

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**REÇİNELERİN KAYMA DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Programı**

**ŞUBAT 2016**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**REÇİNELERİN KAYMA DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK**

**1303720014**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Programı**

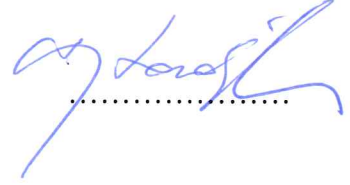
**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU**

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1303720014 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı REÇİNELERİN KAYMA DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

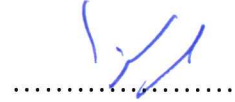
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU**



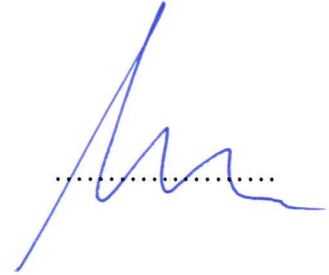
**Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU**



**: Yrd. Doç. Dr. Munir Ali ELFARRA**  
**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**



**: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAYA**  
**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**



**Tez Savunma Tarihi: 26.02.2016**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “REÇİNELERİN KAYMA DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.



16 Şubat 2016

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, yapısal yapıştırıcıların kayma değerleri araştırılmıştır. Tasarlanan test aparatı ile yapısal yapıştırıcılar ve reçinelerin kayma değerleri ile bu değerler doğrultusunda diğer verilerde elde edilmiştir. Bu tasarlanan aparatta sabit bir yapıştırıcı kalınlığı ile ayrı reçineler çekme cihazı ile ve LVDT'ler yardımı ile çok defa test edilmiş ve bu testlerde istenen verilerin test şartlarının eksiksiz yerine getirilmesi ile elde edilebileceği görülmüştür.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans tez çalışmam esnasında tecrübelerine başvurduğum değerli hocam Sayın Doç. Dr. Z. Canan GİRGİN'e müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim. Yüksek lisansa başlamamdaki teşviklerinden dolayı Elektrik-Elektronik Mühendisi Aydın YILMAZ'a, minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim. Ayrıca arkadaşım Hasan PÜSKÜL'e manevi desteği için teşekkür ediyorum.

Bu tezi, sadece bu çalışmam boyunca değil, her zaman yanımda olan, desteklerini esirgemeyen, hayat arkadaşım Beyhan BAYLAK'a ve oğullarım İ. Buğra BAYLAK ve Y. Batuhan BAYLAK' a ve ayrıca babam İbrahim BAYLAK'a, annem Ayşe BAYLAK'a ithaf ediyorum.

Bu tezde deneysel çalışmalarım da bana yardımcı olan Türk Hava Kurumu Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı çalışanları Mustafa KAPLAN ve Uğur ÜNAL'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Şubat 2016

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	x
SİMGE VE KISALTMALAR .....	x
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
GİRİŞ .....	1
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b> .....	<b>3</b>
<b>1. YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRICILAR</b> .....	<b>3</b>
1.1 Yapıştırma .....	3
1.2 Yapıştırıcıya Genel Bakış, Yapısal Yapıştırıcılar .....	4
1.3 Yapıştırmanın Önemi ve Dinamikleri .....	6
1.3.1 Adhezyon Kuvvetleri .....	8
1.3.2 Kohezyon Kuvvetleri .....	9
1.3.3 Yapışma Teorileri .....	9
1.3.3.1 Kimyasal teori .....	9
1.3.3.2 Elektrostatik teori .....	10
1.3.3.3 Mekanik teori .....	10
1.3.3.4 Difüzyon teorisi .....	10
1.3.3.5 Adsorpsiyon teorisi .....	10
1.4 Yapıştırıcılar .....	11
1.5 Yapıştırıcı Bağlantıların Avantajları Şunlardır .....	11
1.6 Yapıştırıcı Bağlantıların Dezavantajları Şunlardır .....	12
1.7 Yapıştırıcı Türleri .....	13
1.7.1 Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar .....	13
1.7.1.1 Kimyasal reaksiyonla sertleşen yapıştırıcılar .....	13
1.7.1.1.1 Epoksiler .....	14
1.7.1.1.2 Akrilikler .....	14
1.7.1.1.3 Anaerobikler .....	14
1.7.1.1.4 Modifiye edilmiş fenolikler .....	14
1.7.1.1.5 Üreten veya poliüretanlar .....	14
1.7.1.1.6 Cyanoacrylate yapıştırıcılar .....	15
1.7.1.2 Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar .....	15
1.7.1.2.1 Kauçuk yapıştırıcılar .....	15
1.7.1.2.2 Polivinil asetatlar (PVA) .....	15
1.7.1.2.3 Sıcak eriyikler .....	15
1.7.1.2.4 Basınç gerektirmeyen yapıştırıcılar .....	16
1.7.1.2.5 Ultraviyole (UV) yapıştırıcılar .....	16
1.7.2 Kullanılan Formlar Göre Yapıştırıcılar .....	16
1.7.2.1 Sıvı yapıştırıcılar .....	16
1.7.2.2 Film tip yapıştırıcılar .....	16

1.7.2.3	Macun tip yapıştırıcılar .....	17
1.7.2.4	Köpükler .....	17
1.7.2.5	Düşük viskoziteli yapıştırıcılar .....	17
1.7.2.6	Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar .....	17
<b>İKİNCİ BÖLÜM .....</b>		<b>18</b>
<b>2.</b>	<b>YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI .....</b>	<b>18</b>
2.1	Yapıştırma Bağlantıları .....	18
2.2	Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması .....	19
2.3	Yapıştırmayı Etki Eden Etmenler .....	20
2.3.1	Zamanın Etkisi .....	20
2.3.2	Sıcaklık Etkisi .....	20
2.3.3	Nem ve Su .....	21
2.3.4	Basınç Etkisi .....	21
2.3.5	Katalizör Etkisi .....	21
2.3.6	Çözücü Etkisi .....	21
2.3.7	Ultraviyole Işınlarnın Etkisi .....	21
2.3.8	Oksijen Etkisi .....	22
2.4	Yapıştırılan Malzeme Seçimi .....	22
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM .....</b>		<b>24</b>
<b>3.</b>	<b>KOMPOZİT MALZEMELERDE REÇİNELER .....</b>	<b>24</b>
3.1	Bir Kompozit Yapıda Matris Malzemesinin Temel Fonksiyonları .....	24
3.2	Matris Malzemeler (Reçineler) .....	25
3.2.1	Avantajları .....	26
3.2.2	Dezavantajları .....	26
3.2.3	Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Bir Reçineden Beklenen Özellikler .....	26
3.2.4	Reçinelerin Yapışma Özellikleri .....	28
3.2.5	Reçinelerin Tokluk Özellikleri .....	28
3.2.6	Reçinelerin Çevresel Özellikleri .....	28
3.3	Reçine Çeşitleri .....	28
3.3.1	Termoplastik Malzemeler .....	29
3.3.2	Termoset Malzemeler .....	29
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM .....</b>		<b>31</b>
<b>4.</b>	<b>YAPIŞTIRICILARIN KAYMA GERİLMESİ TESTLERİ İÇİN STANDARTLAR .....</b>	<b>31</b>
4.1	ASTM D 1002 Test Aparatı .....	31
4.2	ASTM D 3165 Test Aparatı .....	32
4.3	ISO 11003-2 Test Aparatı .....	33
4.4	ASTM D 5656 Test Aparatı .....	35
4.5	ASTM D 7078 Test Aparatı .....	35
4.6	ASTM D 5379 (Losipescu) .....	36
4.7	Yapısal Yapıştırıcıların Kayma Değerleri .....	38
4.7.1	Burulma Yöntemi .....	38
4.7.2	Losipescu, Çentikli Kiriş Kesme Yöntemi .....	40
4.7.3	Arcan, Çentikli Levha Yöntemi .....	40
4.7.4	TAST Yöntemi .....	41
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM .....</b>		<b>44</b>
<b>5.</b>	<b>TASARIM VE YÖNTEMLER .....</b>	<b>44</b>
<b>ALTINCI BÖLÜM .....</b>		<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>DENEYLER SONUÇLARI VE AÇIKLAMALAR .....</b>	<b>60</b>

6.1 Araldit 2015 Yapısal Yapıştırıcı .....	62
6.2 Hysol EA 9309 NA Yapısal Yapıştırıcı .....	70
<b>YEDİNCİ BÖLÜM</b> .....	77
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	77
7.1 Araldit 2015 İçin Kayma Gerimesi ve Kayma Biçim Değişirme .....	78
7.2 Hysol EA 9309 NA İçin Kayma Gerimesi ve Kayma Biçim Değişirme .....	78
<b>KAYNAKLAR</b> .....	82
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	88



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	: Kaynaklı, perçinli ve yapıştırma bağlantılarda gerilme dağılımı.....	7
Şekil 1.2	: Yapıştırma ek yerlerinde bulunan kuvvetlerin gösterimi.....	8
Şekil 1.3	: Bağlantılarda adhesyon ve kohezyon hataları.....	9
Şekil 2.1	: Kullanılmakta olan bağlantı şekillerinden bazıları. ....	19
Şekil 3.1	: Bir FRP kompozitin gerilme-şekil değiştirme davranışı.....	27
Şekil 3.2	: İdeal reçine için (a) ve bazı kompozitlerin gerilme-birim uzama davranışının (hasara kadar) karşılaştırılması (b).....	27
Şekil 3.3	: Termoset (epoksi) ve termoplastik polimerlerin tensile stress-strain diyagramları.....	29
Şekil 4.1.a	: ASTM D 1002 test numunesi profili.....	32
Şekil 4.1.b	: ASTM D 1002 test düzeneği.....	32
Şekil 4.2	: ASTM D 3165 test numunesi profili.....	33
Şekil 4.3.a	: ISO 11003-2 test numunesi profili.....	34
Şekil 4.3.b	: ISO 11003-2 Test numunesi testteki görünümü .....	34
Şekil 4.4	: ASTM D 5656 test numunesi profili.....	35
Şekil 5.5	: V -Çentikli raylı test aparatı (ASTM D 7078). ....	35
Şekil 4.6	: ASTM standard D 5379 Iosipescu kayma testi aparatı.....	36
Şekil 4.7	: ASTM D 4255 üç raylı kayma test numunesi.....	37
Şekil 4.8	: V Çentikli kayma testi elemanları görünümü (a) ve teste hazır numune görünümü (b).....	37
Şekil 4.	: V -Çentikli Aparatın genişliği ayarlanabilen test aparatı.....	38
Şekil 4.10	: Test numunesine burulma momenti tatbiki.....	39
Şekil 4.11	: Burulma yöntemi için kullanılan çekme cihazı.....	39
Şekil 4.12	: Losipescu V çentikli test numunesi .....	40
Şekil 4.13	: Arcan test numunesi .....	41
Şekil 4.14	: TAST (Thick adherend shear test) test ekipmanı.....	41
Şekil 4.15	: Beş yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme (Shear stress-Shear strain) grafiği. ....	43
Şekil 5.1	: İlk tasarımın teknik detaylı çizimi. ....	44
Şekil 5.2	: İlk tasarım SolidWorsk çizimi. ....	45
Şekil 5.3	: İlk aparat tasarımı ve kalıbı.....	45
Şekil 5.4	: İlk protatip test aparatı. ....	46
Şekil 5.5.a	: Test aparatının SolidWorks programı ile nihai çizimi. ....	47
Şekil 5.5.b	: Test aparatının SolidWorks programı ile nihai çizimi. ....	47
Şekil 5.6.a	: Yeni aparatın işlenmemiş hali ve sağda işlenmiş hali.....	48
Şekil 5.6.b	: Reçinelerde kayma testi uygulanacak yeni aparat. ....	48
Şekil 5.7	: Dikey-yanal aparat test kalıbı. ....	49
Şekil 5.8	: Nihai yatay test aparatı kalıbı çizimi.....	49
Şekil 5.9	: Test aparatı kalıbı ve fiber çubuklar. ....	50
Şekil 5.10	: 6 Adet test numunesinin kalıba yerleştirilerek yapıştırıcı uygulamaya hazır haldeki durumu. ....	51

<b>Şekil 5.11</b>	: Bilgisayar kontrollü çekme cihazı.....	52
<b>Şekil 5.12</b>	: LVDT bağlama elemanı.....	53
<b>Şekil 5.13</b>	: Test aparatını çekme cihazına bağlayan ara parça. ....	53
<b>Şekil 6.14</b>	: Yapıştırıcının fırında kür edilmesi. ....	54
<b>Şekil 5.15</b>	: Aparatların kalıba yerleştirilmesi.....	54
<b>Şekil 5.16</b>	: Aparatlara Araldite yapıştırıcının uygulanması. ....	55
<b>Şekil 5.17</b>	: Aparatlara Araldit 2015 yapıştırıcıların uygulanması yakın görüntüsü.....	55
<b>Şekil 5.18</b>	: Test aparatı basit görünümü.....	56
<b>Şekil 5.19</b>	: Testte kullanılacak aparat ve diğer tüm test elemanları.....	57
<b>Şekil 5.20</b>	: Testte hazır aparatı ekstensometreye bağlama. ....	58
<b>Şekil 6.1</b>	: Çekme cihazına test aparatının ve LVDT'lerin bağlanması. ....	62
<b>Şekil 6.2</b>	: Teste hazır yapıştırıcı uygulanmış numune. ....	63
<b>Şekil 6.3</b>	: Teste hazır yapıştırıcı uygulanmış aparata LVDT'lerin bağlanması ve ayarlarının yapılması.....	64
<b>Şekil 6.4.a</b>	: Zaman (time)(s) ve biçim değiştirme grafiği. ....	65
<b>Şekil 6.4.b</b>	: Kuvvet (N)- deplasman (mm) grafiği. ....	65
<b>Şekil 6.4.c</b>	: Araldite 2015 yapıştırıcının LVDT1'in ölçtüğü deplasmanla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği. ....	66
<b>Şekil 6.4.d</b>	: Araldite 2015 yapıştırıcının LVDT2'in ölçtüğü deplasmanla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği. ....	66
<b>Şekil 6.4.e</b>	: Araldite 2015 yapıştırıcının her iki LVDT'nin ölçtüğü deplasmanlarla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği. ....	67
<b>Şekil 6.4.f</b>	: Araldite 2015 yapıştırıcının tüm kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği. ....	67
<b>Şekil 6.5</b>	: Test sonrası numunede yapıştırıcı durumu. ....	69
<b>Şekil 7.6</b>	: Tüm testleri shear stress- shear strain grafikleri. ....	69
<b>Şekil 6.7.a</b>	: Zaman (Time)(sn) ve biçim değiştirme eğrisi.....	71
<b>Şekil 6.7.b</b>	: Kuvvet (N)- Deplasman (mm) Grafiği.....	72
<b>Şekil 6.7.c</b>	: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme eğrisi.....	72
<b>Şekil 6.7.d</b>	: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme eğrisi.....	73
<b>Şekil 6.7.e</b>	: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi – ortalama biçim değiştirme eğrisi.....	73
<b>Şekil 6.7.f</b>	: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının tüm biçim değiştirme ve kayma gerilmesi eğrisi. ....	74
<b>Şekil 6.8</b>	: Hysol yapısal yapıştırıcı test sonrası yapıştırıcı görünümü. ....	75
<b>Şekil 6.9</b>	: Tüm testleri shear stress- shear strain grafikleri. ....	75
<b>Şekil 7.1</b>	: İki yapıştırıcı ile yapılan testlerden seçilen birer shear stress-shear strain grafikleri. ....	79

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 5.1</b>	: Test takip tablosu ( Bir testte kullanılmış tablodur). .....	59
<b>Tablo 6.1</b>	: Araldite 2015 epoksi yapıştırıcı özellikleri.....	63
<b>Tablo 6.2</b>	: Yapılan testler sonucu elde edilen veriler.....	70
<b>Tablo 6.3</b>	: EA Hysol 9309 NA yapıştırıcı özellikleri.....	71
<b>Tablo 6.4</b>	: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcı ile yapılan testler ve verileri.....	76
<b>Tablo 7.1</b>	: Yapılan testlerden sonucu seçilen birer deney sonuçları görünümü.....	79
<b>Tablo 7.2</b>	: Yapılan testlerden elde edilen verilerin ortalamaları ve yapıştırıcı üretici bilgilerindeki test sonucu kayma verileri mukayesesi.....	80

## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

$A$	: Alan ( $\text{mm}^2$ )
$F$	: Kuvvet (N)
$l$	: Uzama (mm)
$b$	: Genişlik (mm)
$\tau$	: Kayma gerilmesi (Pa)
$\gamma$	: Şekil değiştirme (mm)
$t$	: Kalınlık (mm)
$G$	: Kayma modülü (Pa)

## ÖZET

### REÇİNELERİN KAYMA DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BAYLAK, Mustafa Oğuz Kaan

Yüksek Lisans Tezi, Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ferhat KADIOĞLU

Şubat 2016, 88 sayfa

Bu çalışmada günümüzde birçok alanda kullanılan yapısal yapıştırıcıların kayma değerleri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan farklı bir test aparatı tasarlanarak, reçinelerin standartlara uygun kayma değerlerini elde edilmesi amacı ile bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmanın ana konusu olan reçinelerin kayma değerlerinin yeni bir aparat ile araştırılması için çeşitli tasarımlar yapılmış ve uygunluğu incelenmiştir. Bu tasarımlar SolidWorks programında çizilmiş ve çeşitli yönlerden amaca uygunluk kabiliyetine bakılmıştır. Yapılan çizimlerden amaca en uygun görülen aparat imalat çeliğinden yapılmıştır. Bunun üzerinde çalışılarak nihai çizim ve test aparatı imal edilmiştir. Bu test aparatına yapısal yapıştırıcıların uygulanması için test aparatı kalıbı ve kullanılacak diğer test unsurları için tasarımlar gerekmiştir. Bu tasarımların tamamı imal edilmiştir. Nihai amaç olan kayma gerilmesi testleri, iki farklı yapısal yapıştırıcı (Araldit 2015 ve Hysol EA 9309 NA) için test edilmiştir. Laboratuvarında yapılan bu testlerde kayma değerleri araştırılmış ve bu elde edilen değerler ışığında kayma gerilmesi değerleri, birim biçim değiştirme değerleri gibi önemli ve amaçlanan değerler elde edilmiştir. Yapılan test aparatının yapısal yapıştırıcıların, kayma değerlerinin araştırılmasına katkı sağlayacak değerler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Reçine, Yapısal Yapıştırıcı, Kayma Değerleri, Kayma Testi.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF SHEAR OF RESINS**

BAYLAK, Mustafa Oğuz Kaan

Master, Mechanical And Aeronautical Engineering

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Ferhat KADIOĞLU

February 2016, 88 page

In this study, shear value of structural adhesives used in many fields nowadays were searched. Other studies for shear value have researched. This study was initiated to with the aim to obtain the appropriate shear value to the standards of the resins, a different test apparatus made of these studies. Resins were researched. The importance of structural adhesives was mentioned. The Structural adhesives used as the matrix, resins were researched. It has touched on the advantages of the use of structural adhesives. In line with these researches, It was an overview of the tests made with such structural adhesive. Various designs were made and its conformity was searched for apparatus intended for searching the shear value of the resin which is the main subject of this study. These designs are drawn on SolidWorks software and It has looked at expediency capability with various aspects. The apparatus thought to be most suitable for the purpose of drawings was made of tool steel. It is produced the final drawing and the test apparatus by working on it. Designs are required for the test apparatus mold and other test elements to be used for applying of structural adhesive to this test apparatus . Thus many designs are made according to the needs. All of these designs are made. The final purpose, shear stress tests were tested for two different structural adhesive (Araldit 2015 and Hysol 9309 NA). Shear

values were searched in these tests in the laboratory and on the information obtained, important and intended ones such as value of shear stress, strain values were obtained.

**Keywords:** Resin, structural adhesive, shear values, shear test.

## GİRİŞ

Yapıştırma, civata, perçin, kaynak ve lehim gibi mekanik birleştirme yöntemlerine alternatif olarak kullanılan bir birleştirme yöntemi olarak ön plana çıkan önemli bağlantı unsurlarındandır. Son yüzyılda kompozit malzemelerde meydana gelen hızlı gelişmeler ile birlikte, bağlantı güvenilirliğinin gerekli olduğu otomotiv endüstrisi, havacılık sanayi, uzay araçları gibi sektörlerde karma ve diğer malzemelerin kullanılmasında, mekanik birleştirme yöntemleri yerine başka yöntemleri geliştirme zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Yapısal yapıştırıcılar veya reçineler iki malzemeyi birbirine bağlamak için kullanılırlar. Yapısal yapıştırıcıları aynı zamanda mekanik bağlama elemanlarına ikame edecek bağlantı elemanı veya mekanik bağlamaya yardımcı bağlantı elemanı olarak düşünülebilir. Reçineler kompozit malzemedeki takviye elemanlarını bir arada tutan yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcılarda kayma gerilmeleri değerlerinin incelenmesi; birçok çalışmaya bakış açısı katacak ve ışık tutacaktır. Yapısal yapıştırıcıların kullanımında mekanik özelliklerini bilmek ve bu özellikleri tasarımlarda aktif olarak kullanılmak tasarım kolaylığı sağlar. Yapıştırıcıları üreten firmalar belli test değerlerini kapsayan teknik detayları malzeme teknik bilgi formlarında vermektedirler. Bu değerlerin önemi büyüktür. Fakat başka tasarımlarla sertleştirici ve katalizörlerin kullanım miktarı ve kür sıcaklıklarının farklılaştırılması deneysel olarak test edilerek farklı mekanik özelliklerde yapıştırıcılar oluşturulabilir. Bu tasarım hem standart testlerin değerlerini kullanıcılara vermeli hem de farklı yapıştırıcılarda test edilebilir olmalıdır. Ayrıca yapıştırıcı ve katalizör, sertleştirici veya basit karışımların oranları ve kür edilme zamanları kullanılarak farklı yapıştırma değerleri elde edilebilir.

### Amaç, Kapsam

Bu yüksek lisans tezinin amacı, yapısal yapıştırıcılar veya reçineler hakkında genel bilgi vermenin yanı sıra yapılan farklı bir test aparatıyla yapıştırıcı uygulamasının kayma gerilmesi, birim biçim değiştirme ve diğer mekanik değerlerin



elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çeşitli yapısal yapıştırıcılarla yapılan deneylerle, tasarlanmış olduğumuz test aparatıyla Türk Hava Kurumu Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında çekme cihazı ve LVDT'ler yardımıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesidir. Elde edilen verilerin tasarlanan test aparatının kullanılabilirliği hakkında da önemli bilgiler bu deneyler sayesinde elde edilmiştir. Yapılan testler ve sonuçları bu anlamda çok önemlidir. Yapılan bu testlerin sonucunda tekrarlanabilir ve doğru veriler elde edilmesi diğer önemli bir husus olmuştur.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### YAPIŞTIRMA VE YAPIŞTIRICILAR

#### 1.1 Yapıştırma

Yapıştırıcı, malzemeleri bir arada tutan madde olarak tanımlanır. Yapışma, iki yüzeyin; moleküller, iyonlar ve atomlar arası etkileşimden dolayı oluşan çekim kuvvetleriyle bir arada tutturulması olarak tanımlanır. Bir diğer tanımı ise yapıştırıcı (adhesive); ASTM tarafından yüzeysel temas ile malzemeleri bir arada tutabilen maddeler olarak tarif edilmiştir [1]. Yapıştırıcılar; sıvı, katı, macun, bant gibi birçok fiziksel şekilde olabilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapıştırma işlemi olarak iki temel yapıştırıcı ile birleştirme tipi vardır. Yapısal yapıştırma dizayn sınırları içinde yapının sürekliliğini kaybetmeden yük taşıyabilen yapıştırıcı ile birleştirme sistemidir. Yapısal birleştirme işleminde yapısal yapıştırıcılar kullanılır.

Yapısal yapıştırıcılar, yük taşıyabilen yapıştırıcılardır. Yapısal yapıştırıcıların mekanik özellikleri olan kayma ve çekme değerleri, Poisson oranı, akma ve çekme dayanımı gibi verilerin doğru olarak bulunması, yapıştırma bağlantısının tasarımında malzeme seçimi, hasar değerlerinin bulunması, yüklü bağlantıdaki gerilme dağılımlarını saptamak kontrol ve kalite ölçütleri açısından çok önemli bilgilerdir. Bu ayırt edici mekanik özellikler aşağıda verilen iki yöntemle belirlenebilir [2, 3]. Yapısal yapıştırıcılar, havacılık sanayi, otomotiv endüstrisi, gemicilik vb. birçok alanda kullanılmaktadır. En az iki malzemenin birbirine yapıştırılarak birleştirilmesinde istenilen tasarım özelliklerini veren; epoksi, polyamid, fenolik, polyimid ve silikon gibi malzemelerin kimyasal olarak birleştirilmesinden oluşan bir karışımdır [4].

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla önemli avantajlar sağlar. Yapıştırıcı yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engeller. Dolayısıyla

yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle (örneğin perçin) yapılan bir bağlantıdan daha dayanıklıdır [5].

Birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temiz olması, yapışma işleminden beklenen sonuçlar açısından çok önem arz eder. Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlar, böylece mekanik yöntemlerle birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engeller.

Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır çünkü parça boyutlarında veya şeklinde çok az (veya hiç) değişiklikle daha hafif birleşimler elde edilebilir. Yapıştırıcının kür olması esnasında kalınlık kaybı olabilir.

## **2.2 Yapıştırıcıya Genel Bakış, Yapısal Yapıştırıcılar**

Eski tarihlerde ağaç, lif ve kumaş gibi çoğu temel yapısal malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcılar kullanılıyordu [4]. Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Yapıştırıcıların ilk kullanıldığı yıllarda, yapıştırıcılar günümüzde de kağıt, kösele, deri, odun, ahşap parçalar gibi gözenekli malzemelerin yapıştırılmasında hala kullanılan organik malzemelerden meydana gelmekteydi (Ağaç zamkı, hayvan derisi, toynak, kan proteinleri, kazein veya nişastalar). Arkeologların yaptığı çalışmalar, ilkel kabilelerin kırılan çömlekleri, ağaç öz suyundan yaptıkları yapıştırıcı reçine ile birleştirdiklerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yapılan diğer arkeolojik araştırmalar, M.Ö 1500–1000 yıllarında, ahşap yapıştırma işlemlerinde yapıştırıcıların kullanıldığını ortaya koymuştur. 1700’lü yıllarda yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılmasıyla, yapıştırıcıların tarihinde hızlı değişiklikler olmuştur [6]. İnşaat, gemi, uçak ve makina mühendisliği gibi pek çok mühendislik alanında değerlendirilmesi, endüstrinin ilk zamanlarına rasgelmektedir. Teknolojinin gelişmesi ile enerji ihtiyacı artmış ve nitelikli enerji türlerinin doğada azalmasıyla, teknolojide mümkün olan en az enerji kullanımına cevap olabilecek seçimler artmıştır. Neme ve şekil değiştirmesine karşı direncinin zayıf oldukları tespit edilen Kazein tutkalları, 1. Dünya savaşı sırasında uçakların ana ahşap gövdelerin inşasında kullanılmıştır. Bu yapıştırıcıdaki olumsuzluklar, 20. Yüzyıl başlarında sentetik, reçine ve diğer malzemelerden oluşturulan yeni yapıştırıcıların doğmasına yol açmıştır. Sentetik reçinelerin geliştirilmesi endüstride yapıştırıcı kullanımında hızlı bir artışa neden olmuştur [3].

