Yüzdelik oran
Lap 15 mm	3878.53 N	5800.3 N	%49.2 artmış	5100.2 N	%31 artmış	5300.7 N	%36 artmış	4700.5 N	%21 artmış
Lap 30 mm	4565.64 N	6353.26 N	%39.1 artmış	5649.8 N	%23.7 artmış	5773.4 N	%26.4 artmış	5338.6 N	%16.9 artmış
Lap 45 mm	5855 N	7830.7 N	%33.7 artmış	6913.5 N	%18 artmış	7504.3 N	%28.1 artmış	6725.8 N	%14.8 artmış

Çizelgeye baktığımızda en büyük artış oranı lap 15 mm olan numunede görülmektedir. En büyük artış lap 15 mm ve 2 saatlik fırınlanma süreli numunede %49.2 olarak görülürken, en küçük artış lap 45 mm ve 8 saatlik fırınlanma süreli numunede %14.8 olarak görülmektedir.

5.1.3. Sıcaklık Değişiminin Değerlendirilmesi



Şekil 5.3. Lap 30, th 0.4 ve 2, 4, 6, 8 saat numuneler için elde edilen yük-sıcaklık değerleri grafiği

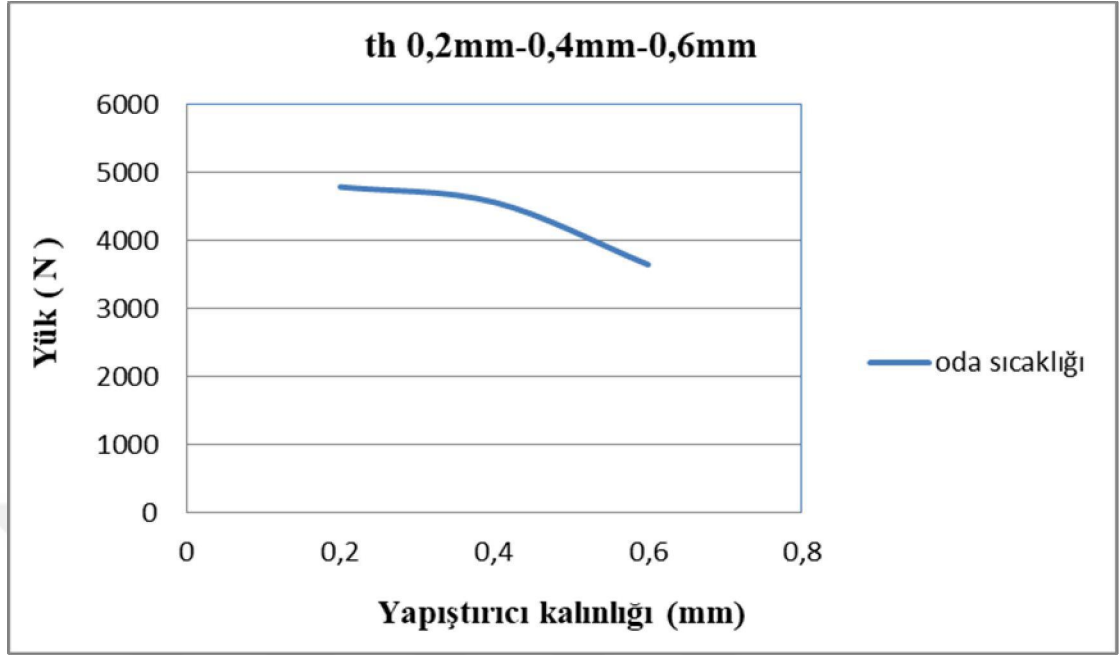
Grafik eğrileri incelendiğinde lap 30 mm th 0.4 mm için termal yaşlanmanın 75°C ye kadar lineer bir eğri çizdiği 75°C den sonra 100°C de maksimum değere ulaştığı ve 100°C den sonra azaldığı görülmektedir. En büyük kırılma hasar yükü 100°C ve 2 saat fırınlanmış numunede görülmektedir. 100°C de 2 saatten sonra mukavemet değerleri bekleme süresi 4 ve 6 saat için çok değişmezken 6 saatten sonra 8 saatte azalmaktadır. En iyi mukavemet değerlerinin 100°C de görülmesi, yapıştırıcının burada camsı geçiş sıcaklığına yaklaştığı tahmin edilmektedir. Literatürde polimer malzemelerin camsı geçiş sıcaklığına ulaşana kadar hasar yükünün arttığı ve camsı geçiş sıcaklığını geçince aniden azaldığını gösteren çalışmalar var. Camsı geçiş sıcaklığının altındaki ve üstündeki değerlerde malzemenin molekül yapısının değiştiği ve bu değişikliğin numunelerde mukavemet değerlerini etkilediği tahmin edilmektedir.