Sentetik reçinelerden elde edilen yapıştırıcıların; deformasyonlara ve neme karşı gösterdikleri dirençler, yapıştırma kullanımını artırmıştır. Başlıca sentetik reçineler doğada çok bulunan hidrojen, karbon, oksijen ve azot atomlarından oluşmaktadır [6]. 1960'lara kadar Alüminyum bağlantı elemanları birçok sektörün olduğu gibi özellikle havacılık sektörünün temel elemanı olmuştur. Alüminyum bağlantı elemanının yüksek yükleme kapasitesi, basit imal teknikleri ve tekrar üretilme kolaylıklarıyla ile yapıştırıcılara göre belli avantajlara sahip olmasına karşın imalatçıların isteklerini 1970'lere kadar karşılayamaz oldu. Azaltılmış üretim ve bakım maliyeti, iyileştirilmiş yapısal etki (uniform yük dağılımı ve daha hafif yapı), yüksek performans ve kalite imalat kavramları önem kazandı. Bu yüzden imalatçılar tüm bu özellikleri rahatlıkla karşılayan yapıştırıcılara yöneldiler ve 1970'lerde uçak imalatında yapıştırıcıları kullanmaya başladılar [4].

Yapıştırıcılar uygulamadaki birçok avantajlarından dolayı, kullanımı hızla artış göstermektedir. Yapıştırıcılar diğer bağlantı uygulamalarında tamamlayıcı rolünü sürdürmeye devam etmektedir.

Endüstrinin gelişimiyle İkinci dünya Savaşına kadar olan yapıştırıcıların kronolojisi aşağıdadır [7]:

Yıl	Malzeme
1814	Hayvan kemiğinden yapıştırıcı (Patenti)
1872	Balık yapıştırıcılarının imali (Balık tutkalı)
1874	İlk balık tutkalı patenti
1875	İnce tabaka odun kaplama (ticari kullanım)
1909	Nişasta ve undan yapılan bitkisel yapıştırıcılar (F. G. Perkins)
1912	Kontraplak için fenollü reçine (Baekeland-Thurlow)
1915	Ahşaplarda kan albumin kullanımı (Haskelite Şti.)
1917	Uçak inşaatı için kazein (Casein) yapıştırıcılar kullanımı.
1920–1930	Selüloz esteri yapıştırıcılar ve alkit reçine yapıştırıcılarının geliştirilmeleri
1927	Yapıştırıcılarda kauçuk (Fischer-Goodrich Şti.)
1928	Kloropren Yapıştırıcılar (McDonald–B. B. Chemical Şti.)
1928–1930	Soya yapıştırıcılar (I. F. Laucks Şti.)
1930	Organik polimer yapıştırıcılar
1930–1935	Basınca duyarlı kauçuk (Drew–Minnesota Mining & Mfg. Şti.)
1935	Fenollü reçine yapıştırıcı filmi (Resinous Products & Chemical Şti.)

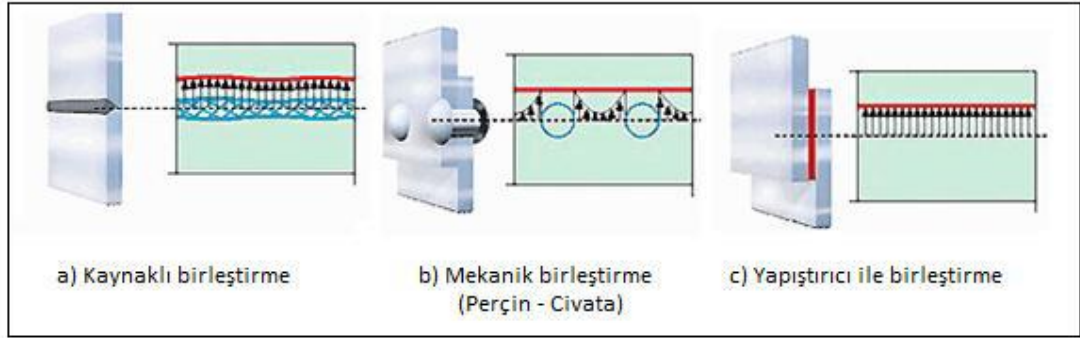
1939	Vinil asetat yapıştırıcılar (Carbide & Carbon Chemicals Şti.)
1940	Klorlu kauçuk yapıştırıcılar
1941	Formaldehit reçine yapıştırıcılar (American Cyanamid Şti.) and Redux by de Bruyne (Aero Research Şti.).
1942	Madeni çevrim kaynak yapıştırıcılar (Saunders-Chrysler Şti.)
1943	Berrak fermaldehit yapıştırıcılar (Penn. Coal Products Şti.)
1944	Metal bağlama yapıştırıcılar (Havens, Consolidated Vultee-Aircraft Şti.)
1945	Furane reçine yapıştırıcılar (Delmonte, Plastics Inst.) and Pliobond (Goodyear Tire and Rubber Şti.)

### 2.3 Yapıştırmanın Önemi ve Dinamikleri

Sistemlerdeki enerji sarfiyatını azaltmak için çeşitli metotlar mevcuttur. Birçok sistemin enerjisinin verimli kullanılması yakıtta tasarrufa gitmenin başlıca yollarından bir tanesi de sistemlerin ağırlığını azaltmaktır. Sistem unsurlarını bağlamak için kullanılan civata, perçin ve kaynak gibi hissedilir bir ağırlığı olan bağlama elemanı yerine yapıştırıcıların kullanılması sistemin daha hafif olmasını sağlar. Havacılık sanayinde ve birçok endüstri dalında ikinci dünya savaşından zamanımıza kadar olan sürede çok daha mukavim ve çok daha hafif malzemeler için büyük aşamalar kaydedilmiştir. Özellikle kompozit malzemeler ve bu malzemelerin üretim metotlarına gelindiğinde ise doksanlı yılların başından itibaren çok önemli aşamalar kaydedilmiştir. Gelişmeler havacılık sektöründeki çözüm bulma arayışları neticesinde polimer matrisli kompozitlerin kullanımı ve gelişimine yeni alanlar açmıştır. Kompozit malzemelerdeki kat edilen bu hızlı ilerleme mekanik bağlama yöntemlerinin yerine daha emniyetli ve daha sağlam yöntemler geliştirilmesine sebep olmuştur. Başka malzemelerin, kompozitlerin ve plastiklerin bağlanmasında mekanik bağlama yöntemlerine oranla yapıştırıcıların kullanılması çok daha fazla tercih edilmektedir. Yapısal yapıştırıcılardaki ve dolayısıyla reçinelerin kullanıldığı kompozitlerdeki bu çalışmalar ve neticesindeki bu ilerlemeler epoksilerin kullanımını artırarak üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

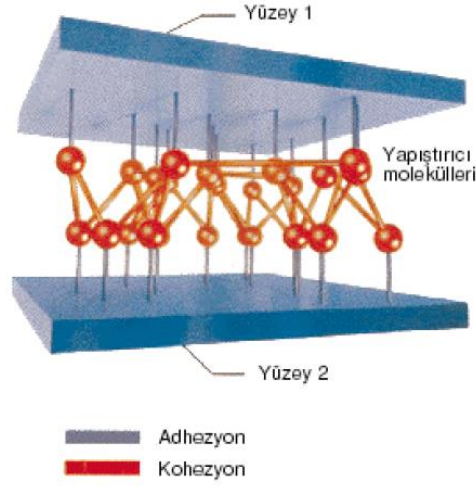
Perçin, kaynak, lehim ve bunun gibi bağlama şekillerinde olduğu gibi bağlanacak birimlerin tahrip edilmesi, delik açılması ya da ısıl işlemler uygulanması ve ergime sonucu kristal yapılarında değişime sebep olmadığı, gerilme yığılmalarının az olduğu ve yapıştırıcı ile birleştirilen birimlerin ergime sıcaklıkları yapıştırıcıların

ergime sıcaklıklarından daha yüksek olması birimlerin bu durumdan etkilenmesine sebep olmaması, yapıştırıcı uygulamalarının geliştirilmesine imkân sağlamıştır. Şekil 2.1’de üç farklı bağlantıda gerilim dağılımı görülmektedir. Bu üç bağlantıdan yapıştırıcı ile yapılan birleştirmede (Şekil 1.1c) gerilim dağılımının diğerlerine göre düzgün ve eşit olduğu görülmektedir. Yapısal yapıştırıcıların kullanımının büyük oranda artmasının en önemli sebeplerinden biride farklı tip malzemelerin bağlanmasında düzgün gerilme dağılımlarının olması, mekanik bağlama yöntemlerindeki kullanımın sebep olduğu bağlantı noktasındaki deformasyon, gevşeme ve korozyon gibi yapının mekanik özelliklerinin değişime uğramasına nedeniyle oluşan bağlama problemleri yapıştırıcılarda istenilen mukavimliği uzun zamanlı sağlamaktadır.



Şekil 1.1: Kaynaklı, perçinli ve yapıştırma bağlantılarda gerilme dağılımı [8].

Yapışmanın dayanıklılığını değerlendirmesi durumunda bileşimin mekanik, dış yüklere ya da çevresel faktörlere nasıl bir tepki vereceğini bilmek çok önemlidir [9]. Yapıştırma performansı ve dayanıklılığı yapıştırıcı özelliklerine, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki fiziksel-kimyasal iç etkileşime, bağlama özelliklerine, bağlama şekline, bağlamadaki gerilmelere ve yapıştırıcı ile yüzey arasında oluşan kusurlara bağlıdır. Ayrıca, bağlamanın yapılacağı yüzey hazırlığı, uygulanacak olan yöntemi, kürleşme sistemi ve bunların süre ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Sağlam bir yapışma ve en üst düzey yapışma performansı alınabilecek yapıştırıcı ile bağlama için tüm etmenler önemlidir, göz önünde bulundurulmalıdır [9, 10, 11]. Yapışma, Şekil 1.2’de görülen yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında oluşan adhezyon ve yapıştırıcının kendi içinde oluşan kohezyon kuvvetleri sonucunda oluşan fiziksel ve kimyasal bir oluşumdur. Yapışmanın oluşmasında etkisi olan iki durum adhezyon ve kohezyondur [12].



Şekil 1.2: Yapıştırma ek yerlerinde bulunan kuvvetlerin gösterimi [8, 12].

Yapıştırıcının, birleştirilecek yüzeylerle iyi bir temasın sağlanması için birleştirme işlemi başladığında sıvı yâda akışkan olmalıdır. Sağlam bir yüzey teması için yayılma veya ıslatma bir temasın sağlanması ıslatma veya yayılma olarak bilinen durum yapıştırma için çok önemli bir durumdur. Yapıştırıcı, yapıştırılacak yüzey yapıştırıcı tarafından iyice ıslatıldıktan sonra yani yayıldıktan belli bir süre sonra donar. Bu durum kimyasal reaksiyonla olur [13].

### 1.3.1 Adhezyon Kuvvetleri

Yapıştırılan iki malzemenin molekülleri ile yapıştırıcının molekülleri arasındaki çekim kuvveti; adhezyon kuvvetidir (Şekil 1.2). Adhezyon, iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetine verilen addır. “Van der Waals kuvvetleri” olarak bilinen çekim ve yüzeye tutunma kuvvetleri fizikseldir ve yapışmada en önemli faktördür. Eğer yapıştırıcı, mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere tam olarak yüzey teması sağlanmaz ise, moleküller arasındaki kuvvetler etkisiz bir hal alır. Yapıştırıcı yüzeye tam olarak Bu nedenle yapıştırıcının yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi ve bütün yüzeyi ıslatması gerekir. Dolayısıyla, yapıştırmanın kuvveti hem yüzeyin ıslatılmasına (maksimum moleküller arası temas için), hem de yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Belirli bir yapıştırıcı yüzey gerilimi için ıslatma, yapıştırıcı sürülen yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da ıslatmayı olumsuz etkiler [14].

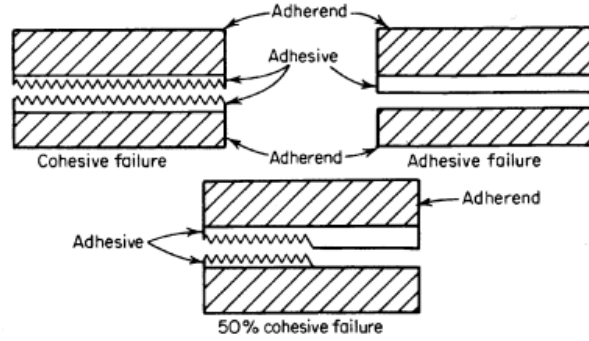
### 3.3.2 Kohezyon Kuvvetleri

Yapıştırma işleminde kullanılacak olan yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekim kuvvetine kohezyon kuvveti denir. Kohezyon, yapıştırıcı molekülleri arasında bulunan ve yapıştırıcıyı bir arada tutan kuvvettir. Şu kuvvetler kohezyona etki eder:

- Fiziksel kuvvet olan moleküller arasındaki çekim kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri)
- Kimyasal olarak oluşan polimer moleküllerinin kendi aralarında kenetlenmesi ile oluşan kuvvet

Bir zincirin kuvvetinin en zayıf halkası tarafından belirlenmesi kuralına uygun olarak, yapıştırma işleminde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık eşit olmalıdır [14].

Yapıştırıcı ile yapışma durumunda yukarıda bahsedilen kuvvetlerin yapıştırıcının kopması durumunda hatayı Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3: Bağlantılarda adhezyon ve kohezyon hataları.

### 1.3.3 Yapışma Teorileri

Günümüze değin yapışma durumunu gösteren farklı teoriler olmuştur. Bu teoriler;

#### 1.3.3.1 Kimyasal teori

Farklı şartlarda ana bağların yapıştırılan malzemeler ve yapıştırıcı madde arasında çok daha iyi bir bağ dayanımlarına neden olabileceğini gösteren teoridir. Genel olarak kimyasal etkileşim sırasında gerçekleşecek dört tip kimyasal bağ vardır



bunlar; kovalent bağlar, hidrojen bağları, Lifshitz - Van der Waals kuvvetleri ve asit - baz etkileşimleridir [15].

### **1.3.3.2 Elektrostatik teori**

Bu teori yapışma sırasında yapıştırıcı ve yüzey arasında elektrostatik etkiler oluşunu söyler [15, 16]. Yapıştırıcı ve yüzey arasında elektron transferi olur. Çekim kuvveti farklı iki malzemenin yapışacak yüzeyleri temas ettiği zaman elektriksel yükler meydana gelir. Bir şekilde elektrostatik kuvvetler yapıştırılan tabaka arasında ara yüz oluşturmaktadır. Bu kuvvetler yüzeyler arasında ayrılmaya direnç oluştururlar. Elektrostatik mekanizma metallerin yapışmasında daha fazla etki sağlar. Sonraki kısımda anılacak olan adsorpsiyon teorisine benzemektedir.

### **1.3.3.3 Mekanik teori**

Yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemelerin mekanik olarak birbirine geçirilmesiyle yapışarak bileşimin meydana geleceğini ifade eden teoridir. Farklı yöntemlerle aşındırılan yüzeyleri pürüzlü hale getirerek (birbirine geçebilme derecesini) birleşme dayanımını artırılır [17]. Yapıştırıcılar sık gözenekli aşınmış yüzeylerde pürüzsüz yüzeylere göre daha güçlü bağlar oluştururlar [14, 18]. Fakat çoğu zaman bu durumun tek bir mekanizma olamayacağı var sayılır. Bununla beraber başka bir çalışmada [19] ve benzeri çalışmalarda da görülmüştür ki, iyi yapışma, pürüzsüz malzeme yüzeyleri kullanılarak da elde edilebilmiştir [19].

### **1.3.3.4 Difüzyon teorisi**

Molekül alışverişin komşu olan iki faz arasında olduğu fikri benimsenir. Bu durum birbirine benzeyen polimer maddeler arasında gerçekleşmektedir. Lakin polimer ve metal ara yüzeylerinde [14, 20] çok karşılaşılan bir durum değildir, nadiren olur.

### **1.3.3.5 Adsorpsiyon teorisi**

Birbirine komşu olan yüzeylerin molekülleri arasındaki Vanderwalls kuvvetlerinin çekimiyle oluştuğunu ifade eder. İki ana tipi olan kuvvetlerdir. İlki,

bazı moleküllerde mevcut olan negatif ve pozitif yüklenme merkez noktalarının tamamen ayrılmasıyla iki manyetik kutup ortaya çıkar. Diğeriyse dağılma kuvvetleridir [21, 22].

#### **1.4 Yapıştırıcılar**

Yapıştırıcı ile birleştirme, yapıştırıcı bölgesi boyunca gerilmenin düzenli dağılımı, yapıştırıcı bölgesinde yük transferinin başarılı bir şekilde sağlanması, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek sönüm kabiliyeti, korozyona karşı direnç, dizayn kolaylığı, kolay montaj, ekonomiklik ve farklı malzemelerden imal edilmiş elemanların birleştirilmesi gibi önemli sebeplerden dolayı günümüz klasik bağlantı elemanları yerine tercih edilmekte, endüstriyel birçok alanda özellikle havacılık ve uzay sanayisinde kullanılmaktadır [23].

Yapıştırıcı ile birleştirme, kompozit malzemelerin kullanıldığı durumlarda en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Havacılık ve uzay sanayii uygulamalarında hafifliğin ve mukavemetin olmasının gerektiği durumlarda yapıştırıcı ile birleştirme ön plana çıkmaktadır. Günümüz uçak üretiminde Boeing 747 uçak yüzeyinin önemli bir bölümünde yapıştırıcı ile birleştirilmiştir [24].

Yüksek performans gerektiren uygulamalar için bir birleştirme yöntemi olarak yapıştırma bağlantılarının kullanımı gittikçe artmış ve bu uygulamalar içinde esnek yapıştırıcıların yapısal amaçlı kullanımları önem kazanmıştır. Düşük camsı geçiş sıcaklığı, düşük elastisite modülleri ve epoksi gibi yapısal yapıştırıcılarla karşılaştırıldığında hasar anına kadar gösterdikleri büyük şekil değiştirme kabiliyetleriyle karakterize edilen esnek yapıştırıcılar yapısal olmayan birçok alanda (ayakkabı endüstrisi, paketleme ve sızdırmazlık alanları gibi) sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, esnek yapıştırıcıların bu büyük şekil değiştirme kabiliyetleri ve birleştirilecek elemanlar üzerinde oluşan gerilmeleri daha düzgün bir biçimde dağıtabilme özellikleri yapısal amaçlı alanlarda kullanımını artırmıştır. Diğer taraftan, bu tipteki yapıştırıcıların otomotiv sanayi gibi endüstriyel alanlara adaptasyonu mekanik davranışlarının iyi anlaşılmasını gerektirir [25].

#### **1.5 Yapıştırıcı Bağlantıların Avantajları Şunlardır**

- a) Düzgün gerilme dağılımı ve daha geniş yük taşıma alanı temin edilebilir,
- b) İnce ve kalın malzemelerin birleştirilebilir,

- c) Benzer veya farklı hemen hemen her malzemelerin birleştirilebilir,
- d) Düzgün yüzeyli birleştirme imkanı sağlar,
- e) Farklı ortamlara karşı bağlantıda yalıtım imkanı sağlar,
- f) Sektörel olarak farklı teknolojiye kolaylıkla uygulanabilir,
- g) Yapılması kolaydır,
- h) Kaynak bağlantısındaki gibi yapısal değişim olmaz,
- i) Uygun olmayan kaynak izleri yoktur,
- j) Sızdırmazlık sağlar,
- k) Korozyon sürtünmesi nedeniyle aşınma ortadan kalkar,
- l) Civata, perçin, kelepçe, pim gibi bağlantı elemanlarını ortadan kaldırır, bu nedenle parça adedi azalır,
- m) Kaynak veya perçinde olduğu gibi bağlantının görünümünde istenmeyen görüntüler olmaz,
- n) Bu nedenle tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için bir çok imkan sağlar,
- o) Bağlantı zamanla, vida bağlantısında olduğu gibi, gevşeme olayına maruz kalmaz,
- p) Bağlantı için, malzeme delinmek zorunda kalmaz ve bu nedenle korozyon ihtimali de azalır,
- q) Dikkat çekici dayanım/ağırlık oranı vardır,
- r) Özellikle ince metaller için çok uygundur,
- s) Bağlantıdaki boşluklar doldurulur,
- t) Yorulma ve tekrarlı yük dayanımının yüksek olması,
- u) Elektriksel yalıtım sağlar,
- v) Isıya karşı yalıtkan olarak kullanılabilir,
- w) Bağlama elemanı üretiminde yüksek enerji girişine gerek yoktur,
- x) Yüksek darbe ve titreşim sönümlenme kabiliyeti vardır [2, 3].

### **1.6 Yapıştırıcı Bağlantıların Dezavantajları Şunlardır**

- a) Parçaların birleştirilmesi zordur. Yüzey hazırlığı ve temizliği gerektirir,
- b) Yapıştırıcının mekanik özellikleri zaman ve sıcaklığa bağımlılık gösterir,
- c) Düşük soyulma dayanımı(peel) ve darbe dayanımı,
- d) Bağlantı ya da yapıştırıcının performansı ile ilgili verilerdeki eksiklikler,

- e) Yapıştırma bağlantısının ömrü maruz kaldığı çevresel etkilere bağlıdır [7],
- f) Bağlantının sağlıklı yapılabilmesi için tecrübeli kişilere ihtiyaç vardır,
- g) Yüksek ısıya karşı dayanımı düşüktür,
- h) Yüzey temizliği hassasiyet gerektirir,
- i) Bağlantının durumuna göre bağlantı uygun olabilmesi için gerekli olan süre uzun olabilir,
- j) Bazı durumlarda uygun bağlantı için basınç ve ısı kullanılması gerekebilir,
- k) Tamir edilme güçlükleri yaşanabilir,
- l) Bağlantı ara birimleri veya aparatları gerekebilir,
- m) Bağlantının tahribatsız muayenesi zordur,
- n) Bağlantı yapılırken uygun çevre şartları gereklidir,
- o) Düşük sıcaklıklarda bazı ürünlerde kolay kırılabilirlik görülebilir,
- p) Bükülebilir ürünlerde sürünme dayanımı düşüktür,
- q) Zehirleyici ve alev alma problemlerini içermektedir [2, 3].

## **1.7 Yapıştırıcı Türleri**

Yapıştırıcılar özelliklerine göre aşağıdaki gibi iki ana gruba ayrılabilirler [26]:

1. Kimyasal tipleri açısından yapıştırıcılar,
2. Formları açısından yapıştırıcılar.

### **1.7.1 Kimyasal Tipleri Açısından Yapıştırıcılar**

Bu yapıştırıcılar iki grupta irdelenir:

1. Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılar,
2. Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar.

#### **1.7.1.1 Kimyasal reaksiyonla sertleşen yapıştırıcılar**

Çok güçlü yapıştırıcı sınıfı bu grup içerisinde. Kimyasal reaksiyonla birleşen yapıştırıcılara kimyasal reaksiyonla sertleşen yapıştırıcılar olarak anılır [26].

#### **1.7.1.1.1 Epoksiler**

Bağlama sistemleri, reçine ve karışımı sağlayan katılaştırıcı maddelerini içerir. Tek bileşenli epoksiler, yüksek kür sıcaklığı gerektirirken, iki bileşenli epoksiler ise genellikle oda sıcaklığında kür edilirler [6]. Epoksi ile yüksek mukavemetli yapışmalar sağlanır. Birçok farklı çeşit birleşimde uygulanabilir.

#### **1.7.1.1.2 Akrilikler**

Birleştirilecek yüzeylere birincil katalizör sistemler uygulanır. Sonra yapıştırıcı uygulandığında anaerobik gibi tepki verir ve oda sıcaklığında kuvvetli bir termoset oluşturur bu durum ısıyla daha da fazlalaşır. Çok çabuk sertleşirler. Yüksek mukavemete sahiptirler.

#### **1.7.1.1.3 Anaerobikler**

Bu tek bileşenli, oda sıcaklığında kür olan polyester akrilikler sıvı halde kalır fakat oksijen azaldıkça hızlı bir biçimde kür olur. Lastik malzemeler kullanılan anaerobiklerde kür olma hızlanırken kötü koku çıkarırlar, yanabilirler ve toksittirler. Yağlı yüzeylerde dâhil, hemen hemen her malzemeye yapışabilirler [6]. Yalıtım için tercih edilirler.

#### **1.7.1.1.4 Modifiye edilmiş fenolikler**

Sertleşmesi için ısı ve basınç gereklidir. Yüksek mukavemet gerektiren metal ile metal, metal ile ağaç ve metal ile kompozit esaslı fren pabucu yapışmaları için oldukça iyidir [4].

#### **1.7.1.1.5 Üreten veya poliüretanlar**

Bunlarda hem bir kısım termoplastik ve hem de iki kısım termosetting sistemler mevcuttur [7]. İki parçalı ve hızla sertleşen yapıştırıcılardır. Cam esaslı kumaşları yapıştırmak için oldukça uygundur [4].

#### **1.7.1.1.6 Cyanoacrylate yapıştırıcılar**

Yapıştırılacak olan yüzeylerin nemin reaksiyonu ile sertleşirler. Çok kısa sürede kururlar. Plastik malzemelerin yapıştırılmasında tercih edilirler. Bu acrylic monomerli nispeten düşük vizkozlu akışkandır. Yüzeyle temas ettiğinde çok hızlı bir şekilde katılaşırlar. Kapatılacak yüzeylerin arasına sürüldüğünde 2-3 saniye içinde güçlü bir bağlantı verecek şekilde serleşecektir. Tam dayanıma 5-24 saat sonra ulaşılır.

#### **1.7.1.2 Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılar**

Kimyasal reaksiyon ile sertleşen yapıştırıcılara göre daha az dayanım gösterirler. Fiziksel değişim ile sertleşen yapıştırıcılara yapısal olmayan yapıştırıcılarda denir. Yaygın olarak kullanılan tipleri ise sıcak eriyikler, kauçuk yapıştırıcılar, PVA'lar, Basınç gerektirmeyen yapıştırıcılardır [25].

##### **1.7.1.2.1 Kauçuk yapıştırıcılar**

Yüke maruz kalan yapışmalar için uygun değildir. Su ortamının yâda çözülmenin kaybolmasıyla sertleşir.

##### **1.7.1.2.2 Polivinil asetatlar (PVA)**

Sanayide çok geniş kullanım alanları vardır. Suda çözünebilir yapıda sentetik polimerdir. Lateks boya, kağıt kaplamalarında, saç sprelerinde, şampuan ve yapıştırıcılarda inceltici ve yapıştırıcı olarak kullanılır. PET şişelerde karbondioksit bariyeri olarak kullanılır. Gıda endüstrisinde bağlayıcı ve kaplama etkeni olarak kullanılır.

##### **1.7.1.2.3 Sıcak eriyikler**

Bu malzemeler parçalar arasındaki yükü taşımak için artan bir şekilde kullanılmaktadır. Hafif yüklere maruz yapışma modellerinde hızlıca birleştirmek için kullanılır.

#### **1.7.1.2.4 Basınç gerektirmeyen yapıştırıcılar**

Yüke maruz kullanımlar için uygun değildir. Bu yapıştırıcıların çevre şartları durumlarını değiştirirler. Etiketleme için kullanıma uygundur.

#### **1.7.1.2.5 Ultraviyole (UV) yapıştırıcılar**

Bu tür yapıştırıcıların kür edilme zamanı UV dalga boyuna ve ışığının şiddetine bağlıdır. Polimerizasyon UV ışığı tarafından başlar. Bundan dolayı mutlaka uygun ışık kaynağı ve doğru tatbiki çok önemlidir.