Çizelge 5.3. Lap 30 mm, 75°C, 100°C ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu

Fırınlanma süresi	oda sıcaklığı (25°C) 0 saat	2 saat	Yüzdelik oran	4 saat	Yüzdelik oran	6 saat	Yüzdelik oran	8 saat	Yüzdelik oran
75°C	4565N	6167N	%35 artmış	5507N	%20 artmış	6059N	%32.7 artmış	5213N	%14.4 artmış
100°C	4565N	8170N	%79.1 artmış	7595N	%66.3 artmış	7614N	%66.7 artmış	6320N	%38.4 artmış
150°C	4565N	6353N	%39.1 artmış	5649N	%23.7 artmış	5773N	%26.4 artmış	5338N	%16.9 artmış

Çizelgeye baktığımızda 100°C de %79.1 ile en büyük artış lap 30 mm th 0,4 mm ve fırınlanma süresi 2 saat olan numunede görülmektedir. Bu oran bu çalışmada termal yaşlanmada şuana kadar görülen en yüksek orandır. Buda termal yaşlanmanın en etkili sonucu burada verdiğini göstermektedir. En düşük oran ise %14.4 ile 75°C de ve 8 saatlik bekleme süresi olan numunede görülmektedir.

5.1.4. Yapıştırıcı Kalınlığı Değişiminin Değerlendirilmesi



Şekil 5.4. Lap 30 mm, th 0.4 mm 25°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiği

Oda sıcaklığındaki durum incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı arttıkça mukavemet değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğunu göstermektedir. Literatürde yapıştırıcı kalınlığının artmasıyla mukavemet değerlerinde azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Grafik incelendiğinde en iyi mukavemet değerlerinin 0.2 mm yapıştırıcı kalınlığı olan numunelerde elde edildiği görülmektedir. 0.2 mm den sonra yapıştırıcı kalınlığı arttıkça mukavemet değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. En büyük azalma ise 0.6 mm de görülmektedir.

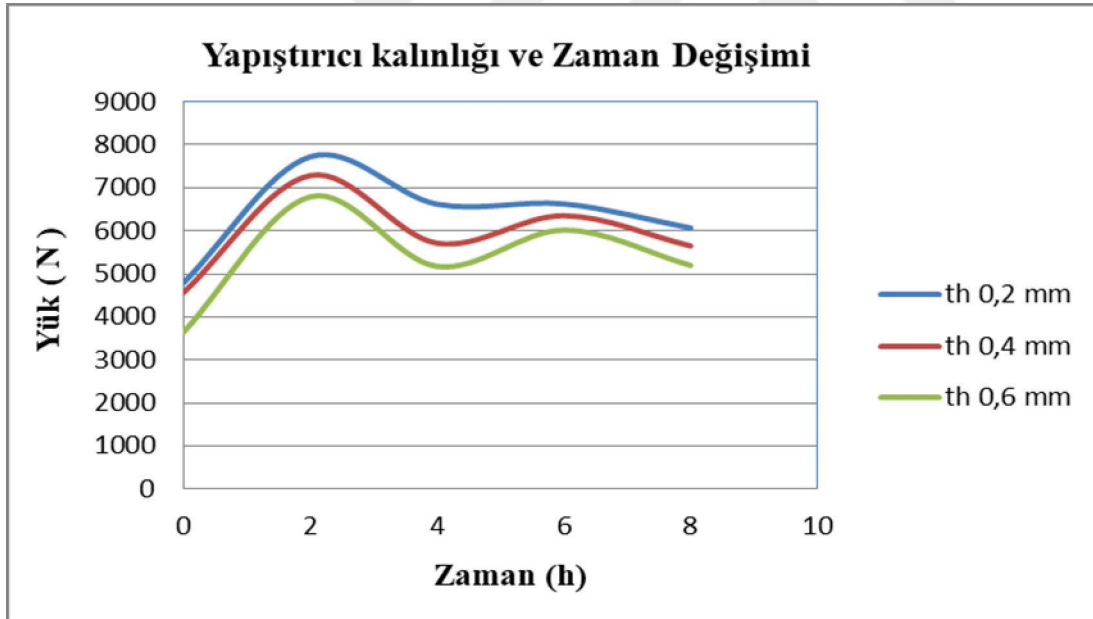
Çizelge 5.4. Lap 30 mm, th 0.2 mm- th 0.4 mm –th 0.6 mm ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu

Yapıştırıcı kalınlığı	Oda sıcaklığı için maksimum kırılma hasar yükü	Yüzdesel oran
Th 0.2 mm	4790 N	
Th 0.4 mm	4565 N	%4.7 azalmış
Th 0.6 mm	3648 N	%31.3 azalmış

Yapıştırıcı kalınlığı değıştikçe maksimum kırılma hasar yükleri değışmiştir. Tabloya göre yapıştırıcı kalınlığının 0.2 mm den 0.4 mm ye çıkarılması durumunda maksimum kırılma hasar yükleri %4.7 azalmıştır.

Yapıştırıcı kalınlığının 0.4 mm den 0.6 mm ye çıkarılması durumunda ise maksimum kırılma hasar yüklerinin %31.3 azalmış olduğu görölmektedir.