### **1.7.2 Kullanılan Formlar Göre Yapıştırıcılar**

Kullanım formlarına göre yapıştırıcılar aşağıdaki gruplarda değerlendirilebilirler [6];

1. Sıvı yapıştırıcılar
2. Film tipi yapıştırıcılar
3. Macun tip yapıştırıcılar
4. Köpükler
5. Düşük viskoziteli yapıştırıcılar
6. Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar

#### **1.7.2.1 Sıvı yapıştırıcılar**

Yapışmada optimizasyon sertleşme işlemi tamamlandıktan sonra elde edilebilir. Kompozit üretiminde kumaşların emdirilmesi için kullanılır. İki parçalıdır. Düşük viskozitelidirler.

#### **1.7.2.2 Film tip yapıştırıcılar**

Kompozit veya metal malzemelerin yapıştırılması ya da prepreglerin yapışmasına katkı sağlaması için kullanılan epoksi tabanlı malzemelerdir [4]. Çok geniş yapışma alanlarına sahiptirler. Metal parçaların tamirleri için ince filmler, kompozit tamirleri için kalın filmler kullanılır.

### **1.7.2.3 Macun tip yapıştırıcılar**

Bu tip yapıştırıcıların yüksek viskoziteye sahip olanları çok iyi yapışma sağlarlar. Sabit ısıtma gerektiğinde ısı yorganı kullanmak yeterlidir çünkü bu yapıştırıcılar 80 °C'nin altında sıcaklıkta sertleşirler. Metal yâda kompozit malzemeleri birleştirmek için kullanılan iki parçalı oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılardır [4]. Yapıştırıcı kalınlığının 0.1 ve 0.2 mm arasında olması, yapışma için yeterlidir. Karışım oranlarına dikkat edilmezse, uygulama süresi göreceli olarak düşer. Yüksek ve düşük kayma mukavemetlerinin gerektiği yerlerde kullanılırlar. Bu yapıştırıcılar düşey yüzeylerde ya da düşey yapışmalarda kullanılmazlar [6].

### **1.7.2.4 Köpükler**

Birleşen parçaların tümü birbirlerine kuvvetli bir şekilde yapıştırma sağlar. Birleşim de boşlukları doldurur. Köpükler, kuruma süresince genişleyen epoksi esaslı yapıştırıcılardır [6].

### **1.7.2.5 Düşük viskoziteli yapıştırıcılar**

Birleşmeler içindeki süreksizliklere karşı daha fazla kayma mukavemetine sahip olduklarından dolayı, yapısal bütünlüğü korurlar. Oda sıcaklığında yada yüksek (120-180 °C) sıcaklıklarda sertleşirler. Kuruma süresi içinde köpürmez ve genişlemezler [7]. Bu yüzden bu yapıştırıcıları belli bir yerde hapsetmek için özel bir aparata veya korumaya gerek yoktur [6].

### **1.7.2.6 Düşük yoğunluklu yapıştırıcılar**

Oda sıcaklığında sertleşebilen, iki parçalı yapıştırıcılardır [4]. Bu yapıştırıcılar; mükemmel yapışma istenen tabakaların yapıştırılmasında, göçük ya da ayrılma tip dolgu tamiri veya kompozit kumaş tabakalarının yapıştırılmasında kullanılır [6].



## İKİNCİ BÖLÜM

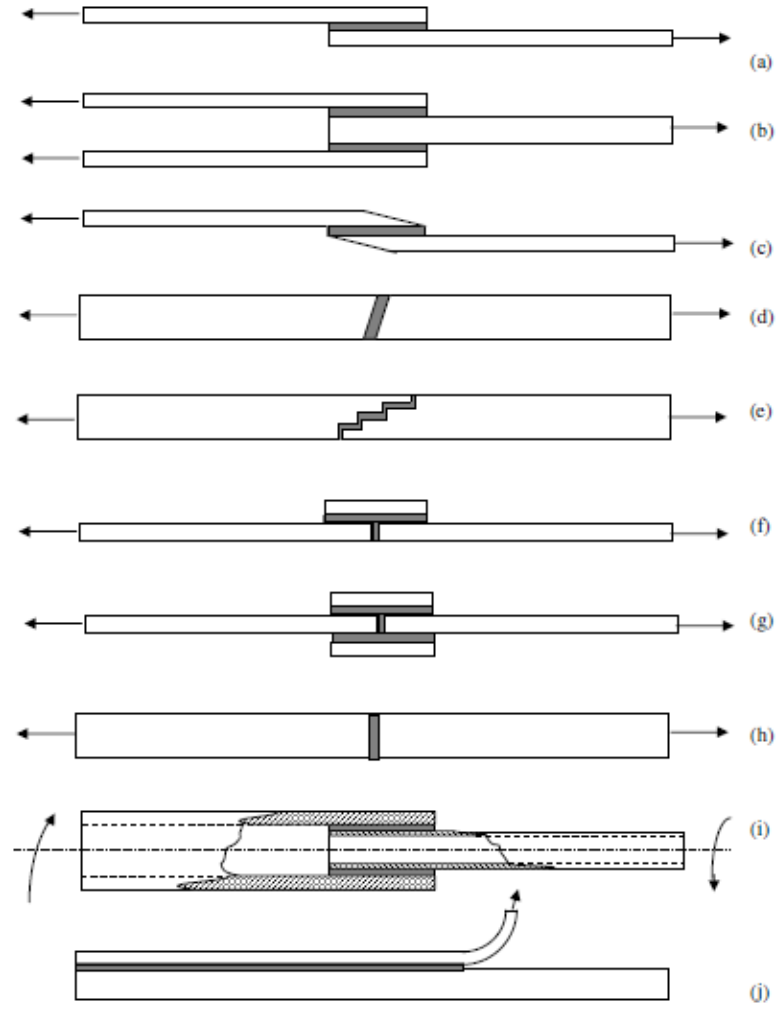
### YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI

#### 2.1 Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırıcıların en büyük fonksiyonu parçaları bir araya getirerek birleştirmektir. Geleneksel mekanik birleştirme yöntemlerinden daha uygun bir gerilme dağılımı sağlayarak yük iletimi sağlamak mümkündür. Bununla birlikte özellikle ince malzemeler için yapıştırıcılar daha düşük maliyet ve ağırlıkta bağlantının oluşturulmasına ek olarak mekanik birleştirme yöntemlerine eşdeğer veya daha fazla bağlantı dayanımı sağlayabilmektedir.

Metal, seramik, plastik, cam ve odun gibi farklı tipteki malzemeler çeşitli kombinasyonlarla, uygun yüzey işlemi kullanılarak kolaylıkla birçok yapıştırıcıyla birleştirilebilir. Esnek bir yapıştırıcı kullanarak termal genişleme özellikleri farklı malzemeler birleştirilebilir.

Mekanik sönümlenme yapıştırıcıların kullanımıyla gerçekleştirilebilir. Darbe ve tekrarlı yüklemelere karşı olan dayanımlarından dolayı yapıştırıcıların kullanımıyla yorulma dayanımı artırılabilir. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş bağlantıda, genellikle yapıştırılan malzemeler yapıştırıcıdan önce yorulma gösterirler. Yapıştırma bağlantılarının avantaj ve dezavantajları üzerine yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Bu çalışmalarda bağlantı biçiminin avantaj ve dezavantajlara etkisinin olduğu bir gerçektir. Eğer uygun olan bağlantı yöntemi kullanılmazsa sağlam bir bağlantı yapılmış olmaz. Şekil 2.1’de kullanılmakta olan bağlantı şekillerinden bazıları görülmektedir.



Şekil 2.1: Kullanılmakta olan bağlantı şekillerinden bazıları.

(a) Tek eksenli bindirmeli bağlantı, (b) Çift eksenli bindirme bağlantı, (c) Örtü, boyun bindirme, (d) Eğik birleştirme, açılı bindirme, (e) Basamaklı, teraslama, (f) Örtülü alın birleştirme, tek takviyeli bindirme, (h) Çift örtülü alın birleştirme, alın bağlantısı, (i) Tüp, silindirik bindirme, (j) Sozulma [27, 28].

## 2.2 Yapıştırılacak Yüzeylerin Hazırlanması

Yapıştırma bağlantılarında, yüzeyler ve yapıştırıcı arasında tam temas sağlanmalıdır, aksi durumda olumsuz etkiler meydana gelir. Sağlam ve başarılı bir yapıştırma için tasarımlarda malzemelere uygun bir yüzey hazırlama yöntemi ve uygun yapıştırıcı tespit edilmelidir [29]. Yüzey hazırlığı yapıştırıcı kullanılarak yapılan birleştirme yöntemi için en önemli ve en kritik aşamasıdır [14]. Yapıştırma işlemi öncesi yüzey hazırlamanın amacı ise yüksek dayanımlı ve sürekliliği olan bir yapıştırma bağlantısı sağlamaktır. Pratik olmamasına rağmen yapıştırılacak malzemelerde boya, krom, oksit ve fosfor gibi tabakaların araya girmeden yapıştırıcı ile direkt temas etmesi istenen bir durumdur. Bu tabakalara ise “Zayıf Sınır

Tabakalar” denir [29]. Bu tür tabakaları içeren malzemeleri yapıştırma yöntemiyle birleştirmek tozlu bir zemine bant yapıştırma gibidir. Bu durumda yapıştırıcı ile yapıştırılacak malzeme yüzeyleri arasında bir temas söz konusu değildir. Çok iyi bir yüzey hazırlığı yapılmadığı durumda bağlantı yapıştırıcı ile yüzey teması olan bölgeden kopacaktır. Doğru yüzey hazırlama yapıldığında, yapıştırıcıdan beklenen ve elde edilebilecek dayanım ile kopmalar yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin aşılması ve yapıştırıcı tabakasının ikiye ayrılması şeklinde olacaktır. Yüzey hazırlama yalnız yapıştırma bağlantısının başlangıçtaki dayanımı için değil, aynı zamanda uzun süreli dayanımı için de çok önemli bir unsurdur. Yüzey hazırlama yöntemleri yağı, tozu, gresi ve yüzeye tutunma kuvveti yapıştırıcıya göre daha az olan yüzeyi kaplayan bu tür unsurlardan temizlemelidir. Birçok metal ve plastik malzemedede, basit zımparalama ve çözeltiyle temizleme yöntemi kullanılır. Ancak bazı metallerde iyi bir yapışma veya uzun vadeli ortam şartlarına dayanım elde etmek için basit yüzey hazırlama yöntemleri tek başına yetmeyebilir [14]. Bu durumlara dikkat etmek yapıştırma kalitesini artırır.

### **2.3 Yapıştırma Etki Eden Etmenler**

Kimyasal ve fiziki etmenlerin etkisiyle, yapıştırıcının içeriğinde bulunan maddeler yapışma ve dolayısıyla yapıştırma işlemi gerçekleşir. Bu etmenlerin hepsi çok önemli ve etkilidir. Fakat her yapıştırıcıda bu etmenlerin bazısı diğerine göre daha etkili olabilir. Yâda biri veya birkaçı daha fazla etkiye sahip olabilir. Yapışma ve yapıştırma etkileyen etmenler;

#### **2.3.1 Zamanın Etkisi**

Yapıştırıcının kür olması için saniyeden günler süren bir zamanın geçmesi gerekir. Sürenin önemi yapıştırıcının etkinliği ile doğru orantılıdır. Kür olma süresi arttıkça yapıştırıcı etkinliği artar. Kür olması zamanı basınç ve sıcaklık etkisiyle düşürülebilir.

#### **2.3.2 Sıcaklık Etkisi**

Yapıştırıcıların birçoğu oda sıcaklığında kür olur. Ancak yüksek sıcaklıkta kür olan yapıştırıcı daha etkin olmakla birlikte yapışma süresi azalır. Kimyasal

reaksiyonların birçoğunda olduğu gibi sıcaklık yani ısı etkisiyle reaksiyon hızında artar. Fakat sıcaklık kontrol altında tutulmalıdır.

### **2.3.3 Nem ve Su**

Silikon türü ve poliüretan siyanoakrilat yapıştırıcı maddeler, havada bulunan nem ile uygulandıkları alanda bulunan nem ve su aracılığıyla reaksiyona girer ve yapışma gerçekleşir.

### **2.3.4 Basınç Etkisi**

Yapıştırıcılar buldukları yerin şeklini almaları film ve bant tabakası şeklinde olması nedeniyle yapışmalarını sağlamak amacıyla bir bası uygulanması yapışmanın etkisini artırır. Basınç yapışmayı daha az sürede gerçekleştirir [14].

### **2.3.5 Katalizör Etkisi**

Birçok yapıştırıcı için katalizör ve benzeri reaksiyon başlatıcı, artırıcı ve hızlandırıcı maddeler karışıma katılmalıdır. Bu amaçla kullanılan kimyasal maddeler değişik sıcaklıkta etkisini göstererek yapışmayı gerçekleştirir. Termoset ve elastomer yapıştırıcı türlerinde olduğu şekilde tek ve iki bileşenli yapıştırıcılar için katalizörler büyük öneme sahiptir [9].

### **2.3.6 Çözücü Etkisi**

Organik tabanlı çözücüler ve su ile hazırlanan yapıştırıcılar, yapışma olayı, çözücü maddenin oda sıcaklığı veya yüksek sıcaklığın etkisiyle buharlaşıp ayrılması neticesinde meydana gelir.

### **2.3.7 Ultraviyole Işımların Etkisi**

Bazı yapıştırıcılar ultraviyole ışınların etkisiyle yapışmayı gerçekleştirir. Tek bileşenli akrilik türü yapıştırıcıların bazıları ultraviyole ışınları yardımı ile kür edilir.

### 2.3.8 Oksijen Etkisi

Yapıştırıcıların bazıları etkisini yapışmanın yapıldığı ortamda, oksijen yoksa etkili olur ve oksijensiz ortamlarda yapışma gerçekleşir. Eğer oksijen yalıtımı yapılırsa bulunduğu ortamda yapıştırıcının özellikleri bozulmadan etkisini uzun süre korur [14, 30].

### 2.4 Yapıştırılan Malzeme Seçimi

Yapıştırma bağlantıları büyük avantajlar ve yaygın bir kullanım alanı sunmasına karşın, yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin; çekme ve kayma modülleri, Poisson oranı, akma ve çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesi, tekrarlanabilirliği ve güvenilirliğinde büyük zorluklar karşılanmaktadır. Diğer bir hususta yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin doğru olarak belirlenmesinin dışında, verilen bir yükleme durumu için yapıştırma bağlantısının tasarımında gerilme dağılımlarını belirleyebilmek ve bağlantı dayanımının tahmini başka faktörlerin anlaşılmasını da zorunlu hale getirir. Esasen bu faktörler ise malzeme seçimi, yükün büyüklüğü, yapısal olarak geometrisi, seçilmiş olan malzemeler için uygun hasar kriterlerinin belirlenmesi ve yapıştırılan malzemenin mekanik özellikleri başlıcalarıdır. Bu önemli hususlar birçok araştırmanın yapıştırıcılar ve yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışlarının belirlenmesi üzerine yoğunlaşmalarına neden olmuştur [31].

Bir yapıştırma bağlantısının mekanik özelliklerinin analizinde analitik ve sayısal yöntemler mevcuttur. Yapıştırma bağlantısını meydana getiren unsurlar olan yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemeler elastik veya elastik-plastik davranışı dikkate alarak analiz edilebilir. Yapılan bazı çalışmalarda uygulanan yapıştırıcının kayma ve soyulma gerilmelerini analitik yöntemler kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile sonlu elemanlar analizi kullanarak elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırmıştır [32]. Daha sonra yapılan çalışmalarda ise, sonlu farklar ve sonlu elemanlar teknikleri kullanılmıştır ve yapıştırma alanı üzerinde elasto-plastik gerilme analizi sonuçlarını elde etmişlerdir [31, 33].

Sonlu elemanlar analizi yöntemi ise mekanik sistemlerin analizinde kullanılan önemli bir yöntemdir ve lineer alan dâhilinde yapılan bu analizlerde kolaydır ve oldukça etkili bir yöntemdir. Yük ve yer değiştirme şartları genel olarak düşünülerek

çok daha farklı geometrilerin analizine imkân sağlar. Bu yöntemde bir yapıştırıcı uygulana bölge analiz edilecek ise önemli ve değerlendirilebilir sonuçlara ulaşmak için özellikle yapıştırıcı alanın sonlu elemanlar analizinin son derece dikkatle yapılmalıdır [34].

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### KOMPOZİT MALZEMELERDE REÇİNELER

Kompozit malzemeler reçine ve takviye bileşenlerinden oluşur. Kompozitler temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözülmezler veya karışmazlar. Kompozit malzemelerde elyaf; sertlik, sağlamlık gibi yapısal özellikleri, reçine malzemesi ise elyafın yapısal bütünlüğü oluşturması için birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında dağılmasını ve elyafın kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. Kompozit malzemelerin çok büyük bir kısmını polimer esaslı matrisler oluşturmaktadır.

Kompozit malzemeler ve onların üretim yöntemlerinde özellikle son yıllarda önemli gelişmeler olmuştur. Bu durum hava taşıtlarının birçok parçasında polimer matris kompozitlerin yeni uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur [35, 36].

Farklı malzeme, kompozit ve plastiklerin birleştirilmesinde tercih edildiklerinden birleştirme yöntemi olarak yapıştırıcıların kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. Yapıştırma; kaynak, lehim, perçin vs. yanında endüstriyel bir birleştirme yöntemi olarak kullanılmaya başlandığından beri, başarılı bir yapıştırma için en önemli parametreleri bulmak amacıyla birçok araştırma, geliştirme ve mühendislik çalışması yapılmıştır [37].

#### 3.1 Bir Kompozit Yapıda Matris Malzemesinin Temel Fonksiyonları

- a) Matris fiberleri bir arada tutarak fiberlere yük aktarımında köprü görevi görür. Yapıya rijitlik ve şekil verir.
- b) Matris fiberleri birbirinden izole eder. Böylece fiberler birbirlerinden bir yönü ile bağımsız davranırlar. Bu durum, örneğin, çatlak ilerlemesini durdurur ve yavaşlatır.

- c) Matris iyi yüzey kalitesi
- d) Matris, aşınma gibi mekanik hasarlara ve çeşitli kimyasal etkilere karşı fiberleri korur.
- e) Seçilen matris malzemenin özelliklerine bağlı olarak, kompozitin süneklik, darbe direnci gibi performans karakteristikleri de etkilenir. Daha sünek bir matris yapının kırılma tokluğunu arttırabilir.
- f) Kullanılan matrisin özellikleri ve fiberle uygunluğu, meydana gelen hasar modlarını (mekanizmaları) önemli ölçüde etkiler.

### **3.2 Matris Malzemeler (Reçineler)**

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır [38]. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonların yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünülüğünde yük bir yâda birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir [38]. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise elyaf yâda matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davranacağından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise, elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğru bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzeme tipleri epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir. Yüksek



mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinesidir. Gelişmiş kompozitlerin üretiminde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır [38]. Matris iyileştirmesi çalışmaları özellikle yüksek sıcaklıkta kullanıma uygun ve düşük nem duyarlılığına sahip yapıların üretilmesi doğrultusundadır.

Epoksiler iki ya da daha fazla epoksi içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Eposilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımı 150-200 °C'a artırılabilir. Büzülmesi %2'den azdır [38].

### **3.2.1 Avantajları**

1. Kapma mukavemetleri yüksektir.
2. Elyaf yapılarda yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.
3. Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
4. Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
5. Düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler [38].

### **3.2.2 Dezavantajları**

1. Polyesterle karıştırıldığında pahalıdırlar.
2. Polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur.

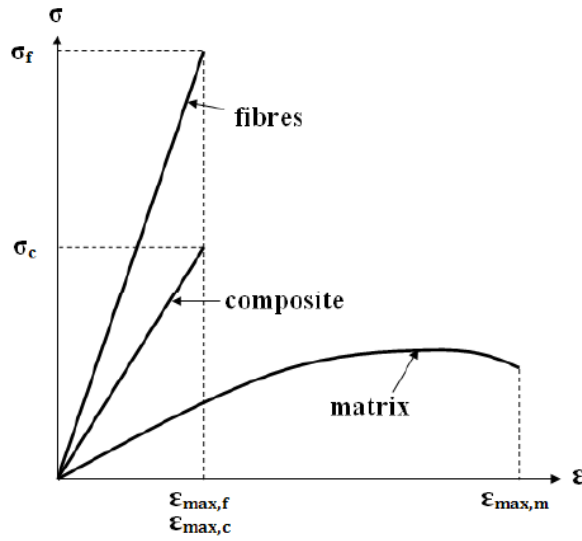
Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerde kullanılabilme nedeniyle, uçak yapısında da yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar [38].

### **3.2.3 Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Bir Reçineden Beklenen Özellikler**

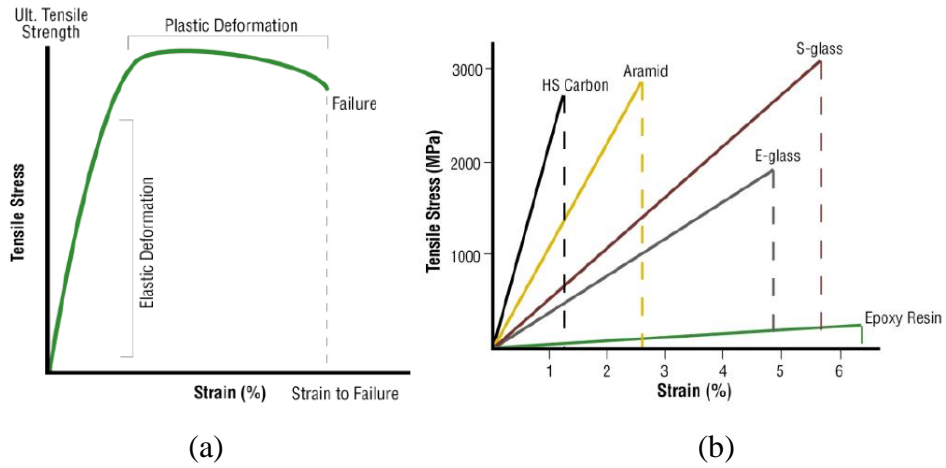
1. İyi mekanik özellikler
2. İyi yapışma kabiliyeti
3. İyi tokluk özellikleri
4. Çevresel etkilere direnç

Şekilde ideal bir reçine gerilme-birim uzama diyagramı görülmektedir. Görüldüğü gibi plastik deformasyon bölgesi de vardır ve hasar gevrek kırılma

şeklinde gerçekleşmemektedir. Kompozit malzemeden beklenen performansın elde edilebilmesi için matris malzemenin en az fiber malzemesi kadar elastik deformasyon kabiliyetine sahip olmalıdır [39]. Şekil 3.1’de FRP kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin ve oluşan kompozitin gerilme şekil değiştirme eğrisi görülmektedir. Şekil 3.2a,b’de ise temsili olarak gösterilen Tensile Stress-Strain eğrisi çekme deneyine tabi tutulan bir kompozitin davranışlarını göstermektedir.



Şekil 3.1: Bir FRP kompozitin gerilme-şekil değiştirme davranışı [40].



Şekil 3.2: İdeal reçine için (a) ve bazı kompozitlerin gerilme-birim uzama davranışının (hasara kadar) karşılaştırılması (b) [41].

### **3.2.4 Reçinelerin Yapışma Özellikleri**

Bir reçinenin fibere yapışma kabiliyeti yüksek olmalıdır. Yapışma kabiliyeti arttıkça, yüklerin reçineden takviyeye yeterli miktarda aktarılması mümkün olur. Ayrıca, gerilme altında fiber-reçine ara yüzeyinde ayrılma veya kırılmalar engellenmiş olur [42].

### **3.2.5 Reçinelerin Tokluk Özellikleri**

Kırılma tokluğu bir malzemenin çalak ilerlemesine gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Kompozitler de bunu ölçmek zordur. Ancak, gerilme-birim uzama eğrisinin kendisi de malzemenin tokluğu hakkında fikirler verir. Genellikle bir reçinenin hasar uzaması arttıkça tokluğunun arttığı söylenebilir. Aksi durumda reçineler gevrek karakter gösterirler ve kolayca kırılırlar. Bu nedenle fiberlerin uzama kabiliyetlerine uyumlu reçine seçimi çok önemlidir.

### **3.2.6 Reçinelerin Çevresel Özellikleri**

Reçinelerin birtakım çevresel etkilere (UV gibi), suya ve agresif maddelere (kimyasallar) dirençlerinin yüksek olması istenir. Özellikle deniz ortamında çalışan kompozitler için bu özellikler önem kazanmaktadır.

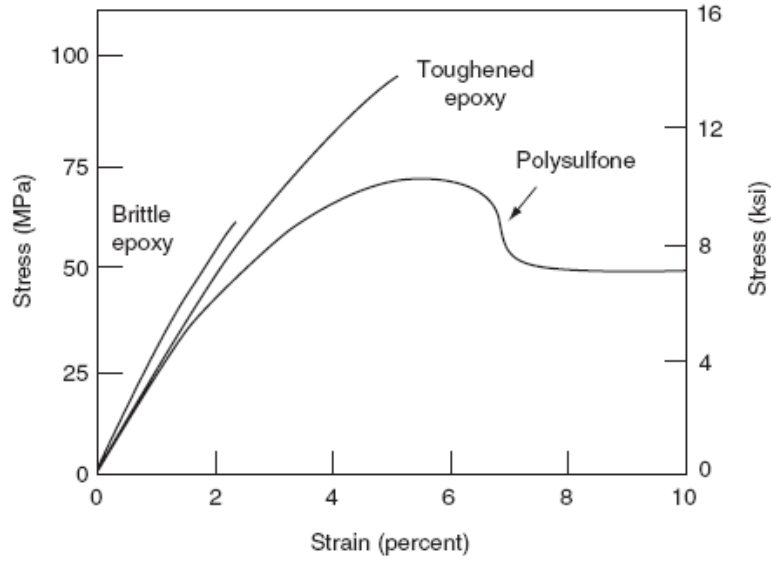
## **3.3 Reçine Çeşitleri**

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan reçineler "polimer" olarak da anılır. Tüm polimerler pek çok basit tekrarlı biriminden oluşan uzun zincirli moleküllerden meydana geldiğinden önemli ortak özellik göstermektedir. Polimerlere genellikle sentetik reçineler veya sadece reçineler de denir. Polimer malzemelerden en çok tercih edilenler doymamış polyester, epoksi, poliamid ve polipropilendir [42].

Polimer maddeler özellikleri ile ilgili ısının etkisine göre, iki türdür. Termoplastikler ve Termosetlerdir. Fiber takviyeli kompozit imalatında kullanılan reçineler bazen polimer olarak anılırlar. Polimerler basit molekül yapıların oluşturduğu zincir yapılarıdır.

### 3.3.1 Termoplastik Malzemeler

Termoplastik malzemeler, metaller gibi, ısıtma ile yumuşar ve sonunda soğutma ile tekrar sertleşir, uygun ısı ile eritilebilir. Termoplastikler dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir malzemelerdir. Her iki durumda malzeme özellikleri üzerinde herhangi bir kayda değer bir etki olmaksızın arzu edilen sıcaklık ölçeğinde yumuşama veya erime noktasına geçiş süreci sıklıkta tekrarlanabilir. Polietilen naylon, polipropilen, termoplastik çeşitlerindedir. Şekil 3.3 Termoaset ve Termoplastik polimerlerin çekme-birim şekil değiştirme eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.3: Termoaset (epoksi) ve termoplastik polimerlerin tensile stres-strain diyagramları [43].

### 3.3.2 Termoaset Malzemeler

Isıtıldıklarında sertleşen ve bu halini sonsuza dek koruyan plastiklerdir. Zincir içinde kovalent, zincirler arası da kovalent bağlara sahiptir. Isıtılınca önce yumuşar fakat yumuşarken aynı anda cross-link (çapraz bağlanma) oluştuğu için sertleşmeye başlar. Kovalent bağlarla bağlı olduğundan tekrar ısıtılınca yumuşatmak mümkün değildir. Çok ısıtılırsa bağlar kopar. Çok sertleşir, bu olaya taşlaşma denir. Termoaset plastikler reaksiyon sırasında ve hala sıvı halde iken kalıplanarak çeşitli şekilde formlara getirilir. Kalıpta reaksiyon biterek, üretilen ürün son halini alır. Reaksiyon sona erdiğinde oluşan ürün katı, dayanıklı bir eşyadır. Cam güçlendirici plastikler olarak kullanılan doymamış polyester reçineler termoasetlere bir örnektir.

Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklıdır. Burada geri dönüşü olmayan bir süreç meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda bile yumuşama olmaz. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmezler. Ayrıca olağan üstü hava şartlarına maruz kalsalar bile ömürleri uzundur [44].

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

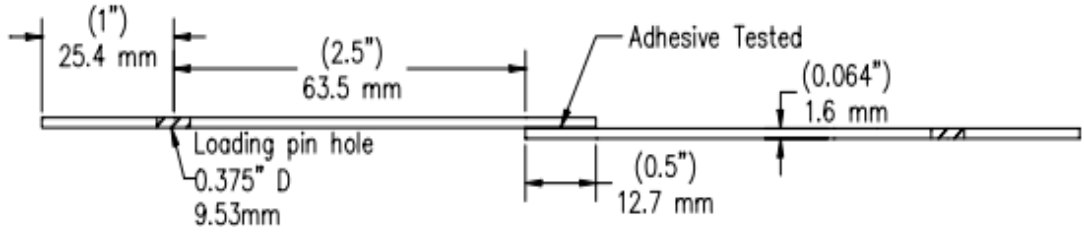
### YAPIŞTIRICILARIN KAYMA GERİLMESİ TESTLERİ İÇİN STANDARTLAR

ASTM, açılımı ‘american standarts for testing material’ şeklinde olan Amerikan standartları kurumudur. Yapısal yapıştırıcılarda kayma gerilmesi test metodları bu ASTM standartlarına uygun olarak yapılmaktadır [45]. Ayrıca ISO yani Uluslararası Standardizasyon Örgütü vardır. ISO ulusal standartlar organları (ISO üyesi kuruluşlar), dünya çapında bir federasyondur. Uluslararası Standartları hazırlama çalışma normal ISO teknik komiteleri aracılığıyla yürütülmektedir [46]. Uluslararası standartların çoğu yapıştırıcı bağlantılarındaki performansının değerlendirilmesinde alüminyum alaşımının kullanılmasını önermektedir. Mesela; ASTM D1002; ISO 4587. Yapıştırıcıların mekanik davranışının belirlenmesinde farklı deneysel metotlar mevcuttur. Bunlar ise; ASTM E229, ASTM D1002, ASTM D3165, ASTM D5656, ISO 11003–2 bazılarıdır. Bu metotlardan ASTM D5656 ile ISO 11003–2 [46] standartları için tanımlanan numune tipleri sayesinde yapıştırıcıların akma dayanımları ve kayma modülleri gibi özellikler tekrarlanabilir ve doğru bir şekilde elde edilir. Bu standartlar ile çekme cihazına uygun bağlanarak yapıştırıcının kayma gerilmesi ve birim şekil değişim eğrileri bulunabilir.

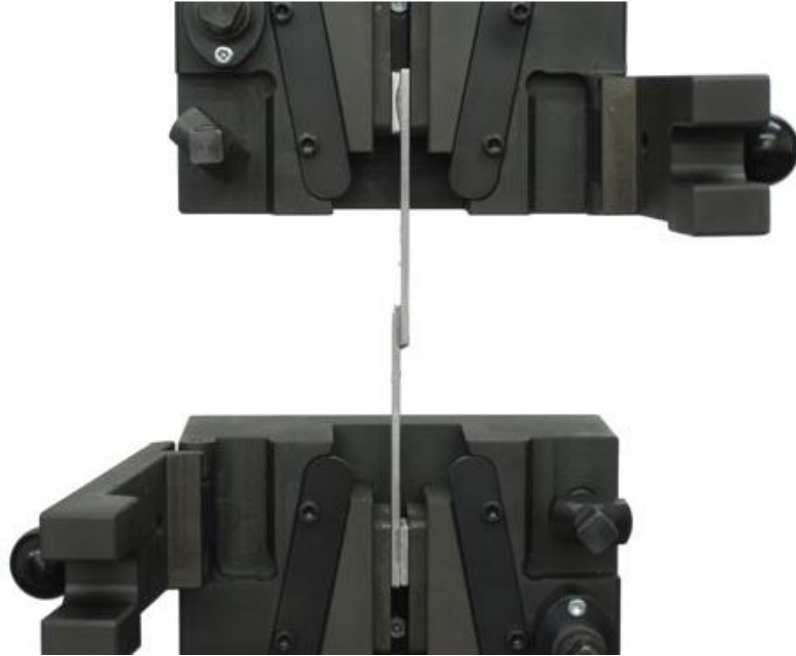
#### 4.1 ASTM D 1002 Test Aparatı

Yapılan testlerde yapıştırıcıların birçoğunda üretici firması tarafından üretici teknik bilgi formlarında, çekme testleriyle verilen mekanik değerlerin elde edildiği testtir. Metallerin yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcıların kayma gerilmesinin elde edildiği test materyalidir [47]. Bu çalışmada yapılan testlerde elde edilen değerlerle, bu standartla yapılmış ve data sheet olarak anılan teknik bilgi formunda verilen değerler kıyaslanmıştır. Bundan dolayı ilk olarak bu metot incelenmiştir.

ASTM D1002 [48] yaygın olarak metaller için kullanılan yapıştırıcılar kayma mukavemetini ölçmek için uygulanır. Bu test Single lap-joint olarak anılan testtir. Şekil 4.1.a'da test numunesinin profili verilmiştir. Şekil 4.1.b'de ise teste hazır bir numunenin çekme cihazına bağlanmış şekli görülmektedir.



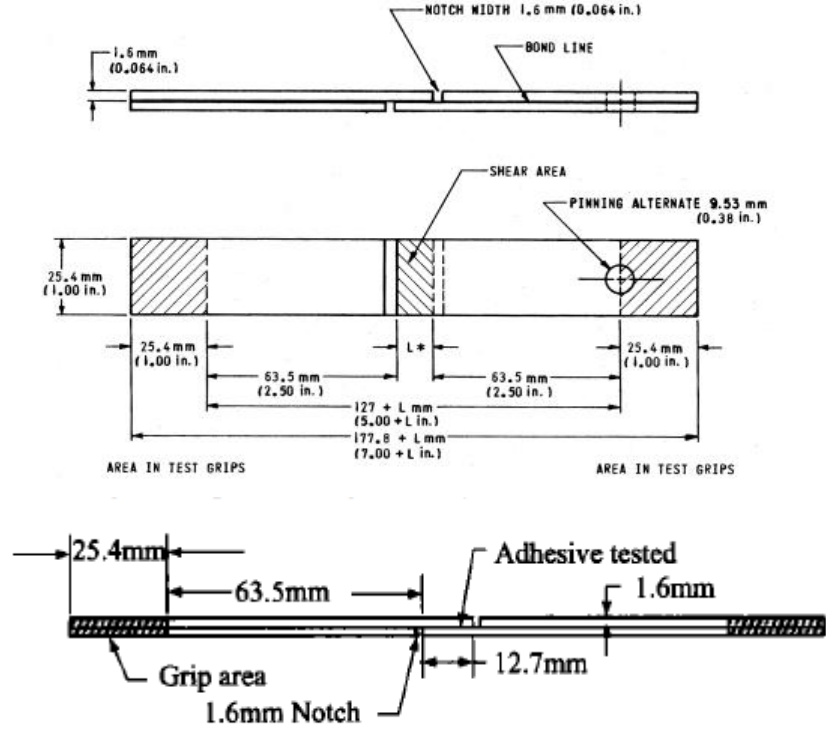
Şekil 4.1.a: ASTM D 1002 test numunesi profili [49].



Şekil 4.1.b: ASTM D 1002 test düzeneği.

## 4.2 ASTM D 3165 Test Aparatı

Bu testte yine lap-joint test türüdür. Daha çok laminalara uygulanan yapıştırıcıların testinde kullanılır. Bu test aparatının Şekil 4.2'de profil görünümü ve ölçüleri gösterilmiştir.



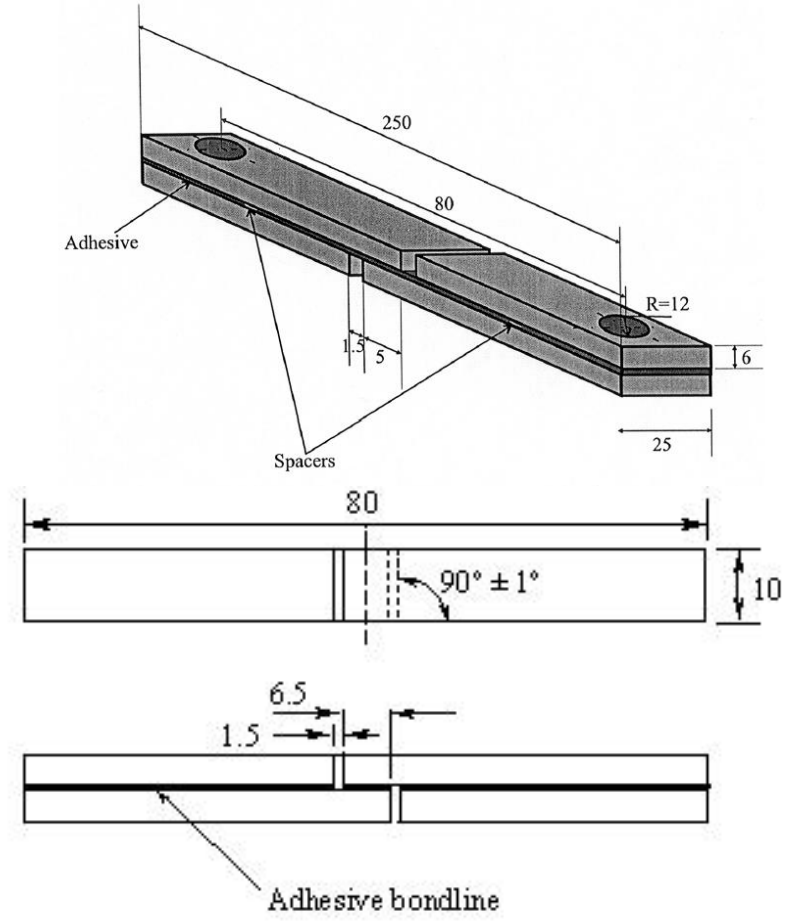
Şekil 4.2: ASTM D 3165 test numunesi profili [49, 50, 51].

ASTM D 3165 test numunelerinde kopma gerilmesi baskısı yük değerleri önemli ölçüde diğer bir test yöntemi olan ASTM D 5656 test numuneler ile karşılaştırıldığında farklılık gösterdiği görülür. Bağlantının örtüşme noktası sonuna yakın kayma gerilmesi dağılımı yüksek iken, bağlantının orta kesme stresi, düşüktür. ASTM D 3165 test numunesi bağlantı parçaları ASTM D 5656 test numunelerine göre daha incedir. Bu durum test esnasında hasar oluşumunda farklılık göstermesine neden olur [44].

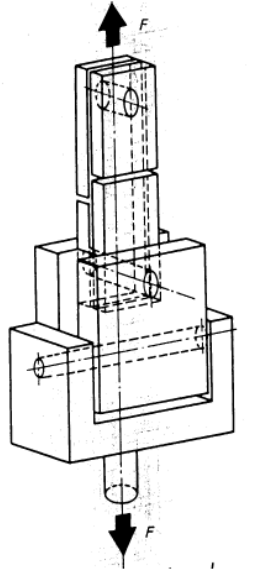
### 4.3 ISO 11003-2 Test Aparatı

ISO 11003-2 yine ASTM D 3165 gibi lamina testi için uygun olan test aparatıdır. Şekil 4.3.a'da test numunesinin profili görülmektedir. Lap-shear testi ile yapıştırıcıların kayma değerleri Şekil 4.3.b'de görülen biçimde test edilerek elde edilir. Kayma dayanımı ve kayma modülü elde edilebilir. Tüm metaller ve plastik ile uyumludur. Yapışma çizgisi üzerinde stres durumu nispeten homojendir. Ekonomik bir numunedir. Bunun yanında çekme cihazı gerekliliği, özel yapıştırıcı sabitleme ekipmanı, gerilme analizi zorluğu gibi negatif yönleri vardır [52].





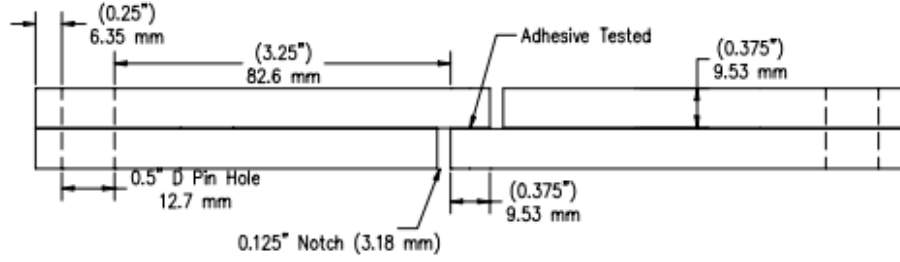
Şekil 4.3.a: ISO 11003-2 test numunesi profili [52, 53].



Şekil 4.3.b: ISO 11003-2 Test numunesi testteki görünümü [54].

#### 4.4 ASTM D 5656 Test Aparatı

Bu test yöntemi yapıştırıcıların kayma gerilme-biçim değiştirme davranışının belirlenmesini sağlar [55]. ASTM D 5656 test numunelerinde (Şekil 4.4) gerilme analizlerinde olduğu gibi, yapıştırıcının kayma gerilmesi yapışma yapılan bölgeye aktarılan yükteki en önemli etkindir. Yapıştırıcının kayma gerilmesi dağılımı bağlantının mekanik davranışını belirler [56].



Şekil 4.4: ASTM D 5656 test numunesi profili [49].

#### 4.5 ASTM D 7078 Test Aparatı

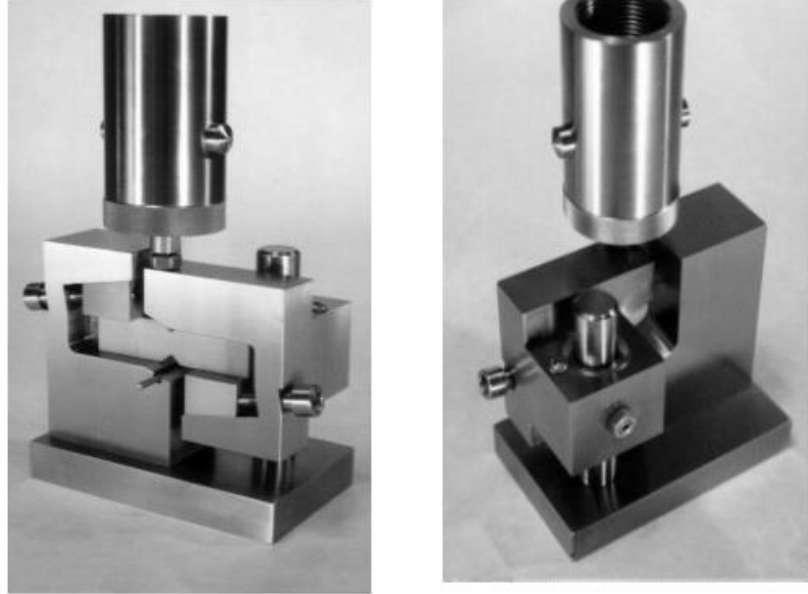
V – Çentikli numunelerin kayma özelliklerinin tespitinde kullanılan aparatır ve numune kayma testi numunesi testinin aparatıdır. Bu test metodu, yüksek elastisite modülüne sahip fiber takviyeli kompozitlerin kayma özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Şekil 4.5'te görülen V- çentikli numune bir çift yükleme aparatıyla yüklenir. Çekme doğrultusunda yük uygulandığında, aparatlar numune yüzeylerinde kayma kuvvetleri oluşturur [45].



Şekil 5.5: V -Çentikli raylı test aparatı (ASTM D 7078)[45].

#### 4.6 ASTM D 5379 (Losipescu)

ASTM D 5379 (Losipescu) standardının bundan farkı alt ve üst kenarlardan yük uygulanmasıydı. V- çentikli test aparatında ise yük, tutucu plakaların bastırıldığı numune yüzeylerine paralel olarak uygulanır. Bu durum daha büyük kayma kuvvetleri uygulanabilmesini sağlar. Bunun yanında şu an kullanılan test metodu, numuneyi ASTM D 5379 test metodundaki V- çentikli numuneye (Şekil 4.6) göre, numuneyi daha geniş bir ölçü alanıyla kullanılmasını sağlar. Her iki test metodunda da, V- çentikli numune kullanımı ölçüm bölgesini genişletir. Kayma gerilmeleri tutucu plakaların bastırıldığı yüzeylerdeki kuvvetlerle bağlantılıdır. Bu şekilde hasar bölgesi V- çentikli olmayan numunelere göre daha uniform bir yapıda olmaktadır.



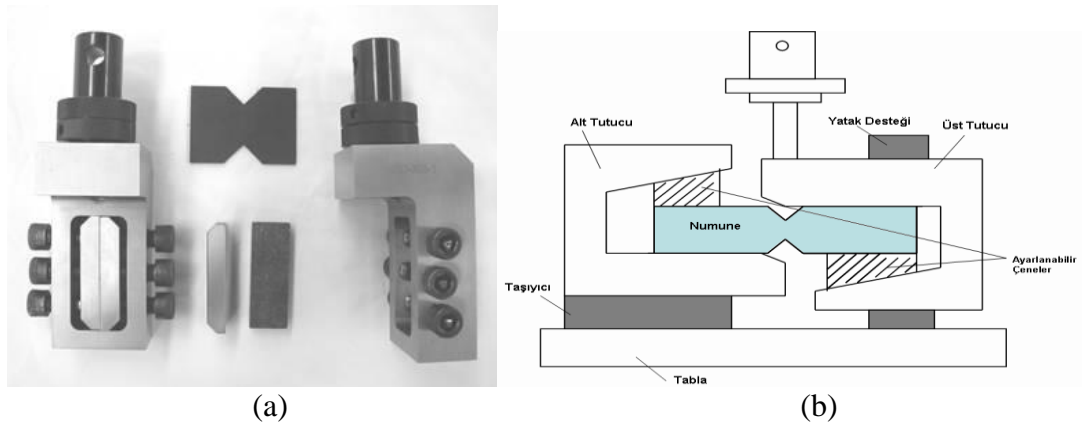
Şekil 4.6: ASTM standard D 5379 Losipescu kayma testi aparatı [45].

ASTM D 4255 ( ray sistemleri ) standart metodundan ASTM D 5379'un farkı ise V- çentikli numunenin bir çift rayın arasına civatalarla sıkıştırılarak numune test edilir. Şekil 4.7'de ASTM D 4255 aparatının üç raylı olanı görülmektedir. ASTM D 5379 test aparatının ray sistemine göre en önemli avantajı numunenin delinmek zorunda olmamasıdır. Sonuçta ASTM D 7078, 4255 eski metodun iyi yönlerini birleştirerek ASTM 5359 daha gerçekçi kayma özellikleri tespiti sağlamaktadır.



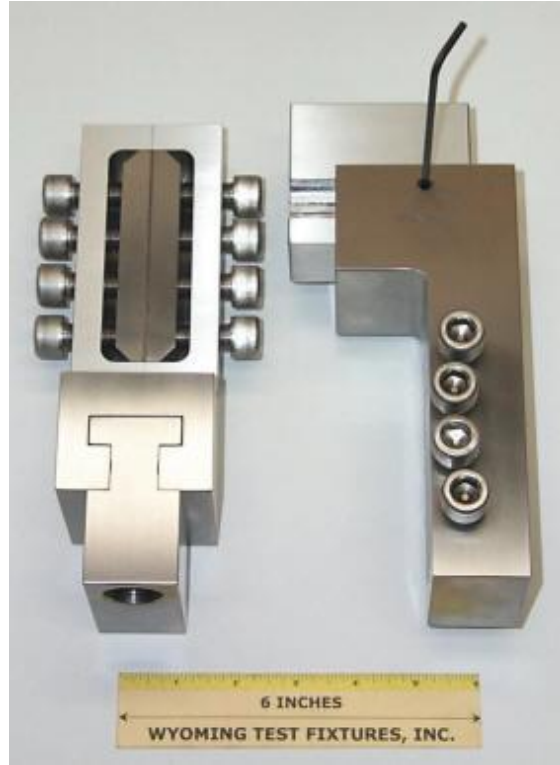
Şekil 4.7: ASTM D 4255 üç raylı kayma test numunesi [45].

Şekilde 4.8’de gösterildiği gibi yüzeylerine tırtır açılmış tutucu plakalar deliklere açılmış vidalar aracılığıyla numuneye doğru baskı yapmaktadırlar. Bu da numuneye delik açma ihtiyacını gidermekte ve yüksek oranda kayma yüklerinin uygulanmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.8: V Çentikli kayma testi elemanları görünümü (a) ve teste hazır numune görünümü (b) [45].

Şekil 4.8a'da V çeltikli testinde kullanılan test elemanları ve şekil 5.8b'de tutucu plakaların montaj edilmiş hali görülmektedir. Burada soldaki kısma dikkat edildiği zaman parçaya kanal açıldığı görülmektedir. Bu kanal numune üst tutucuya yerleştirildikten sonra alt tutucunun hareketi sonrası numunenin bu kanaldan geçerek alt tutucuya yerleştirilme kolaylığını sağlamaktadır. Bu tür aparatlardan başka özel yapıdaki aparatlar tasarlanmış ve imal edilmişlerdir. Şekil 4.9'da özel olarak tasarlanmış ray aralığı genişliği ayarlanabilen bir aparat görülmektedir [45].



Şekil 4.9: V -Çentikli Aparatın genişliği ayarlanabilen test aparatı [45].

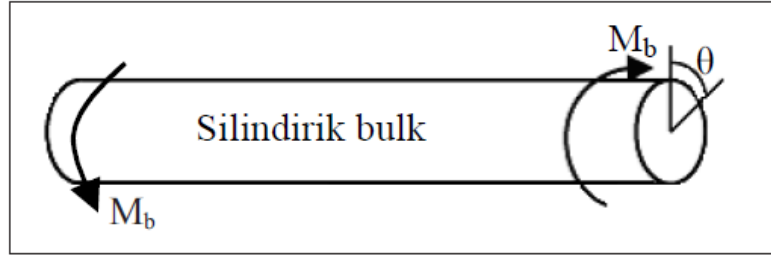
#### 4.7 Yapısal Yapıştırıcıların Kayma Değerleri

Yük altında kayma gerilmesi ve diğer mekanik özellikleri belirlemek için uygulanan testlerin başlıcaları şunlardır [57]:

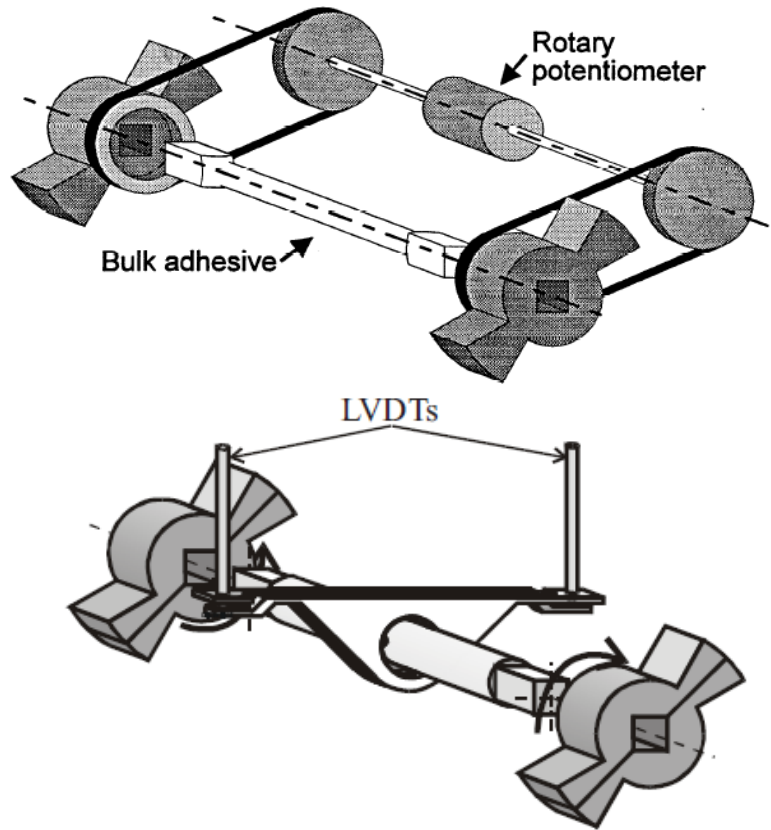
##### 4.7.1 Burulma Yöntemi

Silindirik bulk numuneleri ile yapılır. Test düzeneği bulk test numunelerinde uygulanan metotlarda olduğu biçimde yapıştırıcıyla birbirine bağlanmış silindirik alın üzerine burulma momenti uygulanarak yapılan yöntemdir. Şekil 4.10'da görülen

şekilde test numunesine  $M_b$  burulma momenti tatbik edilerek dönme açısıyla ölçüm uzunluğunun açısal dönmesi bulunur. Bu deney için uygun test ekipmanlarına (Şekil 4.11) ihtiyaç vardır. Tüm yapısal yapıştırıcılara uygulanamaz, küçük şekil değiştirmelerde tercih edilmelidir. Ayrıca plastik şekil değiştirmelerin olduğu meydana geldiği alanda tespit edilen gerilme ve biçim değiştirmelerde tashih gerekliliği önemlidir [31, 58].



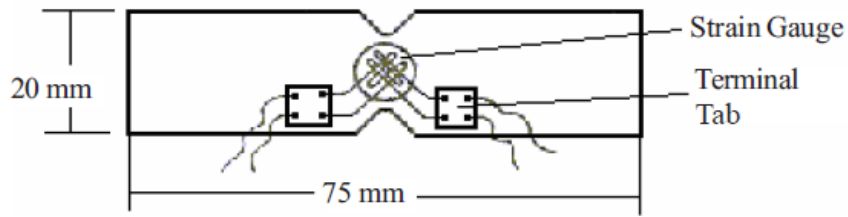
Şekil 4.10: Test numunesine burulma momenti tatbiki [31].



Şekil 4.11: Burulma yöntemi için kullanılan çekme cihazı [31, 57, 58].