5.1.5. Yapıştırıcı Kalınlığı ve Termal Yaşlanma Etkisinin Değerlendirilmesi



Şekil 5.5. Lap 30 mm, th 0.4 mm 150°C levha için elde edilen yük-uzama değerleri grafiğı

Grafik eğrileri incelendiğinde en iyi mukavemet değerleri için yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm olan numunelerde görölmektedir. Termal yaşlanmayla beraber bakıldığında da durumun değışmediğı termal yaşlanma etkisinin en iyi sonuçları yine yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm de verdiğı ve yapıştırıcı kalınlığı arttıkça mukavemet değerlerinde azalma meydana geldiğı grafikte net olarak görölmektedir.

Çizelge 5.5. Lap 30 mm, th 0.2 mm- 0.4 mm –th 0.6 mm ve 150°C için elde edilen hasar yükleri tablosu

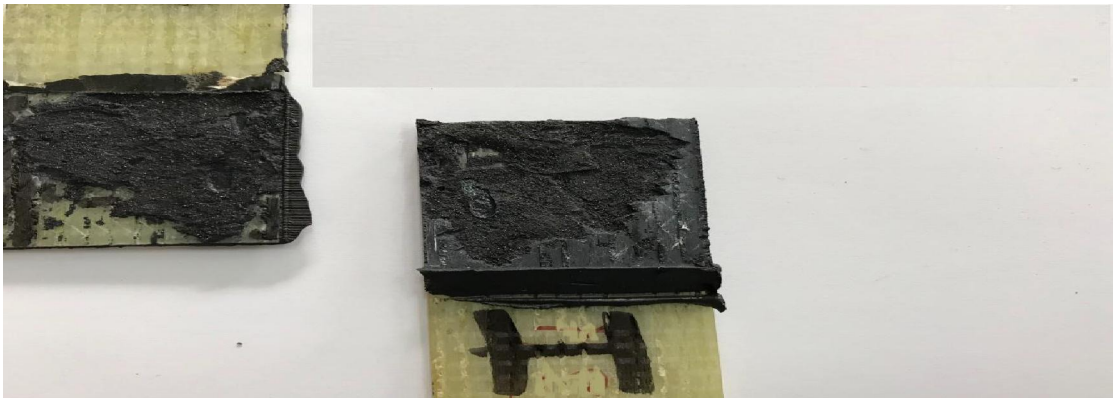
Fırınlanma süresi	Oda sıcaklığı (25°C) 0 saat	150°C 2 saat	Yüzdelik oran	150°C 4 saat	Yüzdelik oran	150°C 6 saat	Yüzdelik oran	150°C 8 saat	Yüzdelik oran
Th 0.2 mm	4790 N	7723 N	%61.1 artmış	6621 N	%38.2 artmış	6627 N	%38.3 artmış	6065 N	%26.6 artmış
Th 0.4 mm	4565 N	6353 N	%39.1 artmış	5649 N	%23.7 artmış	5773 N	%26.4 artmış	5338 N	%16.9 artmış
Th 0.6 mm	3648 N	6200 N	%69.9 artmış	5197 N	%42.4 artmış	5600 N	%53.5 artmış	5074 N	%39 artmış

Çizelgeye baktığımızda oda sıcaklığında yapıştırıcı kalınlığı arttıkça mukavemet değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak oransal olarak baktığımızda ise termal yaşlanmanın mukavemet değerlerini çok ciddi oranda arttırdığı görülmektedir. En büyük artış %69.9 artış ile th 0.6 mm ve fırınlanma süresi 2 saat olan numunede görülmektedir. En düşük artış ise %16.9 artış ile yapıştırıcı kalınlığı 0.4 mm ve fırınlanma süresi 8 saat olan numunede görülmektedir. Bu durum termal yaşlanmanın 0.6mm yapıştırıcı kalınlığı kullanılan numunelerde çok daha etkili olduğunu göstermektedir.

5.1.6. Deneysel çalışma sonrası numunelerde görülen hasar tipleri.

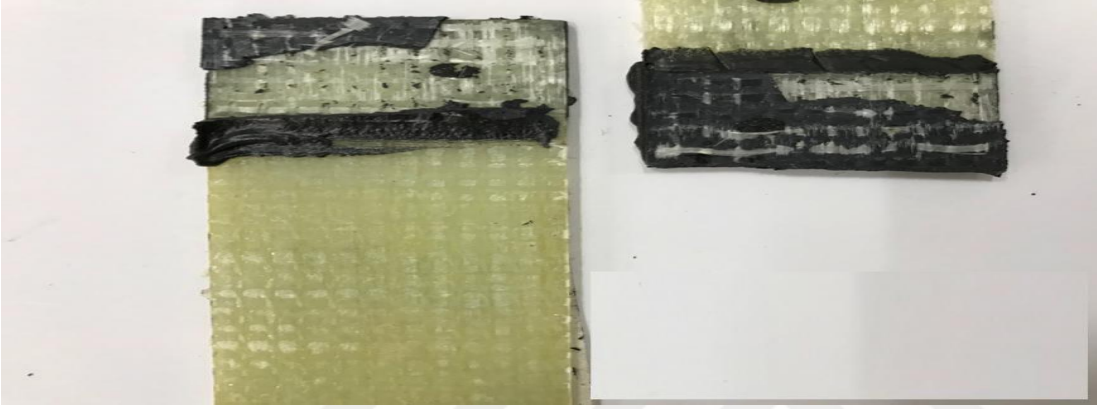
Deneysel çalışma sonucunda numunelerde görülen hasar tipleri incelenmiş ve hasarın genel olarak 4 şekilde gerçekleştiği görülmüştür.