#### 4.7.2 Losipescu, Çentikli Kiriş Kesme Yöntemi

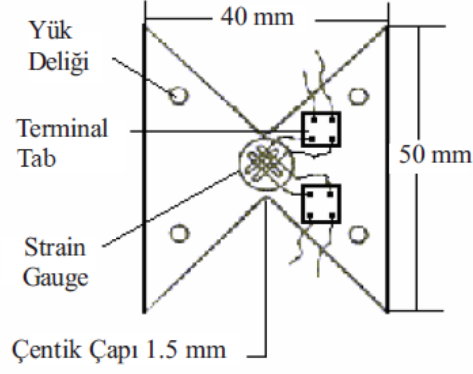
Çentikli bulk test numuneleri kullanılarak yapılan test yöntemidir. Bu test metodunda çentikler arasındaki alanda kayma gerilmesi meydana getirilecek biçimde yük tatbik edilir. Çentikli bölge üstüne bağlanan (Şekil 4.12) “strain gauge”ler ile şekil değiştirmeler tespit edilir (Şekil 4.12). Çentikli kısımda büyük bölgesel gerilme yığılmaları bu numune türünde karşılaşılan en önemli sorundur. Gevrek malzemelerde erken hasar oluşumu olacağından şekil değiştirme ve kayma gerilmesi tespit edilemez [31, 59].



Şekil 4.12: Losipescu V çentikli test numunesi [31].

#### 4.7.3 Arcan, Çentikli Levha Yöntemi

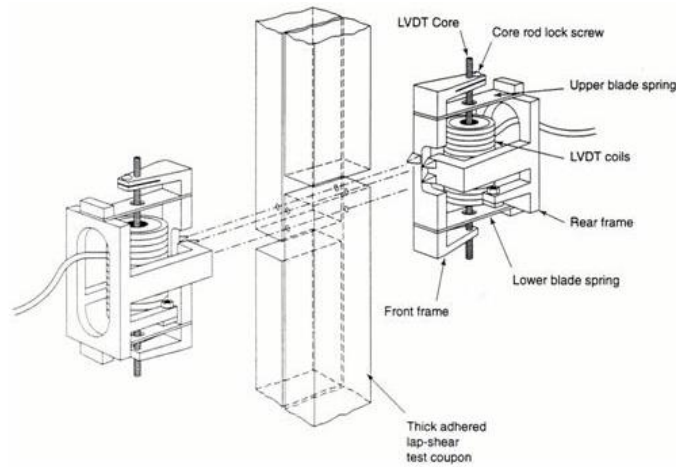
Yapısal yapıştırıcılar ve kompozit malzemelerde uygulanan bir metottur. Bu metot Arcan geliştirmiştir. Şekil 4.13’de Arcan test numunesi görülmektedir. Bu metotla yapısal yapıştırıcıların ve kompozit malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilir. Ayrıca daha ince bulk numunelerine uygulanabilir. Çentikli levha metodundaki bulk numuneleriyle aynı geometriye sahip metal malzemelerin yapıştırıcıyla birleştirilmesi sonucu test numunesi elde edilerek deneyler bu numunelerle yapılır. Benzer şekilde bu yöntemde de özel dizayn edilmiş çekme cihazına ihtiyaç duyulur. Strain gaugeden kaynaklanan hatalar bu yöntemde haiz çekme cihazları kullanarak giderilir [60]. Bu test metodu %10 değerinin altındaki kayma gerilmesi ve şekil değiştirmesi gösteren yapısal yapıştırıcılar için oldukça doğru sonuçlar elde edilmektedir [59]. Yapıştırılan malzemede oluşan deformasyonlar dikkate alınmalıdır. Buna göre düzeltmeler yapılmalıdır. Ölçülen şekil değiştirmelerin çok doğru sonuçlar vermemesi bu yöntemin olumsuz yönüdür. Bu sebepten dolayı sert yapıştırıcıların bulk numunelerinde kullanılması daha uygundur [59]. Bu yüzden sert yapıştırıcılarda bulk numunelerin kullanımı daha fazla tercih edilir.



Şekil 4.13: Arcan test numunesi [31].

#### 4.7.4 TAST Yöntemi

Yapıştırıcıların uygun tasarımlarda kayma gerilmesi-biçim değişiminin tespitinde çok kullanılan yöntemlerden biride TAST (Thick Adherend Shear Test) yöntemidir. Şekil 4.14'te test konumundaki durumu görülmektedir. Bu metot ile , çekme yüküne maruz tek tesirli bindirme bağlantısından yapıştırıcının kayma özellikleri elde edilir. Kayma gerilmesi dağılımı daha düzgün olarak elde edebilmek amacıyla kısa bindirme, kalın ve rijit yapıştırılan malzemelerden oluşan tek tesirli bindirme bağlantı numunesi tercih edilir. Numune üzerine yapıştırmanın olduğu kısma bağlanan ekstensometre kullanılarak çekme kuvvetiyle biçim değiştirme ve diğer kayma değerleri elde edilir. Yapılan test numunenin yüklemeye başlanmasından hasar meydana gelen zamana kadar sürer. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme verilerinden kayma gerilmesi-biçim değiştirme eğrisi ve diğer kayma özellikleri elde edilir [47].



Şekil 4.14: TAST (Thick adherend shear test) test ekipmanı [52, 57].



Bu testlerde yapılan işlemler mekanik açıdan incelendiğinde;

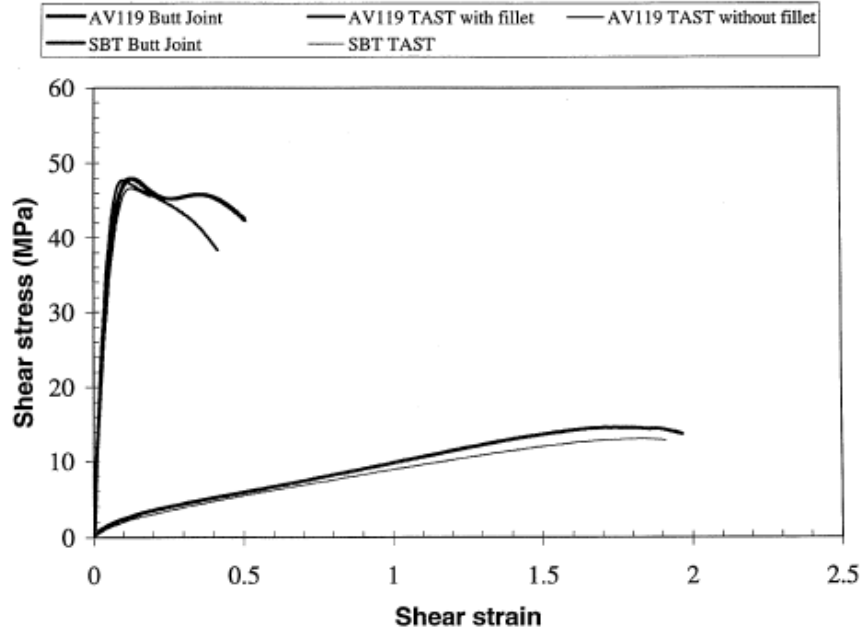
Kayma testinde kullanılan yapıştırıcının bilinen özelliklerinin sağlıklı bir biçimde ortaya çıkarılabilmesi için, alındığı malzemeyi tam olarak temsil etmesi şarttır. Ayrıca şu hususların bilinmesi de sonuçların irdelenmesi açısından gereklidir:

Kayma deneyine tabii tutulacak reçinenin şekil ve boyutları standartlarda belirtilmelidir. Test sonuçlarının belirli bir standarta uyma zorunlulukları vardır. Sonuçlar reçinenin uygulandığı boyut ve biçimine göre değişiklik arz eder. Bu çalışmalardan, bilgilerden ve açıklamalardan sonra yapısal yapıştırıcılarla ilgili çalışmaların bazıları bakılırsa;

F. Kadioğlu vd. (Kadioğlu, F. vd.2000) yaptığı çalışmada Burulma aleti ile deney yapılmış ve sonuçları gözlemlenmiştir. Ekstensometre kullanılarak yapılan testte belirlenen çeşitli gerilim değerleri ile çıkan sonuçlar kaydedilmiştir. Hangi gerilim değeri ne kadar bir değişim değeri meydana getirmiş ve bunlar tespit edilmiştir. Bahsi geçen çalışmada AV119, Epoksi 7838 B/A, 3M 9245 ve CIBA gibi geleneksel yapıştırıcıların kayma gerilmesi davranışları incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen veriler yapıştırıcı çeşitlerine göre farklılıklar göstermiş ve çalışmada bu özellikler üzerinde yorumlarda bulunulmuştur [61].

Kadioğlu (2002) vd. yaptığı diğer bir çalışmada yapısal yapıştırıcılarla belirli kalınlıkla yapıştırılmış malzemeye kayma testi uygulanarak yapılan çalışmada beş ayrı yapısal yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu çalışmada TAST aparatı kullanılmıştır [53]. Burulma testi kullanılarak elde TAST uzama ve kayma değerlerinin ölçülmesi için uygun olduğu gösterilmiştir. Modifikasyon olmaksızın test yapıştırıcı özelliklerini tespit edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan beş yapıştırıcıların davranışları ve diğer değerler bu çalışmada sunulan sonuçlar ile TAST yöntem tekrarlanabilir olduğu görülmüş ve yapışkan türleri ve yapışkan özellikleri geniş bir aralığı için yeniden yapılabilir olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamlı çalışmanın sonuçlar ile yapışkan kayma verilerini oluşturmak mümkündür. Ayrıca, burulma testi ve bulunan eğrilerin tutarlı olduğu tespit edilmiş ve test edilen yapıştırıcıların aynı davranışı gözlenmiştir [53]. Yapılan testler yani deneyler öncesi farklı çalışmaların bakış açıları çalışmaya ışık tutmuştur. Bu gibi çalışmalar ışında yapılmış olan test aparatında farklı yapıştırıcılar test edilmiş fakat yaptığımız test aparatında bu çalışma için yapıştırıcı kalınlığı makul seviye olan 0,5 – 3 mm aralığından 2 mm seçilmiş ve aparatımız bu tüm yapıştırıcılarla bu aralıkta test yapılmıştır. Bu çalışmada test aparatından alınan

sonuçlarla grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.15'te Kadığolu (2002) vd. yaptığı beş yapıştırıcılı çalışmanın shear stress ve shear strain grafiği örnek olarak verilmiştir.

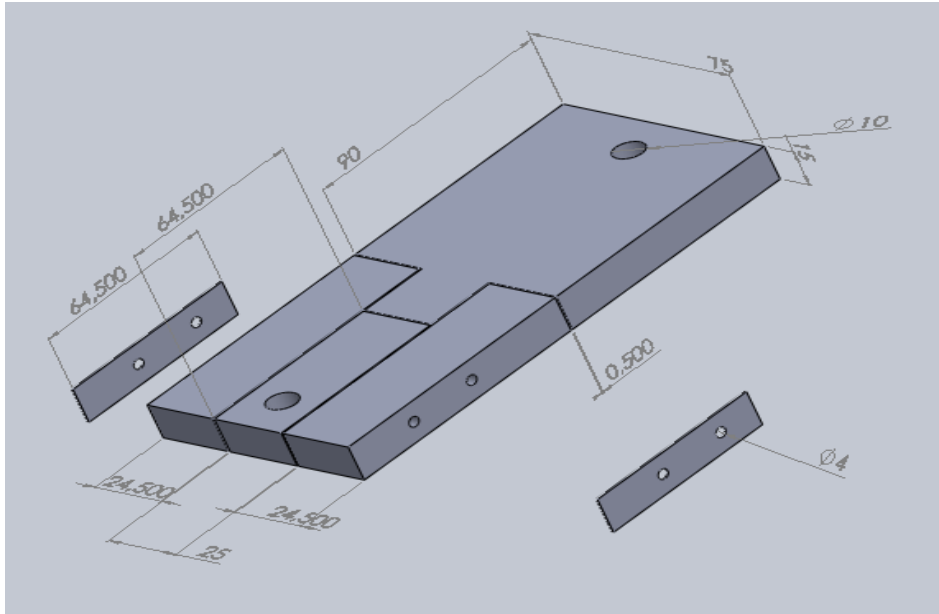


Şekil 4.15: Beş yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme (Shear stress-Shear strain) grafiği [59].

## BEŞİNCİ BÖLÜM

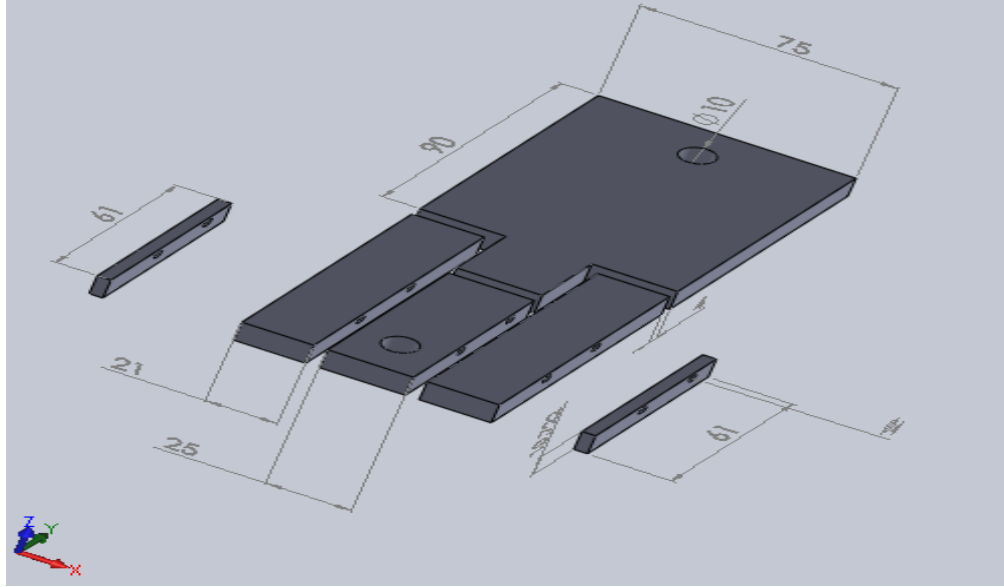
### TASARIM VE YÖNTEMLER

Bu çalışma öncesi yapılan çalışmalar incelenmiştir. Dünyada kullanılan belli başlı standartlar vardır. Bu standartların başında ASTM ve ISO standartları gelmektedir. ASTM ve ISO standardında bazı testler göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada overlap metodu yani üst üste bindirme olarak bilinen yapıştırma yöntemine uygun bir tasarım yapılmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı, yapışma yüzey alanı ve yeni tasarlanan aparatın test için uygun olması yapılan çalışmanın başlangıcını teşkil etmiştir. Şekil 5.1’de görülen tasarım SolidWorks paket programı kullanılarak yapılmıştır.



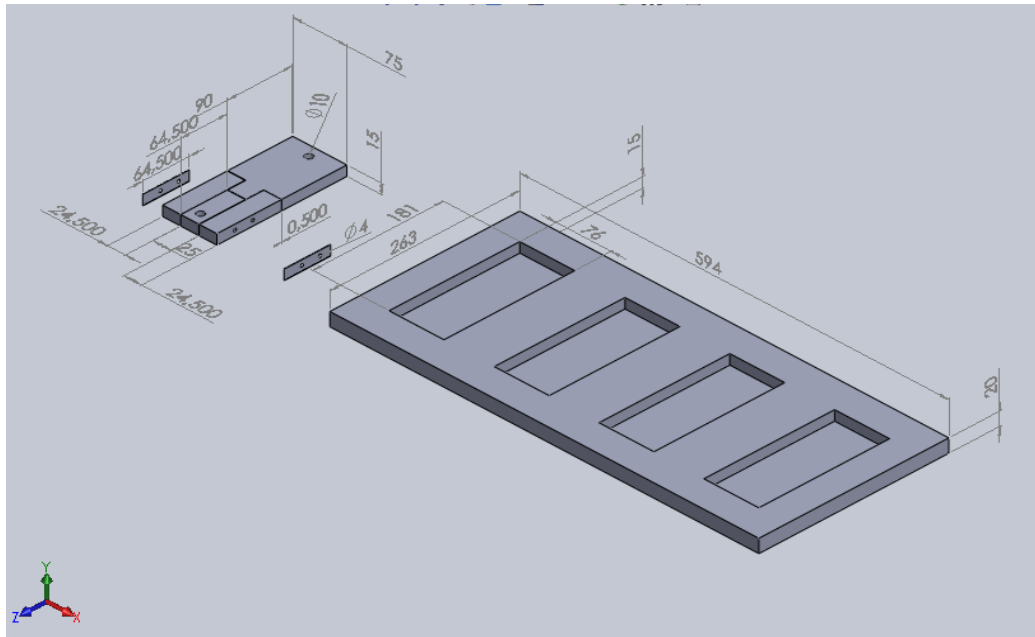
Şekil 5.1: İlk tasarımın teknik detaylı çizimi.

Şekil 5.2’de teknik detayları görünen test aparatına yapıştırıcının uygulanabilmesi için Şekil 5.3’de görülen kalıp tasarlanmıştır. Bu ve sonraki bütün tasarımların teknik detaylarının görülmesi için SolidWorks paket programı kullanılmıştır.



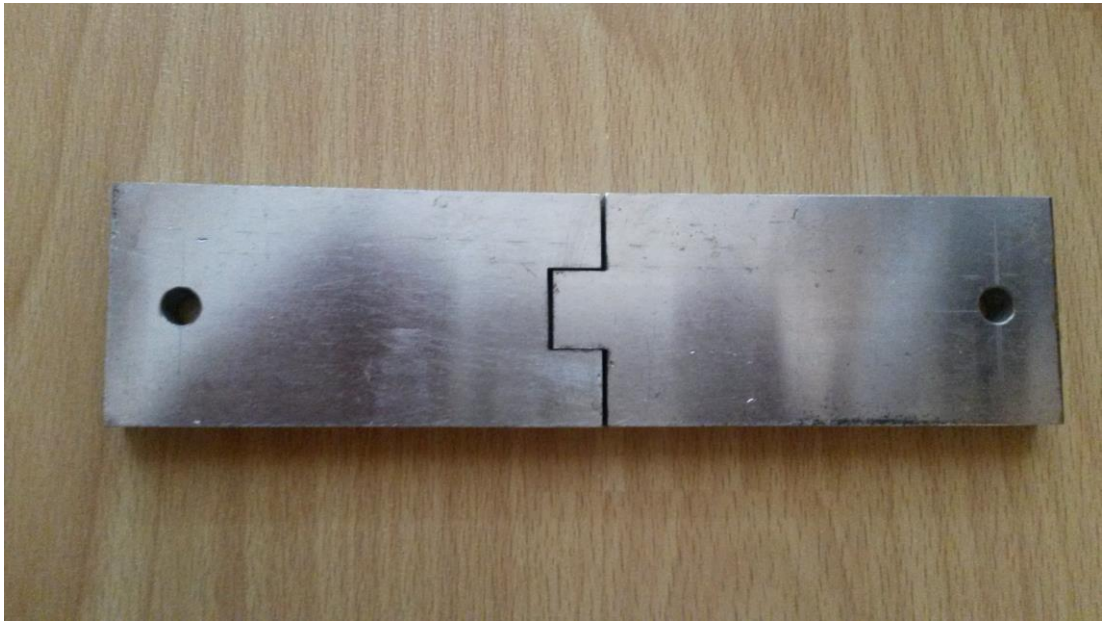
Şekil 5.2: İlk tasarım SolidWorsk çizimi.

Test kalıbı toplam dört aparatı alacak şekilde tasarlanmıştır.Şekil 5.3’te test aparatı ve kalıp tüm ölçüleriyle görülmektedir.



Şekil 5.3: İlk aparat tasarımı ve kalıbı.

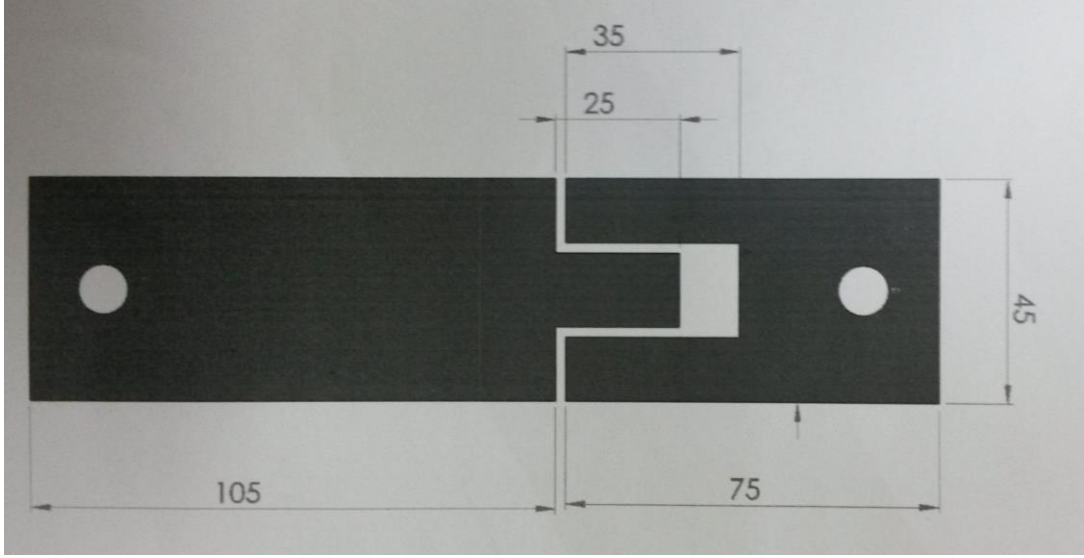
Bu tasarımda çalışmada kullanılacak test aparatının bir prototipi çizilmiş ve yapıştırıcı kalınlığı şimler ve vida yardımıyla ayarlanabilecek bir aparat tasarlanmıştır. Bu aparatın testlerdeki davranışları ve olabilirliği tartışılmıştır. Öncelikle yapılacak çalışmadaki aparatın kullanılabilirliğinin test edilmesi ve başarısından emin olunduktan sonra bu derecede geniş kapsamlı bir çalışmaya başlanması daha uygun görülmüştür. Bu düşünce doğrultusunda aparatta yapılan kalınlık ayarlama düzeneği bu çalışma dışında bırakılmıştır. Yerine, iki parçadan oluşan yeni bir tasarım çizmeye karar verilmiş, bu fikir doğrultusunda sabit yapıştırıcı kalınlığında çizim yapılmıştır. Bu tasarım yine SolidWorks programında çizilmiştir. Sadece diğer tasarımdaki ayarlanma kısmı iptal edilerek 0,5 mm yapıştırıcı kalınlığına uygun imalat çeliğinden CNC tornada Şekil 5.4'te görülen protatip aparat üretilmiştir. Bu aparat, Şekil 5.1'de görülen ilk tasarımdan daha sade bir tasarımdır.



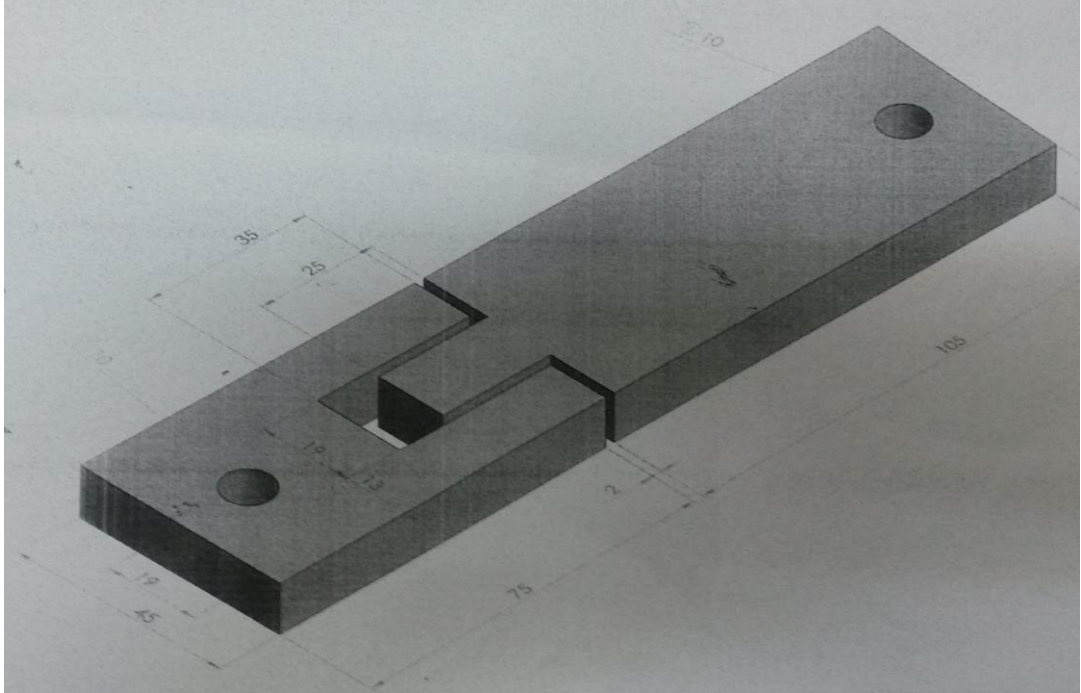
Şekil 5.4: İlk protatip test aparatı.

Bu ilk aparatın ortaya çıkmasıyla yapılacak teste uygunluğu ve yapıştırıcı kalınlığının çok az olması çalışmanın hassasiyetini çok arttırması ilk uygulama için tercih edilen bir durum değildir. Ayrıca aparatın yapıştırıcı uygulaması planlanan aralığın üst tarafında boşluk olması ve yapıştırıcı uygulanacak yüzey alanı ve kalınlığının net olarak belirlenmesi için tasarımda revizyonlar yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca aparatın çelikten yapılmasının saklama şartları ve diğer

hususlardan dolayı tartişılmış ve alüminyum olmasının daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Şekil 5.5.a. ve b’de görölen yeni tasarımı yapılmıştır.



Şekil 5.5.a: Test aparatının SolidWorks programı ile nihai çizimi.



Şekil 5.5.b: Test aparatının SolidWorks programı ile nihai çizimi.

CNC tornada Şekil 5.5.a,b’deki çizim imal edilmiştir. Bu defa çelik kullanılmamış yerine alüminyum 6013 serisinden 10 mm kalınlığındaki lamadan

(Şekil 5.6.a) imal edilmiştir. Yapıştırıcı uygulanacak yüzey kalınlığı 2 mm olarak düşünülmüştür. Neticesinde Şekil 5.6.b'deki aparat yapılmıştır.



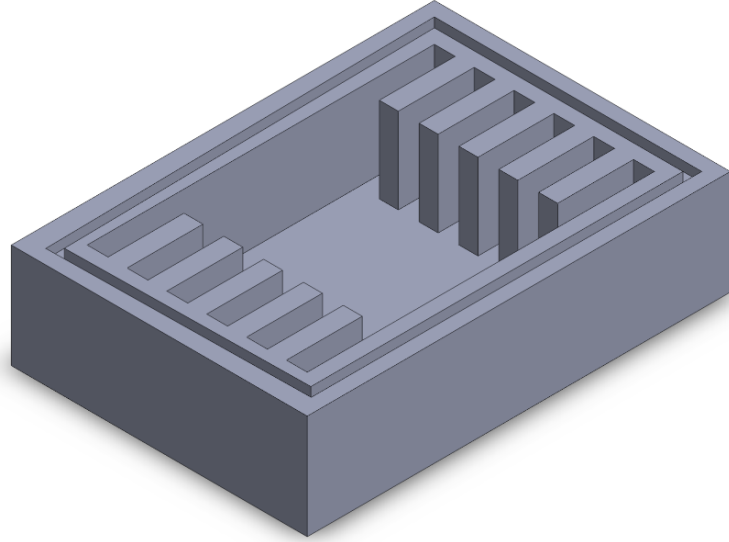
Şekil 5.6.a: Yeni aparatın işlenmemiş hali ve sağda işlenmiş hali.



Şekil 5.6.b: Reçinelerde kayma testi uygulanacak yeni aparat.

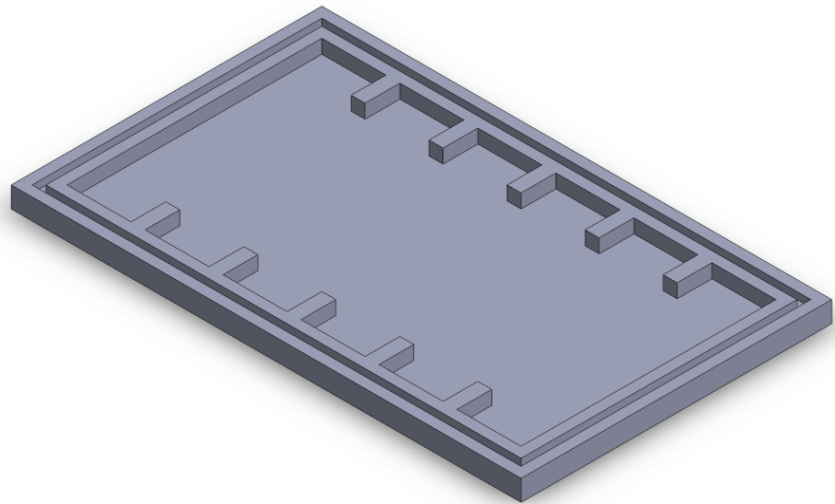
Çizimi yapılan aparatın üzerinde gerekli düzenlemeler hassasiyetle teorik olarak yapılmıştır. İlk yapılan çizim imalat çeliğinden üretilmiş, yapılan ilk aparatta uygulamada çıkabilecek olumsuzluklar düşünülerek çizimde tadilatlar yapılar nihai tasarım olan Şekil 5.5.b'de görülen tasarım yapılmıştır. Test numunesi imal edilmiştir. Bu çizime göre alüminyum malzemedan bir numune üretilmiş(Şekil

5.6.b), üretilen bu numuneye yapıştırıcının uygulanması aşamasına gelinmiştir. Bu aşamada en önemli soru yapıştırıcının nasıl uygulanacağı sorusudur. Şekil 5.7’de görülen dikey kalıp tasarlanmıştır.



Şekil 5.7: Dikey-yanal aparat test kalıbı.

Bu tasarım değerlendirilirken; likit olan yapıştırıcı için dikey-yanal olarak yapılacak bir uygulamaya uygun olmayacağı kanaati oluşmuştur. Test etmek amacıyla imalat çeliğinden yapılmış olan numuneye uygulanmıştır. Fakat sıvı olan yapıştırıcının akma durumundan dolayı bu şekilde uygulanamayacağı görülmüştür.



Şekil 5.8: Nihai yatay test aparatı kalıbı çizimi.



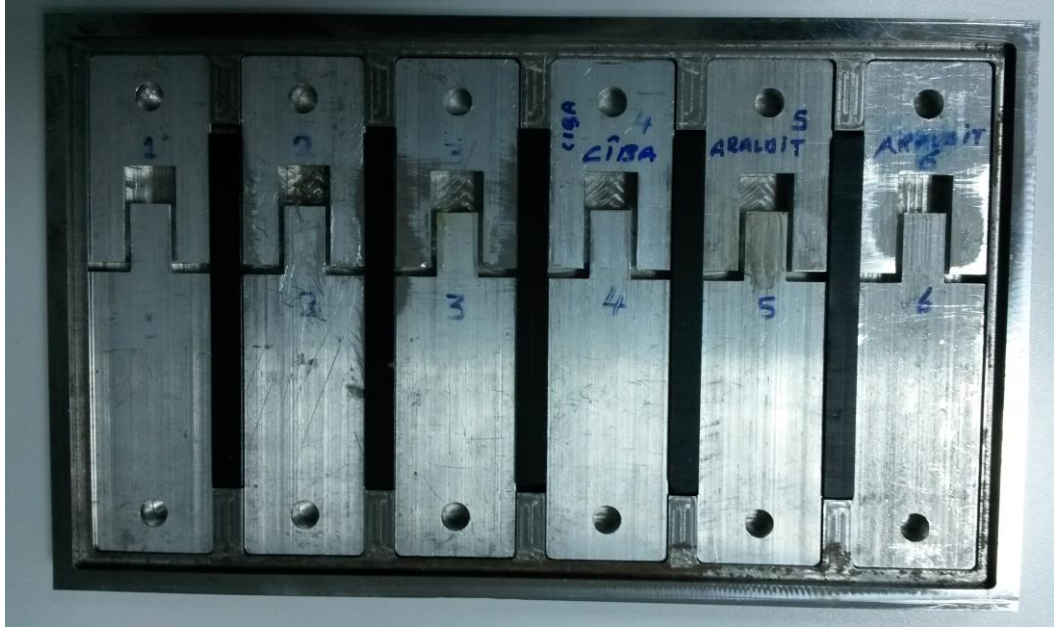
Aparatın ekstensometre ile bağlantısı için aparatın merkez noktasına gelecek şekilde üst ve alt parçaların sınır noktalarına bağlama delikleri (Şekil 5.5.a) açılmıştır. Bu sırada aparata yapıştırıcı uygulanırken uygulanan noktadan hareketten dolayı dengesiz bir kalınlık oluşmuş verimli olmamıştır. Bu durumda bir de aparat için kalıpla tasarımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. SolidWorks programında dikey bir kalıp çizilerek yeniden gözden geçirilmiş fakat uygun görülmemiştir. Yatay bir kalıp çizilmiştir. Bu kalıp tasarımı diğer tasarıma göre uygulanabilir görülmüş ve Şekil 5.8’de görülen kalıp çizilmiştir. Yapıştırma kalıbının için imalat çeliğinden yapılması tercih edilmiştir. Çeliğin güçlü yapısı ile kalıp olarak kullanılmasının alüminyuma göre daha uygun görülmüş, imalat 1040 çeliği bütün olarak tornaya verilerek tasarlanan kalıp imal edilmiştir.

Bu çizimdeki ufak değişikliklerle test aparatı kalıbı CNC tornada tek parça yapı çeliğinden üretilmiştir.

Test aparatı kalıbın içine yerleştirilmesi sırasında esneklik olması açısından konulmuş olan boşluklar için bu boşluğa uygun fiber çubuklar (Şekil 5.9) hazırlanmıştır. Çizilen kalıp altı adet test aparatını alacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.9: Test aparatı kalıbı ve fiber çubuklar.



Şekil 5.10: 6 Adet test numunesinin kalıba yerleştirilerek yapıştırıcı uygulamaya hazır haldeki durumu.

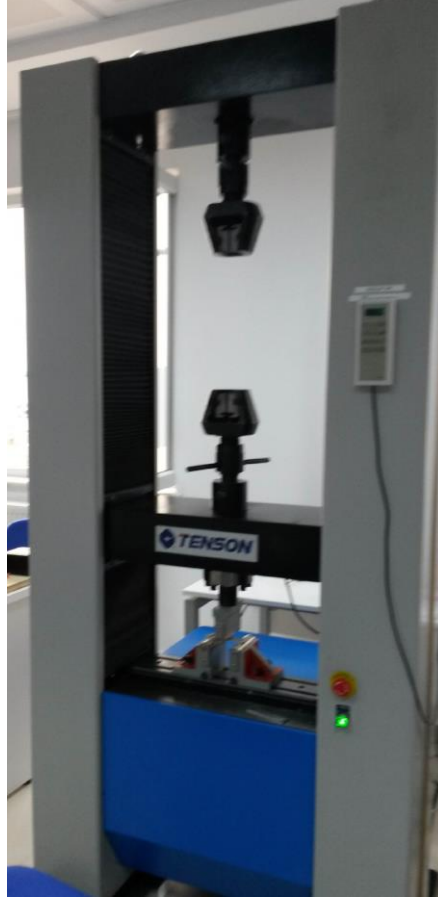
Test numuneleri ve kalıbı hazırlandıktan sonra kullanılacak yapıştırıcılar belirlenmiştir. Araldit 2015 ve Hysol EA 9309 NA testlerde kullanılmıştır. Bu iki yapısal yapıştırıcının dışında Hysol EA 934, Hysol EA 956 NA ve Araldite Standart Yapısal Yapıştırıcı, Ciba gibi yapıştırıcılarda deneme numuneleri olarak test edilmiş çalışmada derinlemesine incelenmemiştir. Yeni tasarlanan aparatla ilgili çeşitli bilgiler vermiştir.

Yapıştırıcıların özellikleri genel olarak bakıldığında; bu yapıştırıcılar, epoksi tabanlı çift komponentli belli oranlarda karıştırılan yüksek mukavemetli, havacılıkta bağlantı yapmak, kompozit üretiminde kullanılmak üzere üretilmiş yapısal yapıştırıcılardır. Bunlar aynı zamanda birçok alanda havacılık, otomotiv, metal, kauçuk, ahşap, fiber ve bunun gibi birçok alanda kullanılan yapıştırıcılardır. Her yapıştırıcının ayrı ayrı testi ve kısımları olduğundan o kısımlarda incelenecektir.

Bilgisayar kontrollü çekme cihazına bağlanan test numunesi çekme işlemine başlamadan önce; çekme hızı ve zamanı gibi değerler bilgisayara girilir. Bu değerlerin tüm testlerde sabit olması alınan verilerin bütünlüğü açısından önemlidir. Testin başlamasından bitimine kadar bilgisayara veriler kaydolur ve görsel olarak veriler izlenir. Bu veriler çekme kuvveti, LVDT'lerden gelen deplasman verileridir.

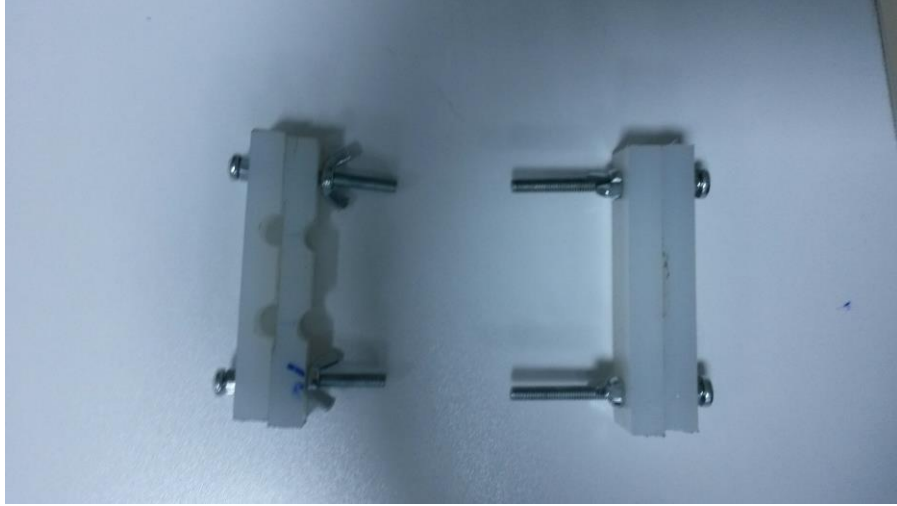
Elde edilen verilerin kayma gerilmesi ve biçim değiştirme değerlerine dönüştürülmesi 7. Bölüm "Deney Sonuçları ve Açıklamalar" bölümünde ele alınmıştır.

Testler Türk Hava Kurumu Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Burada bilgisayar kontrollü Universal Tenson çekme cihazı, (Şekil 5.11. Ektensometre) ve deplasmanların ölçümü için LVDT kullanılmıştır (Şekil 5.12). LVDTleri aparata bağlamak için bir bağlantı elemanı tasarlanmıştır.



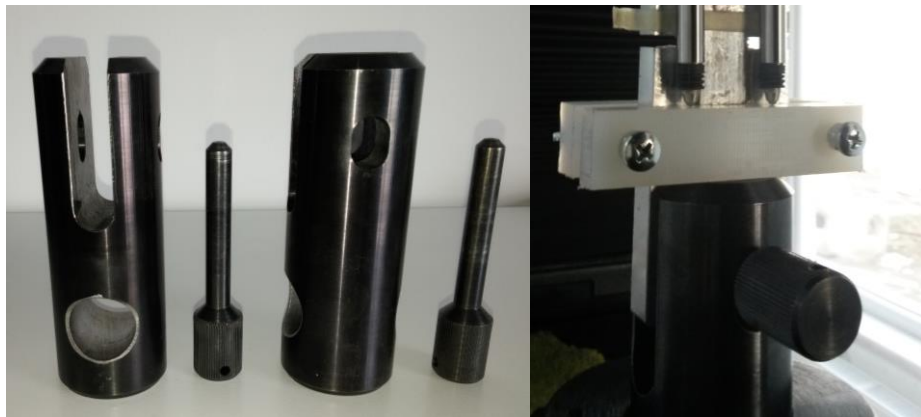
Şekil 5.11: Bilgisayar kontrollü çekme cihazı.

Bu bağlantı elemanının LVDT'lerin zarar görmeden sabitlenmesi için plastik malzemedeki bağlantı elemanı üretilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12: LVDT bağlama elemanı.

Test aparatını Ekstensometreye bağlamak için başka bir yardımcı eleman ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bağlama elemanı aparat tasarlanırken bağlamaya uygun olarak dizayn edilebilirdi. Fakat bu durumda aparatın boyu uzamış olacak gereksiz bir şekilde aparatta büyüme meydana gelecektir. Aynı zamanda 6 adet test numunesinin büyümesiyle birlikte belli bir ağırlığa sahip olan aparat kalıbının büyümesi anlamına gelmektedir. Aparatın ve kalıbın büyümesi istenilen bir durum değildir. Daha fazla yer kaplaması ve test kalıbının taşınmasında güçlükler neden olmaktadır. Bu durum kullanım kalitesi açısından önemlidir. Bunun için aparatın temel özellikleri ve çekme dengesi gözetilerek başka test numunelerinde de kullanılacak alt ve üst çene için bir adet olmak üzere bir çift şekil 5.13'deki ara parçanın tasarımı ve ardından imalatı yapılmıştır.



Şekil 5.13: Test aparatını çekme cihazına bağlayan ara parça.

Tasarıma uygun olarak numuneleri (Şekil 5.6.b), test kalıbı (Şekil 5.9), LVDT sabitleyici (Şekil 5.12) ve ektensometre aparat bağlantı elemanını ara parça (Şekil 5.13) üretimi yapılmıştır. Test için gerekli yapıştırıcılar ve test ekipmanları hazır olmuştur.

İlk uygulanan yapıştırıcı, deneme mahiyetinde Araldite olmuştur. İlk uygulamada yedirme yöntemi üç aparata uygulanarak laboratuvarında bulunan fırında 66 derecede 2 saat süreyle kür edilerek (Şekil 5.14) test edilmiştir.



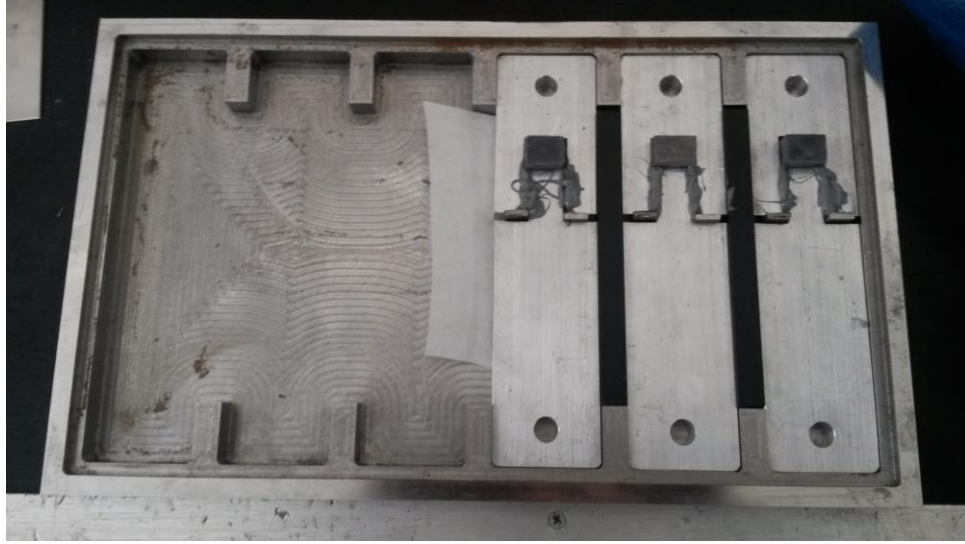
Şekil 6.14: Yapıştırıcının fırında kür edilmesi.

Burada test numunesi ile oluşturulan yapıştırıcı bağı ve testteki tepkisi en çok merak edilen husus olmuştur. Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te yapıştırıcının ilk uygulaması ve aşamalarının görünüşleri mevcuttur. Burada deneyin ilk aşamaları gösterilmiştir.



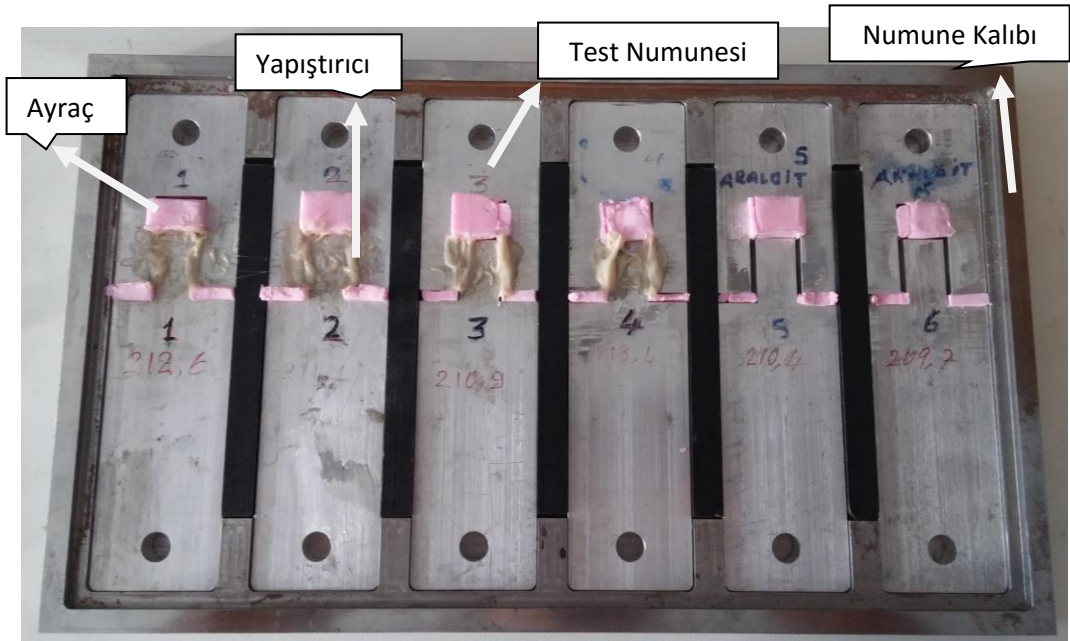
Şekil 5.15: Aparatların kalıba yerleştirilmesi.

Yapıştırıcının hazırlanmasında yapıştırıcının ve katalizörünün belirtilen oranlarda karışımı yapılarak uygulamanın yapıldığı bağlantı noktasına uygulanır. Şekil 5.16'te ilk uygulamada spatula ile yedirme yöntemi uygulanmıştır.



Şekil 5.16: Aparatlara Araldite yapıştırıcının uygulanması.

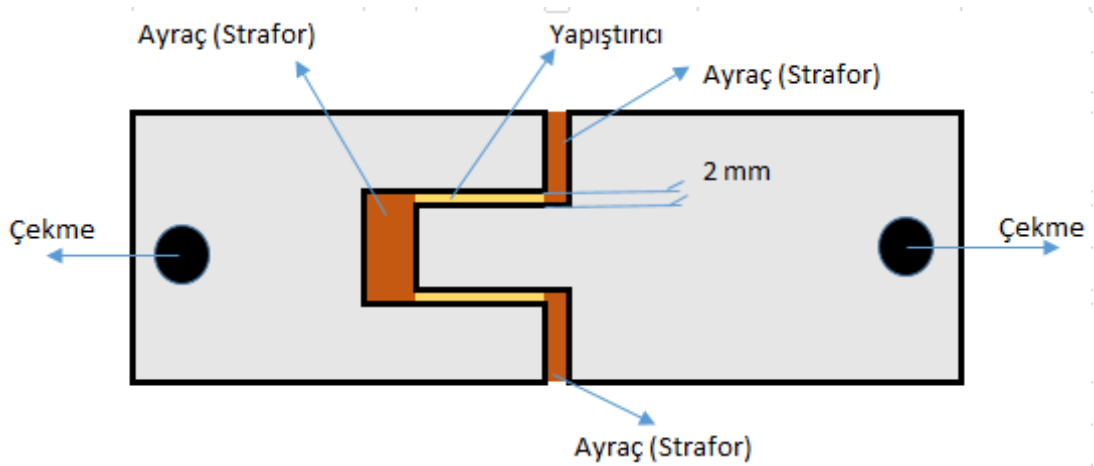
Fakat daha sonraki uygulamalarda enjeksiyon yapılarak yapıştırıcının bölgeye eksiksiz uygulanması sağlanmıştır. Enjeksiyon yöntemi Araldit 2015 yapıştırıcı uygulamasında da başarıyla (Şekil 5.17) uygulanmıştır.



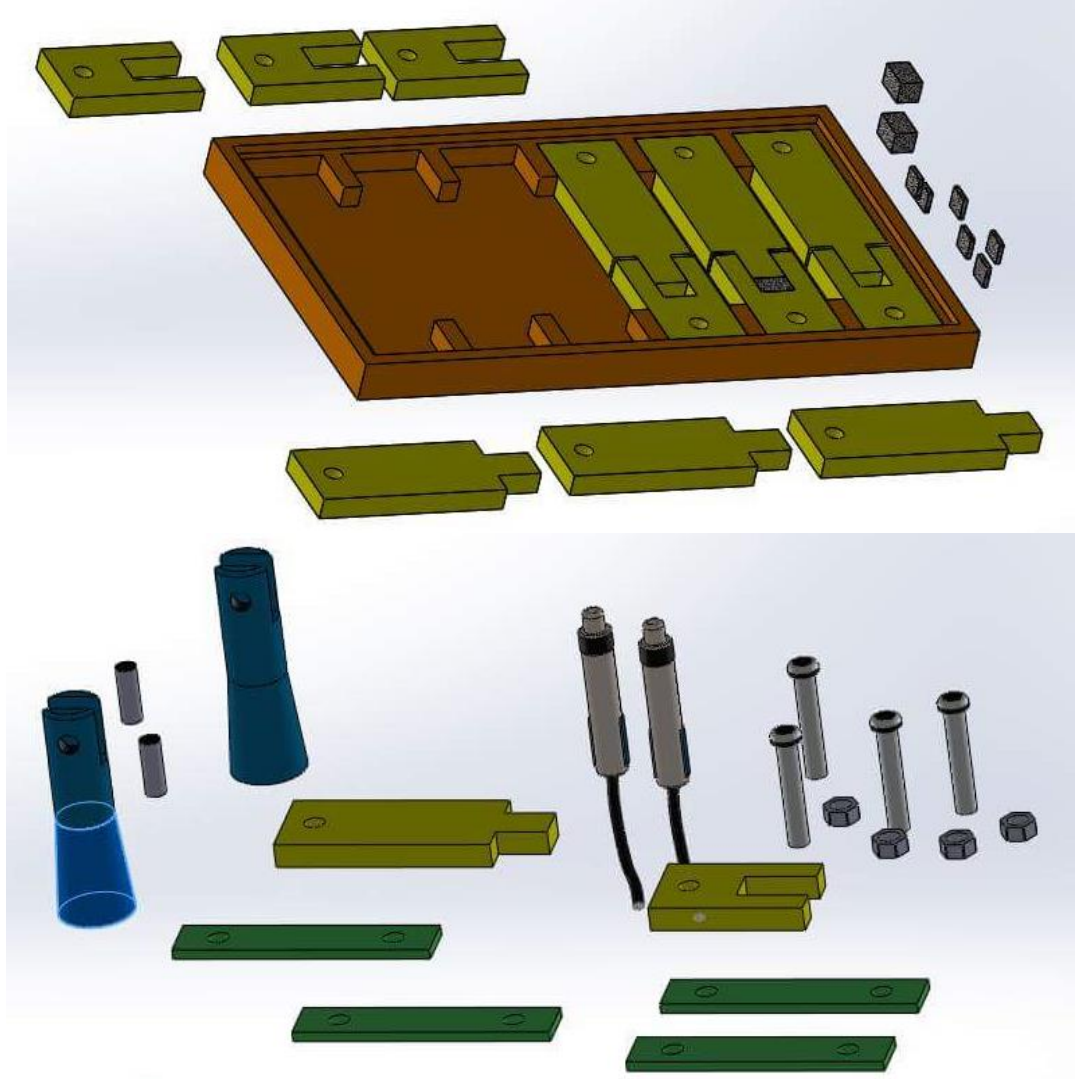
Şekil 5.17: Aparatlara Araldit 2015 yapıştırıcıların uygulanması yakın görüntüsü.

Yapılan ilk testin tecrübesiyle yapılacak deneyin aşamaları şu şekildedir:

1. Test aparatı ve test kalıbı özel solüsyonlar veya alkol ile temizlenir.
2. Test kalıbının içine yağlı kağıt veya naylon serilir. Yapıştırıcının kalıp yüzeyini tutması engellenir.
3. Test aparatı kalıba yatırılır.
4. Üst ayraç ve alt ayraçlar takılır. Bu ayraçların strafordan olması yapıştırıcının kür edilmesinden sonra yapıştırıcıdan kolay ayrılabilmesi içindir.
5. Uygulanacak yapıştırıcı ve katalizörü belirtilen oranlarda karışımı yapılır. Uygulamaya hazır hale getirilir.
6. Şekil 5.18'de görülen aparatın yapıştırıcı uygulanacak bölümüne uygulanır. Bu uygulama yedirme yöntemi veya enjeksiyon yöntemi ile yapılır. Burada amaç yapıştırıcının içeriye yani bölgeye boşluk kalmayacak şekilde homojen dağıtılmasıdır (Bu bölge 2 mm kalınlığında 22,2 mm boyunda ve 10 mm genişliğinde bir bölgedir)
7. Yapıştırıcının oda sıcaklığında veya fırında kür edilmesi için belirlenen sıcaklığa bırakılır.
8. Eğer yapıştırıcı istenilen şekilde kür olmuşsa artık deneylere başlanabilir kararı verilerek deneye hazırlık tablosuna (check list) geçilir.