Birinci tip hasar şeklinde kırılma yapıştırıcıda gerçekleşmiş ve yapıştırıcı her iki numune parçasında kalmıştır.

**Şekil 5.6.** Birinci tip hasar şeklini gösteren fotoğraf

Bu hasar tipi genel olarak genel olarak yapıştırıcı kalınlığı 0.6 mm olan numunelerde görülmüştür. Yapıştırıcı kalınlığı fazla olduğu için kırılma genellikle yapıştırıcıda görülmüştür. Genel olarak görüldüğü diğer numuneler ise 8 saatlik numune türleridir.

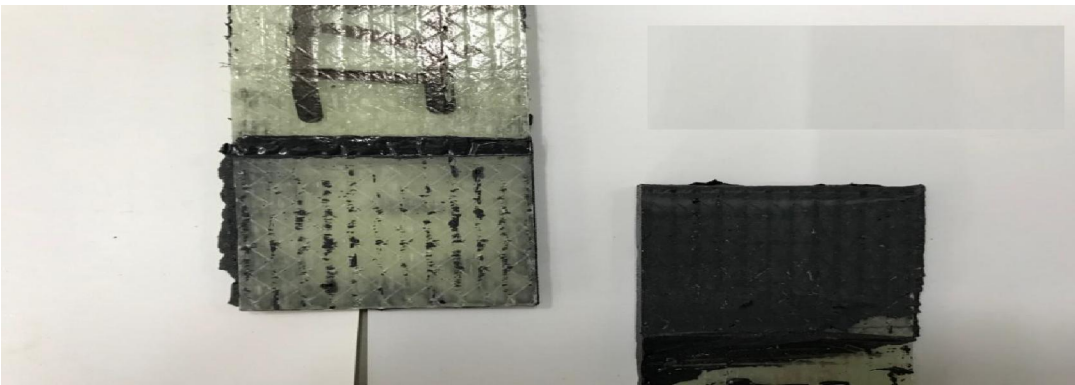
İkinci tip hasar şeklinde yapıştırıcı yine her iki kompozit levhada kalmış ancak ayrılma gerçekleşirken her iki levhadan da kompozit parçalarının koparıldığı görülmektedir.



Şekil 5.7. İkinci tip hasar şeklini gösteren fotoğraf

Bu hasar tipi genel olarak yapıştırıcı kalınlığı düşük olan ve 2 saat fırınlanmış numunelerde görülmektedir. Genel olarak en büyük kırılma hasar yüklerinin 2 saatlik numunelerde görülmesi bu yapışma türünün uygun olduğu ve yapışmanın çok iyi gerçekleştiğini göstermektedir.

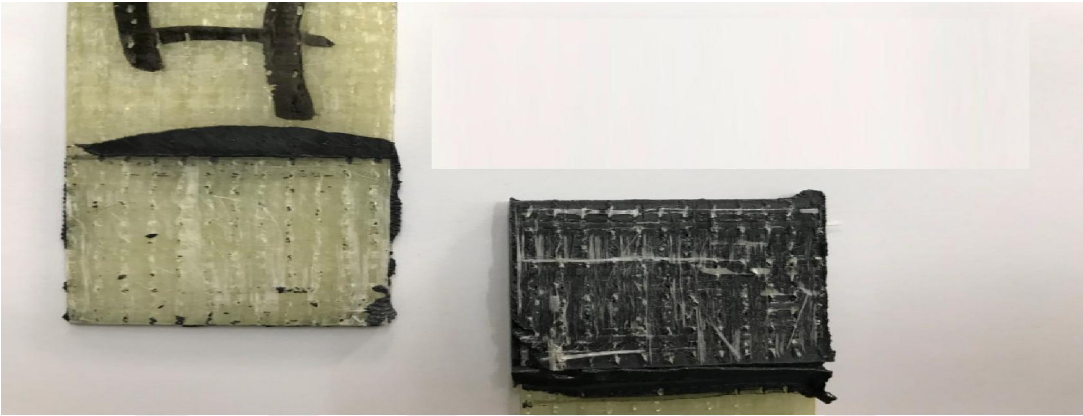
Deney numunelerinde görülen 3.tip hasar şekli ise yapıştırıcının sadece tabakalardan birinde kaldığı kırılmanın yapıştırıcıda değil yapıştırıcı ile ikinci tabaka arasında gerçekleştiği hasar tipidir



Şekil 5.8. Üçüncü tip hasar şeklini gösteren fotoğraf

Bu hasar tipi genel olarak oda sıcaklığındaki numunelerde görülmektedir. Yapıştırıcının burada ikinci levhaya tam olarak yapışmadığı ve bu durumun hasar yüklerinin düşük olmasını sağladığı görülmektedir.

Deney numunelerinde görülen 4.tip hasar şekli ise yine kırılmanın yapıştırıcıdan değil yapıştırıcı ile kompozit levha arasında gerçekleştiği ve bu kırılma gerçekleşirken yapıştırıcının ikinci levhadan bir miktar kompozit parçası kopardığı kırılma hasar tipi şeklindedir.



Şekil 5.9. Dördüncü tip hasar şeklini gösteren fotoğraf

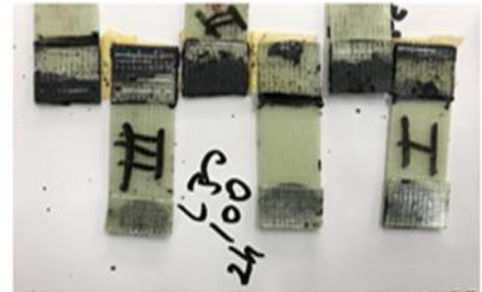
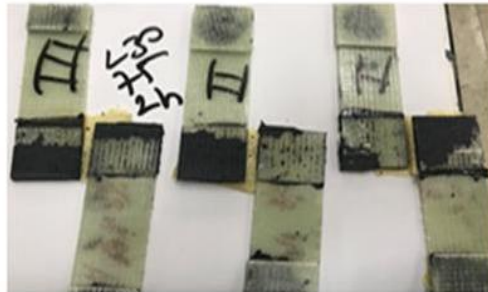
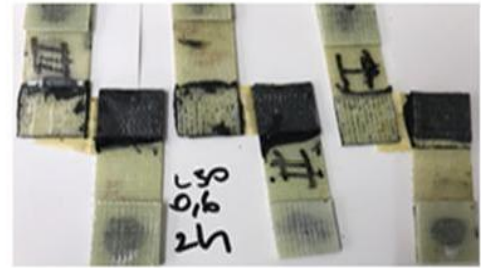
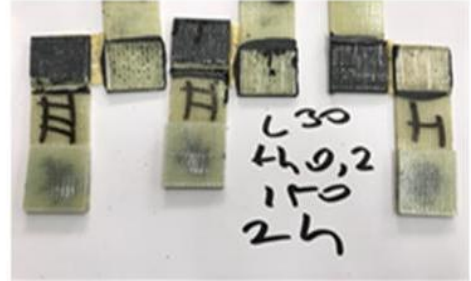
Bu hasar tipi genel 6 saat fırınlanmış numunelerde görülmektedir. En büyük kırılma hasar yükleri bakımından genelde ikinci sırada olan 6 saatlik fırınlanmış numunelerde görüldüğü bir diğer dikkat çekici husustur. Genel olarak bu şekilde görüldüğü bir diğer numune ise 4 saat fırınlanmış numune türüdür.

5.1.7. Oda Sıcaklığında Termal Yaşlanma Uygulanmayan Numuneler

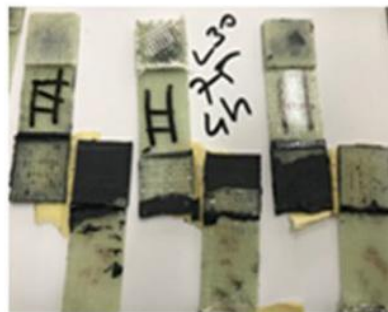
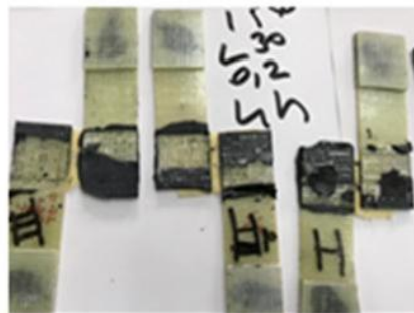
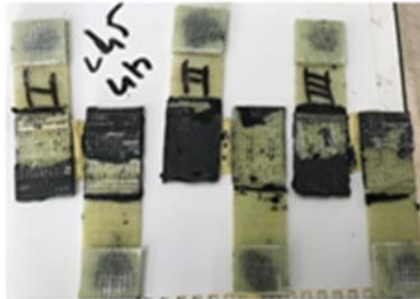


Şekil 5.10. Oda sıcaklığında termal yaşlanma olmayan numunelerin test sonrası hasar tipi