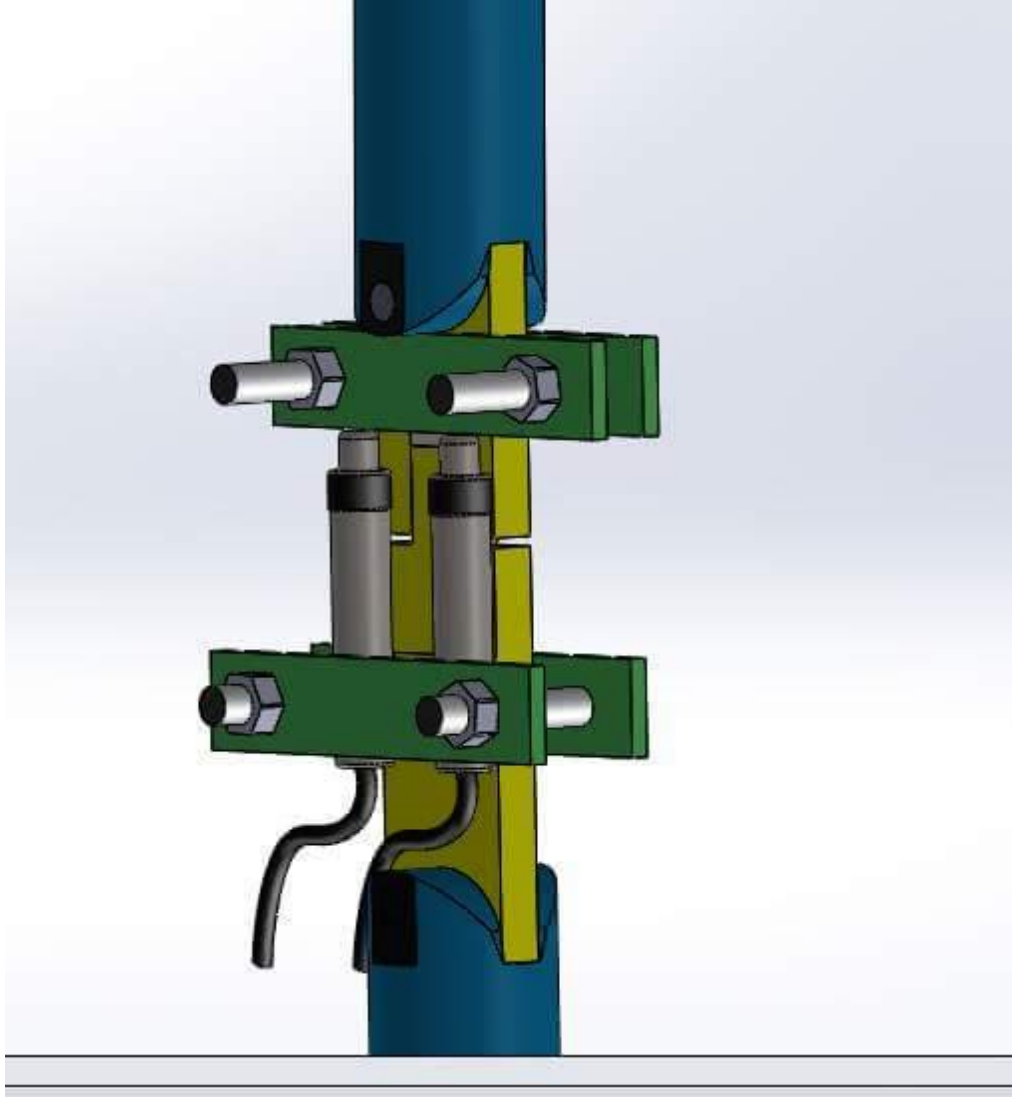
Şekil 5.18: Test aparatı basit görünümü.



Şekil 5.19: Testte kullanılacak aparat ve diğer tüm test elemanları.

Deneylerde kullanılacak olan ekipmanlar ve malzemeler Şekil 5.19’da görülmektedir. Yeni tasarlanan test aparatıyla yapılan deneylerde kullanılacak diğer önemli kısım yapıştırıcının uygulandığı kalıptır. Kalıba yerleştirilen test numunelerinde yapıştırıcı uygulanacak aralık diğer kısımlardan ayırarak, strafordan yapılmış ayraçlar yerleştirilir (Şekil 5.17). Kalıpta yapıştırıcı uygulanan test numunesi kür edilerek deneye hazır hale gelmiştir. Numuneye LVDT’ler tutturucu yardımıyla bağlanır. Test numuneside bağlantı ara parçasıyla ektensometreye Şekil 5.20’da görülen biçimde bağlanmıştır ve deneye hazır duruma gelmiştir.





**Şekil 5.20:** Testte hazır aparatı ekstansometreye bağlama.

Bu tür bir çalışma için çalışma hiyerarşisi ve takip formu hazırlamanın gerekliliği hâsıl olmuştur. Çekme deneyleri öncesinde takip formu şeklinde, deney formu hazırlanmıştır (Test Takip Tablosu; Tablo 5.1).

**Tablo 5.1:** Test takip tablosu ( Bir testte kullanılmış tablodur).

Evrak No:		Tarih	25.12.2014	Makine ve Uçak Mühensiliği	Başlama Saati	14:35	Bitiş Saati	15:30	
Sıra	YAPILAN İŞLEMLER							KONROL	v - X
1	TEST EKİPMANLARI EKSİKSİZ							v	
2	TESTE AİT DİĞER EKİPMANLARI HAZIR							v	
3	APARATA ADHESİVE İSTENİLEN ÖLÇÜDE ETKİ ETMİŞ							v	
4	ADHESİVE İSTENİLEN ÖLÇÜDE KÜR OLMUŞ							v	
5	TEST APARATI VE ADHESİVE ARASI BAĞLANTI MUNTAZAM							v	
6	TEST APARATI TESTE HAZIR							v	
7	LVDT'LER ÇALIŞIYOR							v	
8	LVDT SABİTLEME APARATI HAZIR							v	
9	TEST APARATINA LVDT KUSURSUZ MONTE EDİLMİŞ							v	
10	LVDT KABLOLARINA DIŞ TEMAS MEVCUT DEĞİL							v	
11	LVDT UCU BAĞLANTI MUNTAZAM OLARAK YAPILMIŞ							v	
12	LVDT EKRANI SIFIRLANMIŞ							v	
13	LVDT KAYIT İÇİN HAZIR							v	
14	EKSTENSOMETRE TEST İÇİN GENEL OLARAK HAZIR							v	
15	TEST APARATINI EKSTENSOMETREYE BAĞLAMA APARATLARI HAZIR							v	
16	TEST APARATI EXTENSOMETREYE BAĞLANMIŞ							v	
17	TEST APARATI ALT VE ÜST ÇENE BAŞLANTILARI MUNTAZAM							v	
18	LVDT BAĞLANTILARI MUNTAZAM							v	
19	TEST TAKİP FORMU BU KISMA KADAR EKSİKSİZ							v	
20	TEST BAŞLAMAYA HAZIR							v	
21	TESTTE BAŞLANDIKTAN SONRA BİLGİSAYARA VERİ AKIŞI SAĞLIKLI							v	
22	TÜM VERİ SENSÖRLERİ ÇALIŞIYOR							v	
23	ÇEKME İŞLEMİ BAŞLADI							v	
24	KOPMA ANI SORUNSUZ KAYDEDİLDİ							v	
25	BİLGİLER EXCEL DOSYASINA KAYDEDİLDİ							v	
26	VERİLER KONTROL EDİLDİ							v	
27	TEST BAŞARILI							v	
TEST APARATI YÜZEY BOYUTLARI t, b, l				2 mm	22 mm	10 mm			
TEST EDİLEN ADHESİVE TÜRÜ	HYSOL BAL		TEST NUMUNE NO	5	AÇIKLAMA NOT	Kür edildi.Yüzeye eşit dağılmış.Test için sonrası kontrol yapılacak			
ÇEKME HIZI	0,5 sn	UYGULANAN MAX KUVVET kg - N	221		ÖLÇÜLEN DEPLASMAN d1-d2	0,15	0,15		

## ALTINCI BÖLÜM

### DENEYLER SONUÇLARI VE AÇIKLAMALAR

Yapıştırıcıların tasarlanmış olan yeni aparat ile testine başlamadan önce, bilgisayar kontrollü çekme cihazı ve LVDT'lerle bilgisayar denetiminde alınan verilerin değerlendirilmesi yani verilerin işlenmesi deneyin en önemli unsurlarından olmuştur.

Test numunesine çekme cihazı yardımıyla kuvvet uygulandıkça oluşan deplasman, bilgisayar ekranından takip edilmiştir. Elde edilen veriler LVDT1, LVDT2 ve uygulanan kuvvet verileridir. Deplasman verileri biçim değiştirme (Strain) değerlerinin bulunmasında kullanılacak değerlerdir. Burada uygulanan çekme kuvveti; kayma gerilmesinin bulunmasını sağlayacak değerdir. Kayma Gerilmesi formüle edilirken;

$$\tau = \frac{F}{lb} \quad \text{(Denklem: 6.1)}$$

Denklem (7.1)'deki formülde “ $\tau$ ” (MPa) kayma gerilmesini (Shear), “ $F$ ” (kN) uygulanan kuvveti ve “ $l$ ” (mm) ise yapıştırıcı uygulanan yüzey uzunluğu ve “ $b$ ” (mm) yapıştırıcı uygulanan yüzey genişliğinin göstermektedir.

$l$  ve  $b$  değerinin çarpımını yapıştırıcı uygulanan yüzey alanını göstermektedir. Tasarlanmış olan yeni aparatın iki yüzeyi olmasından dolayı iki alan olacağından, alan “2” ile çarpılarak kayma gerilmesi formülünde “ $2*lb$ ” şeklinde formülde yerine konulur. Bu deneyde yapıştırıcı kalınlığı sabit 2 mm dir. Yapıştırıcı yüzey uzunluğu 22,2 mm ve genişliği ise 10 mm olarak hesaplanmıştır. Fakat her deney sonrası kopmalardan sonra yüzeyde oluşan boşluklar yada yapıştırıcı alanında eksikler olup olmadığı görsel olarak kontrol edilip, tüm yüzey tekrar ölçülerek tam ölçüyü verecek alan hesaplanmıştır. Tüm testlerde alan ölçüleri tam girilmiştir.

Strain yani biçim değiştirme formüle edildiğinde;

$$\gamma = \frac{d \text{ (mm)}}{t \text{ (mm)}} \quad \text{(Denklem: 6.2)}$$

Burada “ $\gamma$ ” birim biçim değiştirmeyi (Strain), “ $d$ ”(mm) deplasmanı, “ $t$ ”(mm) uygulanan yapıştırıcı kalınlığını göstermektedir (Denklem 6.2). Deplasmanların LVDT’lerden alınması ve formüle edilmesinde LVDT1 ve LVDT2 bağlı olduğundan yani iki yüzeye iki LVDT bağlı olduğundan buradan alınan deplasmanlar ( $d_1$  ve  $d_2$ ) kullanılarak (Denklem 6.3 ve 6.4) hesaplanan birim biçim değiştirme değerleri iki birim biçim değiştirmenin toplamının ikiye bölünerek ortalamasının alınması (Denklem 6.5) ile formüle edilmiştir;

$$\gamma_1 = \frac{d_1}{t} \quad \text{(Denklem: 6.3)}$$

$$\gamma_2 = \frac{d_2}{t} \quad \text{(Denklem: 6.4)}$$

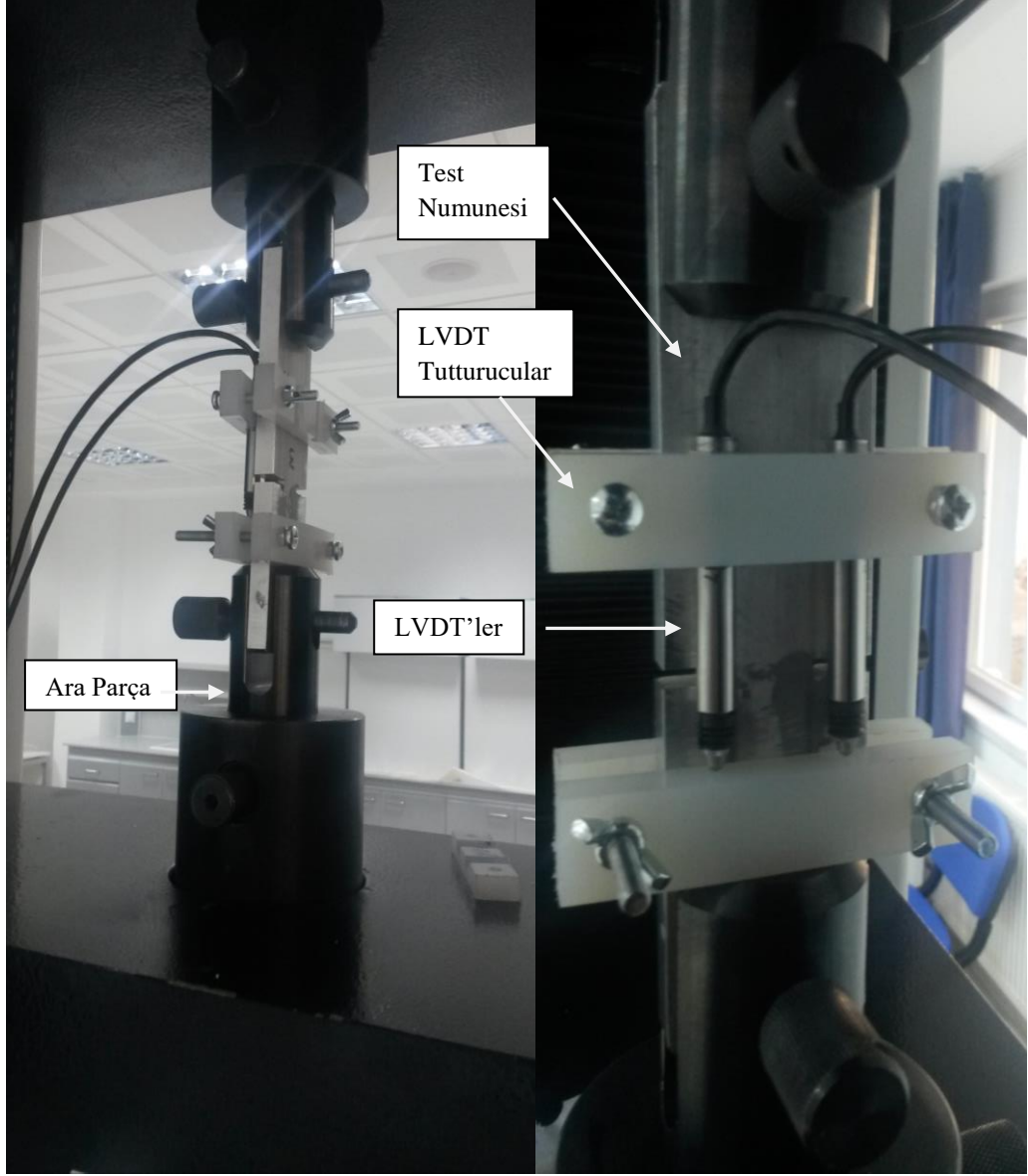
$$\gamma = (\gamma_1 + \gamma_2) / 2 \quad \text{(Denklem: 6.5)}$$

Denklem (6.6) görülen formülde; “ $G$ ” (GPa) kayma modülünü, Kayma modülü ise kayma gerimesinin kayma birim biçim değiştirmeye bölünmesiyle bulunmaktadır.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad \text{(Denklem: 6.6)}$$

Yapısal yapıştırıcıların kayma değerlerinin ve birim biçim değiştirmelerinin bulunarak bunlar arasındaki ilişkinin grafiklerle gösterilmesinde ve tablolamasında bu formülasyon ışığında veriler ve test sonucu değerler elde edilmiştir.

Hazırlıkların tamamlanmasıyla çalışmanın ana amacı olan kayma gerilmesi değerlerini elde etmek için testlere geçilme aşamasında hazırlıkların tamamlandığı son kez teyit edilerek ilk yapıştırıcı uygulamasına geçilmiştir. Şekil 6.1’de çekme cihazına bağlanmış olan test aparatı ve üzerine bağlanan LVDT’ler görölmektedir.



Şekil 6.1: Çekme cihazına test aparatının ve LVDT'lerin bağlanması.

### 6.1 Araldit 2015 Yapısal Yapıştırıcı

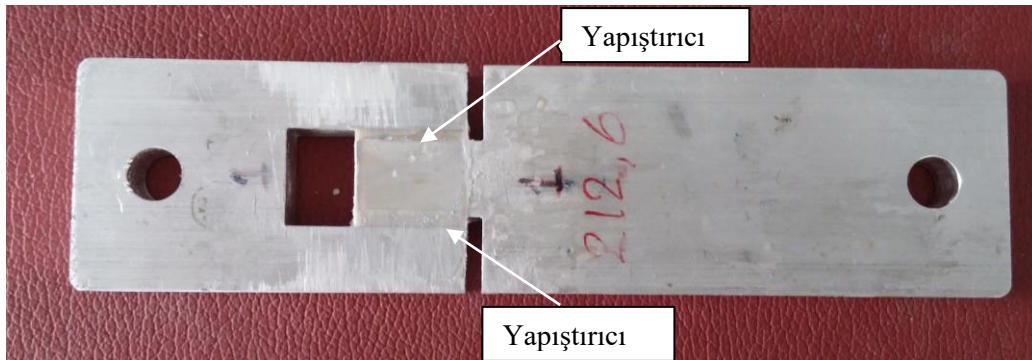
Test aparatına uygulanan Araldit 2015 yapıştırıcısıdır. Bu yapıştırıcı iki kompanetli ve yapıştırıcı 1/1 oranında karıştırılır.

Araldite 2015 çok amaçlı, iki bileşenli, oda sıcaklığında kür olan, yüksek mukavemet ve tokluk değerine sahip bir yapıştırıcıdır. Bu yapıştırıcı metaller, seramik, cam, kauçuk, sert plastik ve diğer pek çok geniş bir yelpazede yapıştırılması için uygundur. Genel olarak birçok endüstriyel uygulamalar için çok yönlü bir yapıştırıcıdır.

**Tablo 6.1:** Araldite 2015 epoksi yapıştırıcı özellikleri [62].

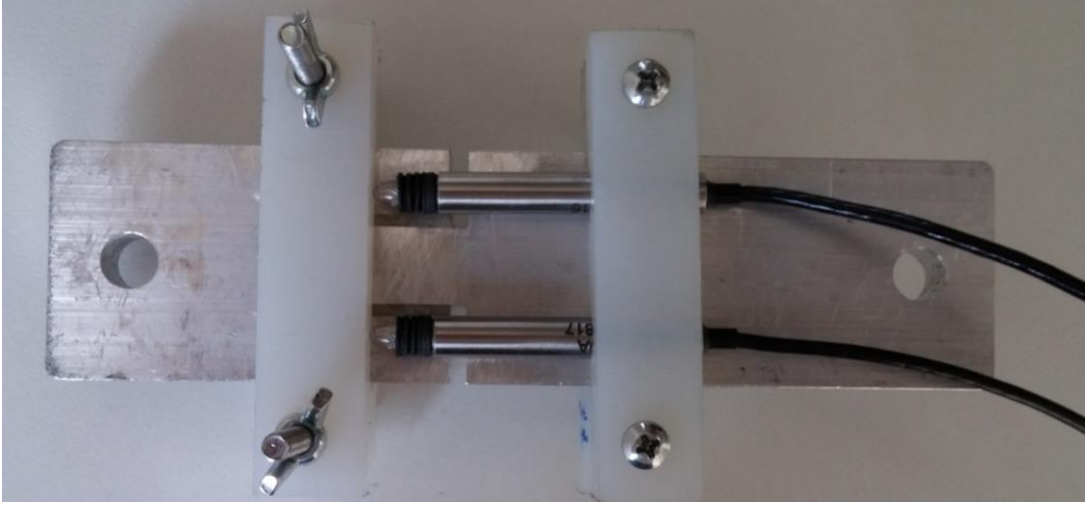
Yapıştırıcı	Araldit 2015
Renk	Krem
Karışım Oranı	%100 A - %100 B
Karışım Vizkozitesi	Tiksotropi
Kür Süresi 40 °C / (23 °C) / 80 °C	16 saat / (7 gün) / 1 saat
Kayma Modülü 25 °C	0,9 GPa
Kayma Mukavemeti (ISO 4587)	17 MPa (Aluminium)
Kayma Mukavemeti (ISO 4587)	20 MPa (Steel 37/11)
Çekme Modülü	2 GPa

Araldit 2015 belirtilen oranda iki komponenti homojen olacak şekilde karıştırılır. Eğer kendi tabancası kullanılırsa direkt uygulanabilir. Yapıştırıcı deney setlerine enjektör yardımıyla basma suretiyle deney setinin belirlenen aralığına 22,2x10x2 mm alana uygulanmıştır. Bu yapıştırıcı sürülen bölge deney öncesi belirtilen şartlarda hazırlanarak içinde boşluk kalmayacak şekilde uygulanmıştır. Boşluk kalıp kalmadığı test sonrası yapıştırıcı yüzey incelemesinde açıkça görüldüğü, yapılan deney sonu incelemelerde ortaya çıkmıştır. Aparata yapıştırıcı test kalıbının üstünde uygulanmıştır. Yapıştırıcı uygulandıktan sonra aparat kalıbı aparatla birlikte fırına ürün bilgi kartında belirtilen sıcaklıkta kür olması için bırakılmıştır. Bu üründe 60 °C ile iki saat kür olmuştur. Bu 25 °C ile 24 saatte de kür edilebilir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra aparat teste hazır hale gelmiştir (Şekil 6.2).



**Şekil 6.2:** Teste hazır yapıştırıcı uygulanmış numune.

Yapılan çekme deneyi öncesi aparatının üzerine deplasmanları ölçmek için LVDT'lerin bağlandığı polimerden imal edilen aparat (çalışmanın devamında "LVDT Tutturucu" olarak anılacaktır) LVDT tutturucuların bağlanması çok hassas bir şekilde yapılması, verilerin işlenmesi ve sonuçların alınması açısından çok önemlidir (Şekil 6.3).

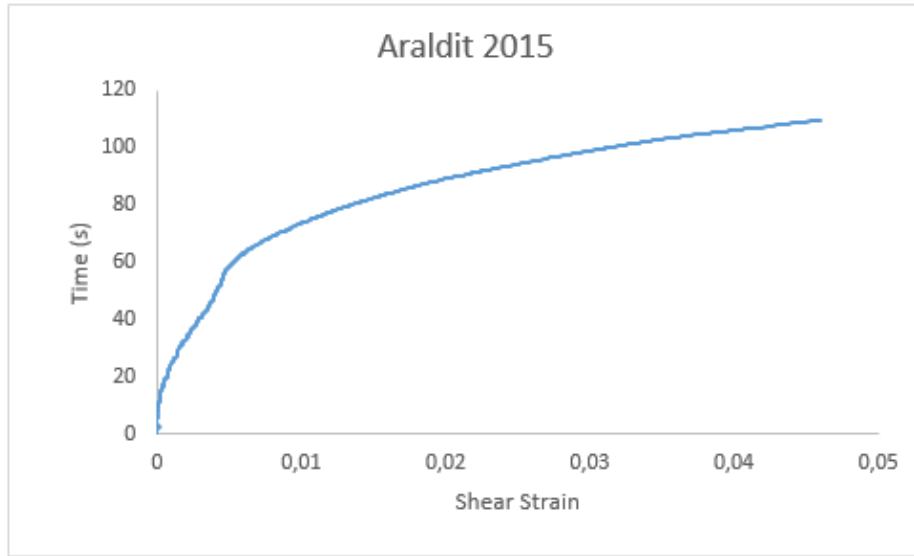


Şekil 6.3: Teste hazır yapıştırıcı uygulanmış aparata LVDT'lerin bağlanması ve ayarlarının yapılması.

LVDT'lerin (Şekil 6.3) dikkatli bir şekilde bağlantısı yapıldıktan sonra çekme cihazına test aparatını bağlamak için kullandığımız bağlantı ara parçası (Şekil 6.13) çekme cihazına bağlanmıştır. Numune Şekil 6.1'de görüldüğü şekilde ara parça aracılığı ile çekme cihazına bağlanmıştır. Bağlama işlemi test aparatını çekme cihazının alt ve üst çenesinde bulunan bağlantı elemanına sabitlenmesi ile yapılır. Bağlama işlemi gerçekleştirildikten sonra LVDT veri iletim kablolarının test cihazına temas etmemesi ve vibrasyondan etkilenmemesi için kabloları da farklı bir noktaya sabitlenmiştir. Çekme cihazı ve LVDT'ler bilgisayar kontrollü olarak çalışmaktadır. Burada Test Takip Tablosundan (Tablo 6.1) son kontrolleri yapıp teste geçilmiştir.

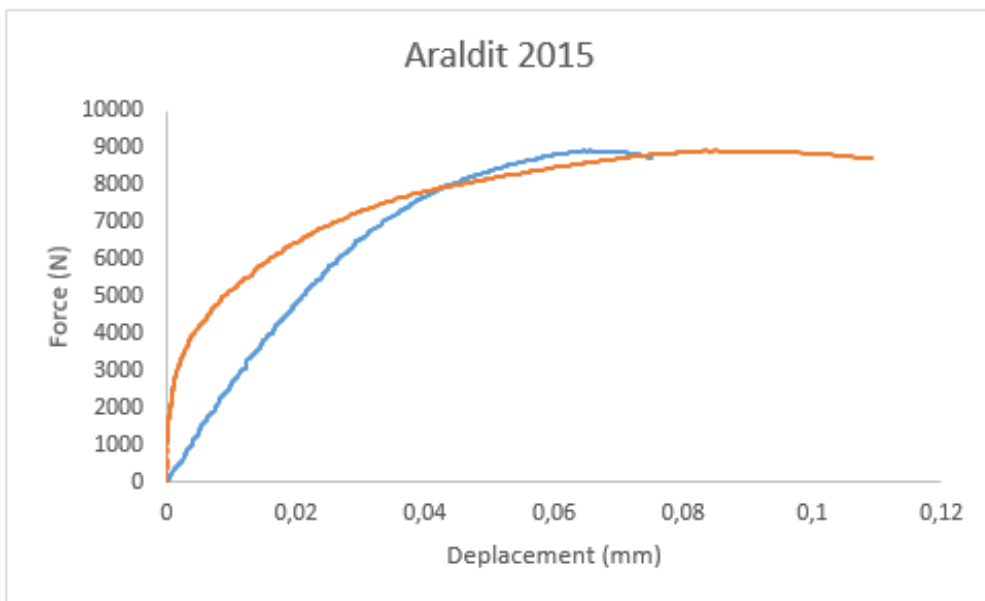
Araldite 2015 Yapıştırıcısının ürün teknik bilgi formunda (data sheet) ISO 4587 ile yapılmış olan çekme testi sonucu 17 MPa olarak verilmiştir. Yapılan testlerde bu standartlarla bulunan değerlerin tasarlanmış olan test aparatında verip vermeyeceği deney sonucunda kıyaslanmıştır. Testler yaklaşık 25 °C derecede ve yaklaşık % 50 nem ortamında yapılmıştır. Çekme hızı 0,02 mm/dk olarak belirlenmiştir. Deney sonunda bilgisayar kontrollü çekme cihazından ve LVDT'ler kullanılarak elde edilen deplasmanlar Denklem (6.2), (6.3), (6.4), (6.5)'te yerine

konularak bulunan biçim değıştirme değeriyle Şekil 6.4.a'da görülen zaman-biçim değıştirme grafiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.4.a: Zaman (time)(s) ve biçim değıştirme grafiği.