5.1.8. İki Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi



Şekil 5.11. İki saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar

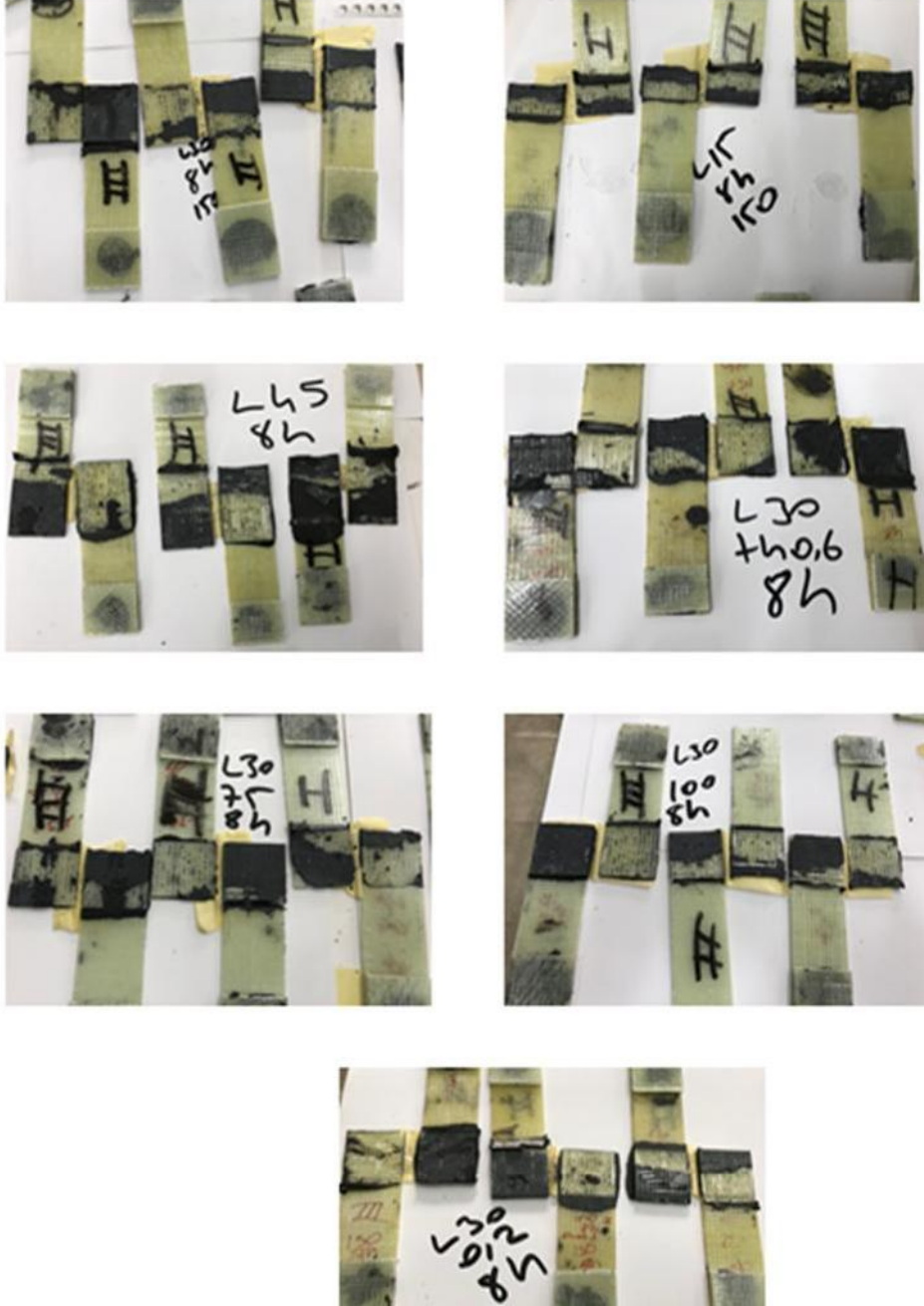


5.1.10. Altı Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi



Şekil 5.13. Altı saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar

5.1.11. Sekiz Saat Termal Yaşlanmaya Maruz Kalan Numunelerin Hasar Analizi



Şekil 5.14. Sekiz saat termal yaşlanma sonrası test uygulanan numunelerde görülen hasar

5.2. Sonuç ve Değerlendirme

- Termal yaşlandırma işlemi sonrası tüm numunelerde oda sıcaklığına göre kırılma hasar yükü artmıştır.

- Termal yaşlandırma işlemi sonrası en iyi sonuçlar fırınlanma süresi 2 saat olan numunelerde alınmıştır. Fırınlanma süresi 4 saat olunca bir miktar azalmış, 6 saat olunca 4 saatlik numuneye göre bir miktar artmış, 8 saat olunca termal yaşlanma sonrası en düşük sonuçlar alınmıştır. Ancak 8 saat fırınlanmış numunelerde bile mukavemet değerleri oda sıcaklığındaki değerlerden yüksek olmuştur.

- Termal yaşlandırma işlemi sonrası en iyi sonuçlar 100°C de ve 2 saat fırınlanmış numunelerde alınmıştır. Oda sıcaklığına göre artış %79.1 olmuştur.

- Termal yaşlandırma işlemi sonrası en çok artış olan ikinci tip ise fırınlanma süresi 6 saat olan numunelerde gerçekleşmiştir. Bu oran %66.7 olmuştur. Ve yine 100°C de termal yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş olan numunelerde görülmüştür.

- Bindirme uzunluğu arttıkça maksimum kırılma hasar yükleri artmıştır. Termal yaşlandırma işlemi sonrası da bu durum değişmemiş ve paralel artışlar görülmüştür.

- Yapıştırıcı kalınlığı arttıkça mukavemet değerleri azalmıştır. Oda sıcaklığında da, termal yaşlandırma işleminden sonrada yapıştırıcı kalınlığı fazla olan numunelerde mukavemet değerleri düşmüştür.

- Sonuç olarak yapıştırıcı kalınlığı 0.2 mm olması ve bağlantının termal yaşlandırma işlemine 100 de ve 2 saat fırınlanma ile numunelerin mukavemet değerleri yükseltilebilir. Bu durumda yapıştırıcı ile kompozit tabaka arasında daha iyi bir yapışma ve dolayısıyla daha iyi mekanik sonuçlar elde edilebilir.



6. KAYNAKLAR

- Akderya, T., Kemiklioğlu, U. and Sayman, O., 2016. Effects of thermal ageing and impact loading on tensile properties of adhesively bonded fibre/epoxy composite joints, **Composites Part B: Engineering**, 95, 117-22.
- Aldaş K., ve Şen F. 2012. Karma Bağlantılı Kompozit Plaklarda Farklı Sıcaklıklar Etkisiyle Oluşan Gerilmelerin Analizi. KSU. **Journal of Engineering Sciences**, 15 (1).
- Apalak, Z.G., Apalak, M.K., Genç , M., 2006. “Prograssive damage modelling of an adhesively bonded unidirectional composite single – lap joint in tension at the meso scale level”, **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, 19, 671 – 702.
- Aydın, M.D., Temiz, Ş. ve Özel, A. 2007. “Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı Üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi” 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7–9 Kasım 2007, İstanbul, Türkiye.
- Camanho, P.P., and Lambert, M., (2006) A Design Methodology for Mechanically Fastened Joints in Laminated Composite Materials. **Composites Science and Technology**, 66: 3004-3020.
- Chen, H.S., 2001. The Static and Fatigue Strength of Bolted Joints in Composites with Hygrothermal Cycling. **Composites Structures**, 52: 295-306.
- Çalık, A. 2008. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Y.Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Çalık, A. 2008. Yapıştırıcılar ve köşeleri yuvarlatılmış basamaklı bindirme yapıştırıcı bağlantılarda gerilme analizi, Y.Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- David Le´ve`que , Anne Schie er , Anne Mavel , Jean-Franc¸ois Maire., 2005. ”Analysis of how thermal aging a ects the long-term mechanical behavior and strength of polymer–matrix composites.**Composites Science and Technology**, 65, 395–401.
- Ferreira, J.A.M., et al., 2002. Fatigue Behaviors of Composite Adhesive Lap Joints, **Composites Science and Technology**, 62, pp. 1373-1379.
- Jen, Y.M., Ko, C.W., 2010. Evaluation of Fatigue Life of Adhesively Bonded Aluminum Single-Lap Joints Using İnterfacial Parameters, **International Journal of Fatigue**, 32, pp. 330-340.
- K.I. Triantou , K. Mergia , , B. Perez , S. Florez , A. Stefan , C. Ban , G. Pelin , G. Ionescu , C. Zuber , W.P.P. Fischer , J. Barcena. Thermal shock performance of carbon-bonded carbon fiber composite and ceramic matrix composite joints for thermal pro.
- Kadiyala, K. A., ve Bijwe, J. 2016. “Investigations on performance and failure mechanisms of high temperature thermoplastic polymers as adhesives”. **International Journal of Adhesion & Adhesives** 70, 90–101.
- Kaw, Autar K., 2014. Kompozit Malzeme Mekaniği, 1. Basım ,Efil Yayınevi
- Khashaba, U.A., et al., 2015. Development of CFRE Composite Scarf Adhesive Joints With SiC and Al2O3 Nanoparticle, **Composite Structures**, 128, pp. 415-42.
- Kim, T.H., Kweon, J.H., Choi, J.H., 2008. “An experimental study on the effect of overlap length on the failure of composite-to-aluminum single-lap bonded joints”, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 27, 1071-1081.

- Kumar, S.B., Sridhar, I., Sivashanker, S., Osiyemi, S.O., and Bag, A., 2006. Tensile Failure of Adhesively Bonded CFRP Composite Scarf Joints. *Materials Science and Engineering B*,132:113-120.
- Loctite Worldwide Design Handbook,1988.
- M.E.B. 2011. Metal Olmayan Uçak Malzemeleri, Ankara.
- Matsuzaki, R., Shibata, M., and Todoroki, A., 2008. Improving Performance of GFRP/Aluminum Single Lap Joints Using Bolted/Co-cured Hybrid Method. ***Composites Part A: applied science and manufacturing***, 39: 154-163.
- Panigrahi, S.K.,Zhang, Y.X., 2011. Investigation of DamageGrowth in Single Lap Joints of CompositeLaminates, ***Journal of AdhesionScienceandTechnology***, 25; 1223–1244.
- Panta, J., Ma, J., Haridoss, P., Ram, G.D.J. 2016. Effect of different carbon nano- fillers on rheological properties and lap shears strange of epoxy adhesive joints, 2016 ***composites part A applied science and manufacturing*** 190,190;1917-206
- Pekbey, Y., Ağdacı O. 2013. "Tek ve çift Tesirli Yapıştırma Bağlantılarının Serbest Titreşim Davranışının Parametrik Olarak İncelenmesi," 16.Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Polat, Z. 2008. Hasarlı kompozit plakaların tamir yoluyla mukavemetinin arttırılması, Y.Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Quaresimin, M., and Ricotta, M., 2006. Fatigue Behaviour and Damage Evolution of Single lap Bonded joints in Composite Material. ***Composites Science and Technology***, 66:176-187.
- Samir H. Okba, El-Sayed A. Nasr, Amr I.I. Helmy, Ibrahim Abdel-latif Yousef. 2017. Effect of thermal exposure on the mechanical properties of polymer adhesives''. ***Construction and Building Materials*** 135; 490–504.
- Saraç, İ., Aydın, H., ve Temiz, Ş. 2016. Experimental determination of the mechanical Properties of adhesive joints bonded epoxy adhesive included Al₂O₃ nanoparticle, *European Journal*.
- Sawa, T., Liu, J., Nakano, K., Tanaka, J. 2000. A Two Dimensional Stress Analysis of Single Lap Adhesive Joints of Dissimilar Adherents Subjected to Tensile Loads, ***Journal of Adhesion Science and Technology***, 14: 43–66.
- Silva, L.F.M, and Adams, R.D, 2007. Joint Strength Predictions for Adhesive Joints to be Used over a Wide Temperature Range. ***International Journal of Adhesion & Adhesives***, 27:362-379.
- T. Kadir ve Kaman, M. O., "Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarında İlerlemeli Hasar Analizi.Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 16,Sayı:3,Sayfa 375-323.
- T. Sınmazçelik, T. Yılmaz.Thermal aging eects on mechanical and tribological. ***Composites Science and Technology***, 67:186-198.
- Tın, S. 2006. Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının tasarım ve analizi, Y.lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Turan, K. 2016. "Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı etkisi." ***Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi mühendislik dergisi***, Cilt: 7, 1, 1,129-138.
- Turan, K., Pekbey, Y., 2015. "Progressive failure analysis of reinforced- adhesively single- lap joint", ***The Journal of Adhesion***, 91, 962–977.
- Turan, K., ve Kaman, M.O., 2016. "Failure analysis of wet patch bonded adhesively strap joint". International Engineering, Science and Education Conference, December

Turan, K., ve Kaman, M.O., ve Tosun. N., 2016. " Thermal Aging Effect On The Failure Loads Of V Notched Composite Plates. International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE)

Turan, K., ve Örcen, G., 2016. Takviyeli Yapıştırıcıların Bindirmeli Yapışma Bağlantılarının Mukavemeti üzerine etkisi. International Engineering, Science and Education Conference, December

Vijayakumar, R.L.,Bhat, M.R., Murthy C.R.L., Non DestructiveEvaluation of Adhesively Bonded Carbon Fiber Reinforced Composite Lap Joints With Varied Bond Quality, Department of Aerospace Engineering, **Indian Institute of Science**, Bangalore-560012, India.

Yang, C., Huang, H., Tomblin, J.S., and Sun, W., 2004. Elastic-Plastic Model of Adhesive Bonded Single Lap Composite Joints. **Journal of Composite Materials**, 38: 293-309.

Yapı Malzemesi Ders Notları Yrd. Doç. Dr. Osman Ünal, 2008. Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi.





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nazif Satı
E-Posta : nazifsati@gmail.com
Adres Bilgileri : Fırat mah.576. sokak taşkıran sitesi A1 blok No: 31
Kayapınar/Diyarbakır
Cep Telefonu : 0(533) 41276 21

Kişisel Bilgiler

Toplam Tecrübe : 1,5 yıl
Çalışma Durumu : Çalışıyor
Eğitim Durumu : Yüksek Lisans (tez dönemi)
Medeni Durumu : Bekar
Askerlik Durumu : Tecilli (08.12.2019)
Doğum Tarihi : 04.06.1989
Sürücü Belgesi : B (2008)

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans : 21.09.2016-. Dicle Üniversitesi -Fen Bilimleri Enstitüsü,
Mekanik Anabilim Dalı
Tez : Thermal Aging Effect on the Strength of Single Lap Jointed
Composite Plates
Üniversite (Lisans) : 08.09.2010 -05.07.2014
Dicle Üniversitesi - Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği



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

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Nazif SATI
ÖĞRENCİ NO	16818011
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017/2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Tek Tesirli Yapışma Bağlantılarının Hasar Davranışları Üzerine Termal Yaşlanma Etkilerinin Araştırılması

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	67
BENZERLİK ORANI	% 21
RAPORLAMA TARİHİ	29/06/ 2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 29/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 21 '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.

Nazif SATI

29/06/2018

Doç.Dr. Kadir TURAN
Tez Danışmanı

21/06/2018

Doç.Dr. Vedat ORUÇ
Anabilim Dalı Başkanı