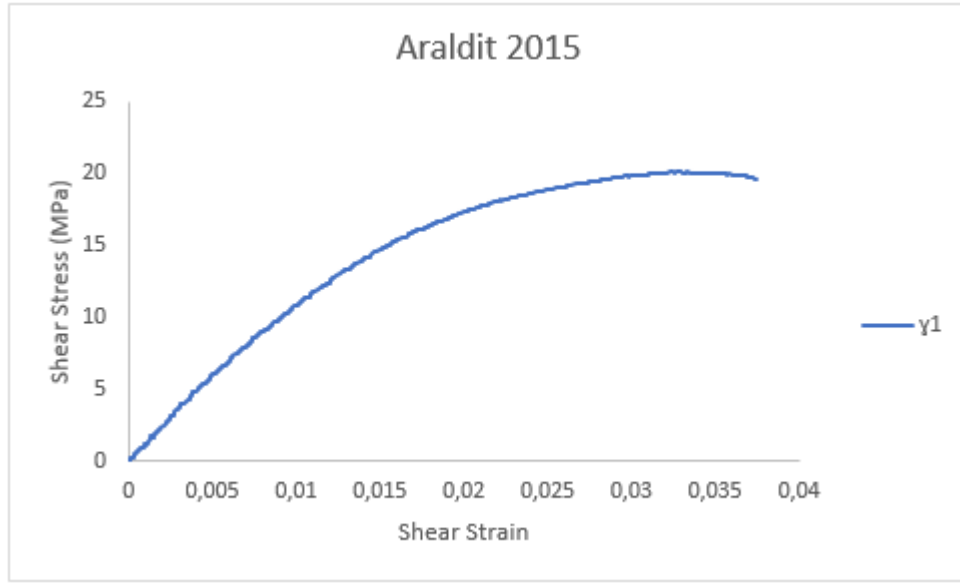
Bilgisayar kontrollü çekme cihazı ve LVDT'ler kullanılarak elde edilen deplasmanlar ile kuvvet verileri değeriendirilmiş, Araldit 2015 yapısal yapıştırıcısının bu test numunesiyle yapılmış deneyin Şekil 6.4.b'de görülen kuvvet (N), deplasman (mm) grafiği ortaya çıkmıştır. Grafikte deplasmanlar farklı değeri vermiş fakat benzer davranışlar göstermiştir.



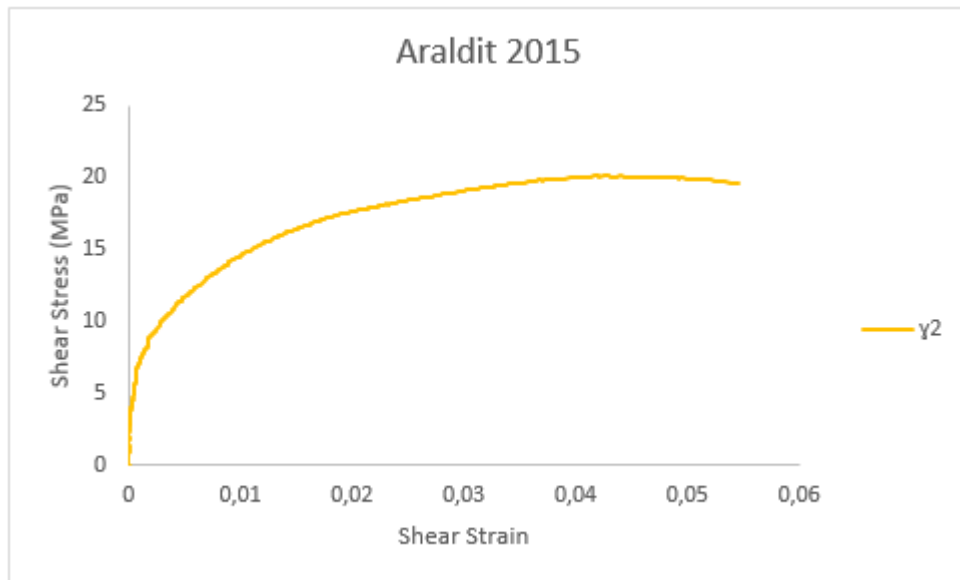
Şekil 6.4.b: Kuvvet (N)- deplasman (mm) grafiği.



Kayma gerilmesi-biçim değiştirme grafiklerinin oluşturulmasında Denklem (6.1)'deki formül kullanılarak bulunan kayma gerilmesi ve Denklem (6.3) ile biçim değiştirme değerleri bulunarak şekil 6.4.c'de görülen kayma gerilmesi-biçim değiştirme grafiği oluşturulmuştur. şekil 6.4.d'de ise kayma gerilmesi aynı biçimde bulunmuş fakat biçim değiştirme için Denklem (76.4) ile bulunmuştur.

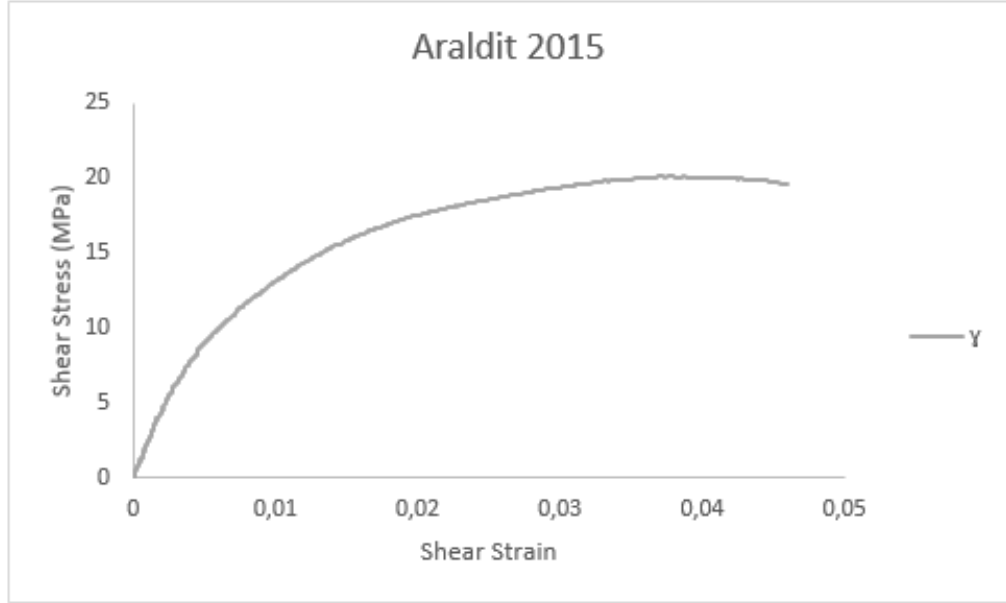


şekil 6.4.c: Araldite 2015 yapıştırıcının LVDT1'in ölçtüğü deplasmanla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği.

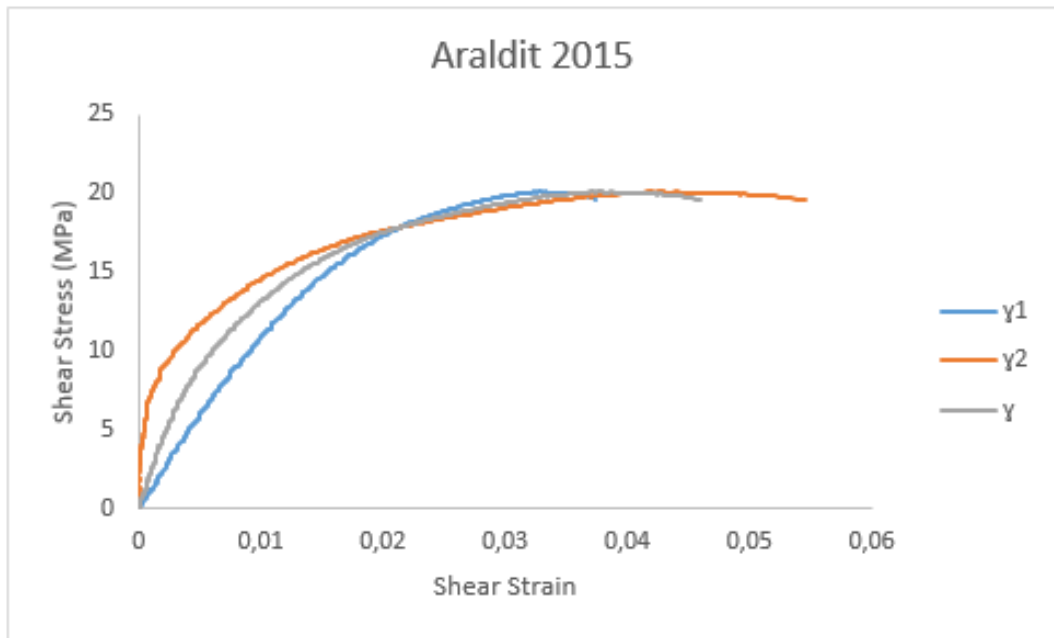


şekil 6.4.d: Araldite 2015 yapıştırıcının LVDT2'in ölçtüğü deplasmanla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değiştirme grafiği.

Her iki biçim değıştirme değeri Denklem (6.5)'te yerine konularak ortalama biçim değıştirme değeri bulunmuştur. Ortalam biçim değıştirme-kayma gerilmesi durumunu gösteren bir grafik (Şekil 6.4.e) ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.4.e: Araldite 2015 yapıştırıcının her iki LVDT'nin ölçtüğü deplasmanlarla oluşan kayma gerilmesi ve biçim değıştirme grafiği.

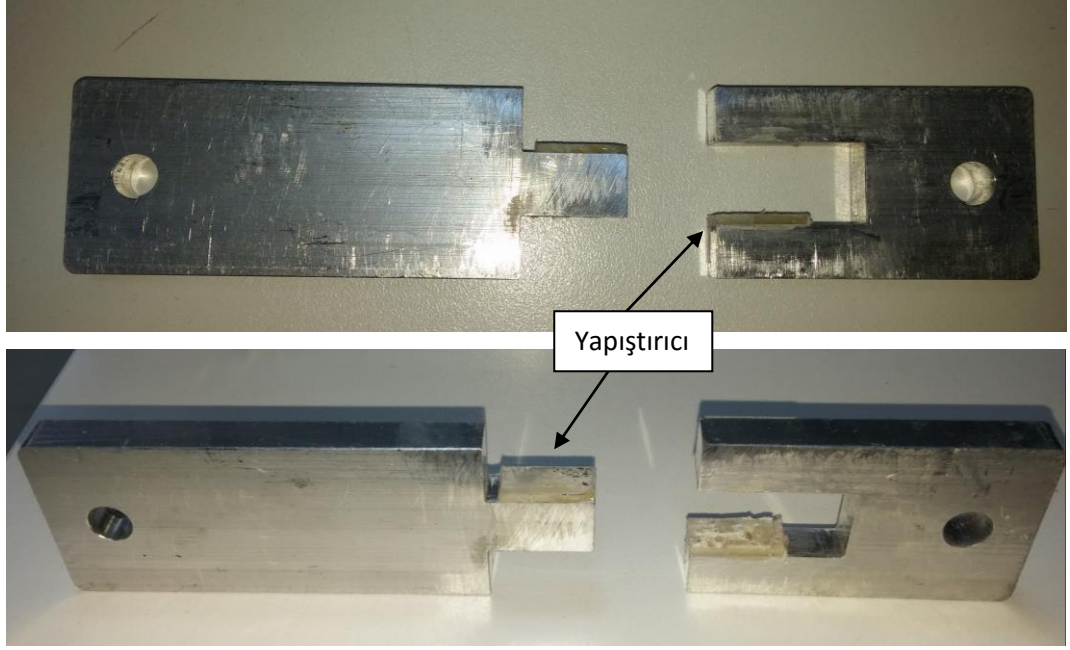


Şekil 6.4.f: Araldite 2015 yapıştırıcının tüm kayma gerilmesi ve biçim değıştirme grafiği.

Şekil 6.3.c, Şekil 6.4.d ve Şekil 6.4.e’de görülen üç biçim değiştirme grafiği Şekil 6.4.f’de görülen grafikte birleştirilmiştir. Bu kayma gerilmesi – biçim değiştirme grafiğini incelemede kolaylık sağlamıştır. Bu üç grafiğe bakıldığında iki biçim değiştirme arasında oluşan farklar grafiği birleştiren ortalama grafiğine olumsuzluk meydana getirmemiş aksine biçim değiştirmeye bir denge getirmiştir. Dengeli bir sonuç çıksa bile farklılık istenen bir durum değildir. Bu durum yapıştırımadaki kaymalar, çekme esnasında merkezleme hatası gibi etmenler olabilir. Ancak sözü edilen etmenlere hassas bir şekilde dikkat edilmesine rağmen bu çalışmada tüm testlerde alınan sonuçlar bu şekilde olmuştur.

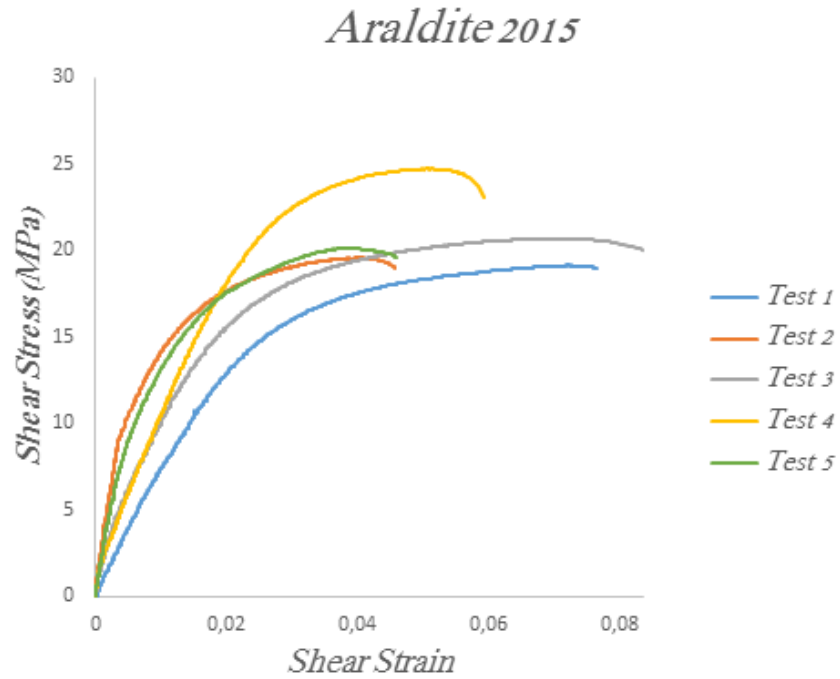
Bu deneyde (Test 5 ) çekme cihazıyla kuvvetin uygulanması ile birlikte belli bir aralık sonunda çok küçük değerlerle deplasman vermeye başlamış örneğin 100. saniyede LVDT1’den 0,0057 mm ve LVDT2’den 0,0069 mm gibi bir deplasman değeri, 8709,163 N kuvvet uygulandığı sırada okunmuştur. Bu noktadan sonra kuvvetle orantılı olarak deplasman artmış ve kopma noktası olan 0,08 mm ortalama deplasman kopma noktasına gelinmiş ve bu noktada kopma olmuştur. Buradaki kayma gerilmesinin maksimum olduğu sıra 8928,648 N uygulanan kuvvettir. Kayma modülünü bulurken Şekil 6.4.e. incelendiğinde; kayma gerilmesinin yaklaşık 8,2 MPa ve biçim değiştirmenin 0,00447 olduğu nokta tespit edilmiştir. “G” kayma modülü Denklem (6.6) formülde yerine konularak 1,76 GPa bulunmuştur. Tablo 6.1’e görülmektedir.

Yapıştırıcı üst yada alt yapıştırıcı yüzeyine bağlı kalmış parçalı bir kopma olmamıştır. İlk başta yapıştırıcılardan bahsederken ele alınan adheziv bir parçalanma olmamıştır (Şekil 6.5). Alüminyum yüzeyi tamamen bırakmış diğer bağlandığı alüminyum yüzeyde kalmıştır.



Şekil 6.5: Test sonrası numunede yapıştırıcı durumu.

Deneyde kayma noktasının sonu olan kopma noktasına yada diğer bir deyişle yapıştırıcının yüzeyle temasının tamamen koptuğu maksimum kuvvetin uygulandığı noktada birim biçim değıştirme ise 0,0403'tür. Kayma gerilmesi maksimum kuvvet uygulandığı anda 20,095 MPa'dır. Üretici teknik bilgilerine göre alüminyum için yaklaşık 17 MPa bir kayma değeri belirtilmiştir.



Şekil 7.6: Tüm testleri shear stress- shear strain grafikleri.

Araldit 2015 yapısal yapıştırıcısı ile toplam beş deney yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen kayma gerilmesi-biçim değiştirme grafikleri Şekil 6.6’da birleştirilmiş ve Araldite 2015 ile yapılan çalışmanın bütününe göstermiş ve genel olarak bakma imkanı vermiştir. Tablo 6.1’de yapılan bu beş deneyden elde edilen değerler verilmiştir. Bu değerlere ve grafiklere bakıldığında kayma gerilmesinin ve biçim değiştirmelerin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.2:** Yapılan testler sonucu elde edilen veriler.

<b>Araldit 2015</b>			
Test No	$\gamma$ -Shear Strain	$\tau$ -Shear Stress(MPa)	$G$ -Shear modulus (GPa)
1	0,074	19,11	0,7
2	0,04	19,57	2,48
3	0,074	20,71	1,05
4	0,048	24,7	1,12
5	0,04	20,11	1,76
Ortalama	0,055 $\pm$ 0,02	20,84 $\pm$ 3,86	1,42 $\pm$ 1,06

Yapılan beş deneyde bazı değerlerde sapmaların meydana gelmesinde LVDT’lerin bağlantısında veya veri akışında meydana gelen problemlerden kaynaklanması muhtemeldir. Bu tür veri problemlerinin olmaması için deneylerin daha hassas ölçüm cihazlarıyla yapılması çok sağlıklı verilerin elde edilmesini sağlar.

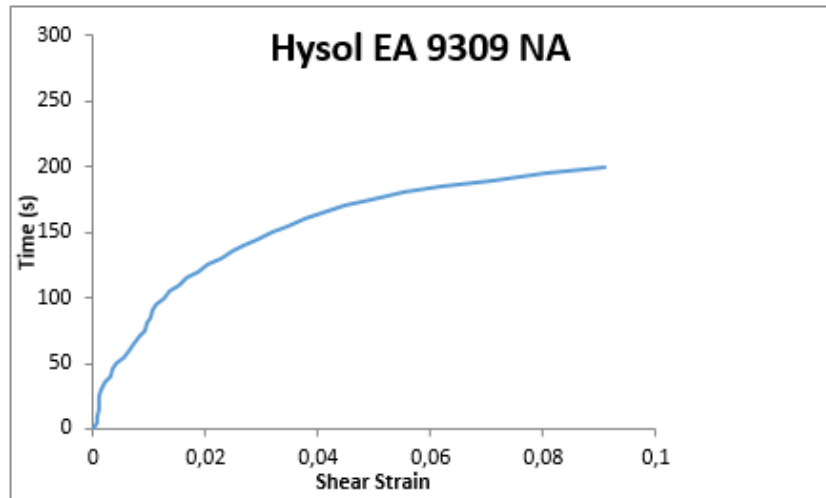
## **6.2 Hysol EA 9309 NA Yapısal Yapıştırıcı**

Hysol EA 9309 NA yapıştırıcı metal, ahşap, plastik ve cam için idealdir. Yapıştırıcı bileşenleri %100 ve %23 oranında karıştırılır. Hysol EA 9309 NA çok amaçlı, iki bileşenli, oda sıcaklığında 12-72 saat aralığında kür olan, yüksek mukavemet ve tokluk değerine sahip bir yapıştırıcıdır.

**Tablo 6.3:** EA Hysol 9309 NA yapıştırıcı özellikleri [63].

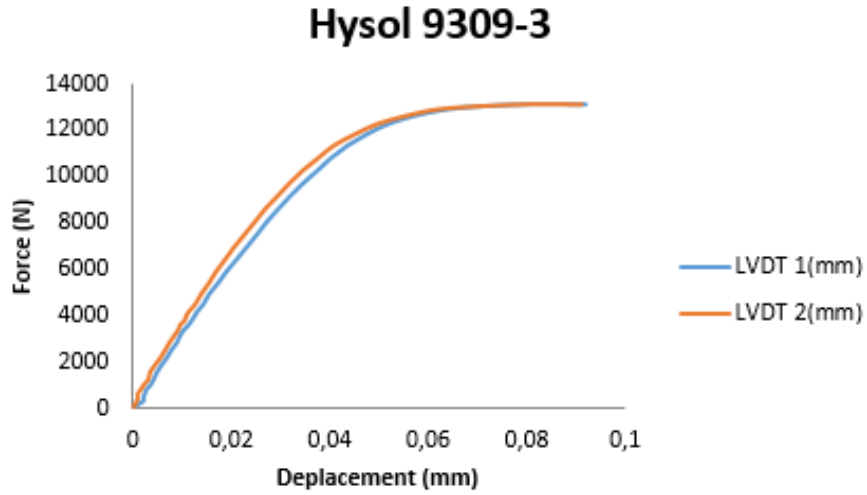
Yapıştırıcı	EA Hysol 9309 NA
Renk	Bej
Karışım Oranı	%100 A - %23 B
Karışım Viskozitesi	Macun
Kür Süresi 25 °C / 66 °C	5 gün / 1 saat
Kayma Modülü 25 °C	0,9 GPa
Kayma Mukavemeti (ASTM D1002)	34,5 MPa
Çekme Modülü	2,067 GPa

Tüm yapıştırma prosedürleri büyük bir hassasiyetle numune yüzeylerine uygulanarak hazır hale gelmiş olan test aparatı ile deneye başlanmıştır. Bu yapıştırıcı için toplam beş deney yapılmıştır. Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının ürün teknik bilgi formunda (data sheet) ASTM 1002 ile yapılmış olan çekme testi sonucu 34,5 MPa olarak verilmiştir. Yapılan testlerde bu standartlar bulunan değerler tasarlanmış olan test aparatında verip vermeyeceği deney sonucunda ortaya çıkacaktır. Testler yaklaşık 25 °C derecede ve yaklaşık % 50 nem ortamında yapılmıştır. Çekme hızı 0,02 mm/dk olarak belirlenmiştir. Aşağıda bu deneylerden bir tanesinin elde edilen grafikler verilmiştir (Şekil 6.7). Zaman-biçim değiştirme grafiği (Şekil 6.7.a) uygulanan kuvvetle oluşan biçim değiştirmenin zamana göre davranışını göstermektedir.



**Şekil 6.7.a:** Zaman (Time)(sn) ve biçim değiştirme eğrisi.

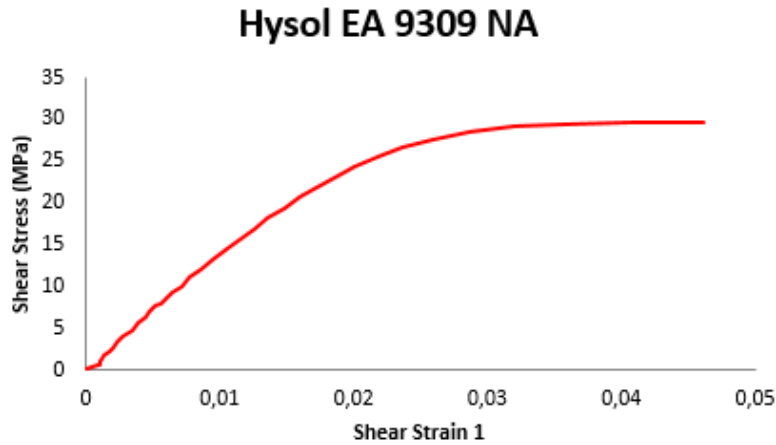
Bilgisayar kontrollü çekme cihazı ve LVDT'ler kullanılarak elde edilen deplasmanlar ile kuvvet verileri değerlendirilmiş, Hysol EA 9309 NA yapışal yapıştırıcısının bu test numunesiyle yapılmış deneyin Şekil 6.7.b'de görülen kuvvet (N), deplasman (mm) grafiği ortaya çıkmıştır. Grafikte deplasmanlar arasında çok küçük farklılık olmuş, aynı davranışlar gözlenmiştir.



Şekil 6.7.b: Kuvvet (N)- Deplasman (mm) Grafiği.

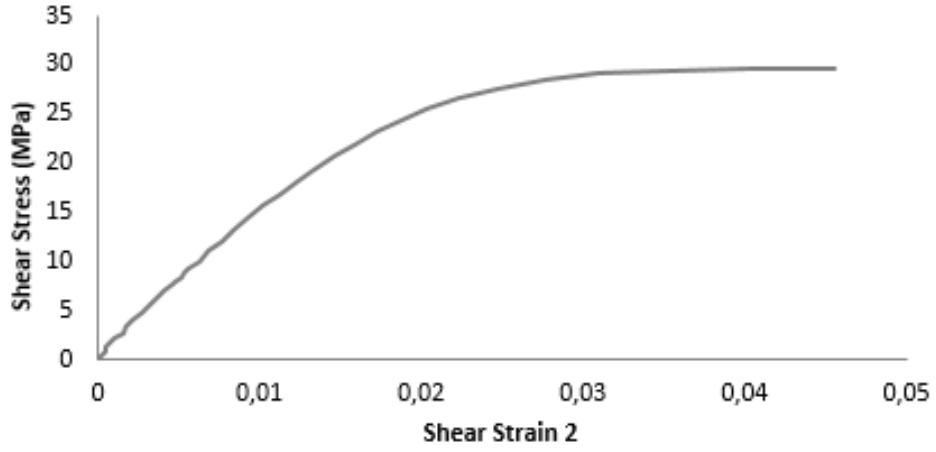
Diğer deneyde hesaplandığı biçimde bu deneyde de aynı değerler hesaplanmış ve o biçim değiştirme ve kayma grafiği (Şekil 6.7.c,d) oluşmuştur.

Bu grafikler arasında çok küçük farklılık vardır. Şekil 6.7.c'de LVDT1'den alınan deplasman verisinin biçim değiştirme değeri (Denklem 6.3), Şekil 6.7.d'de LVDT2'den alınan deplasman verisinin biçim değiştirme değeri (Denklem 6.4) ve kayma gerilmesi değerleri ile elde edilen eğriler olmuştur.



Şekil 6.7.c: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme eğrisi.

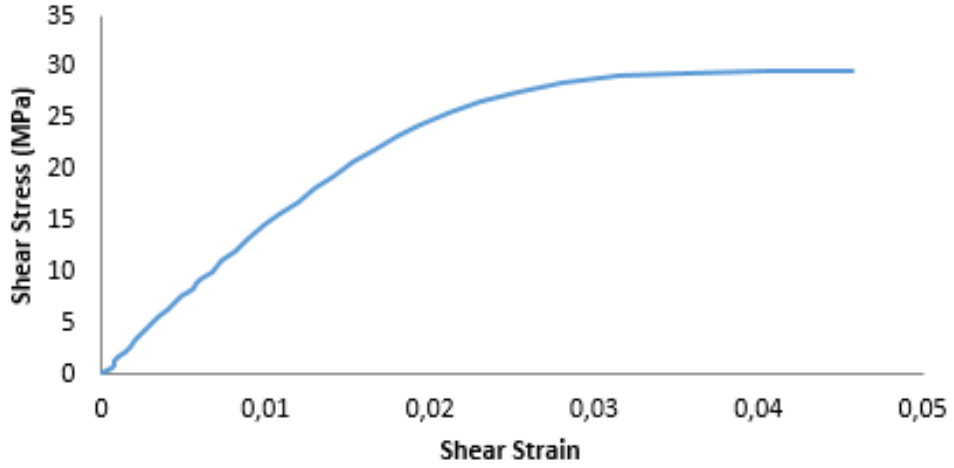
## Hysol EA 9309 NA



Şekil 6.7.d: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi- biçim değiştirme eğrisi.

Her iki biçim değiştirme değerleri Denklem (6.5)'te yerine konularak ortalama biçim değiştirme değeri bulunmuştur. Ortalam biçim değiştirme-kayma gerimesi durumunu gösteren bir grafik (Şekil 6.7.e) ortaya çıkmıştır.

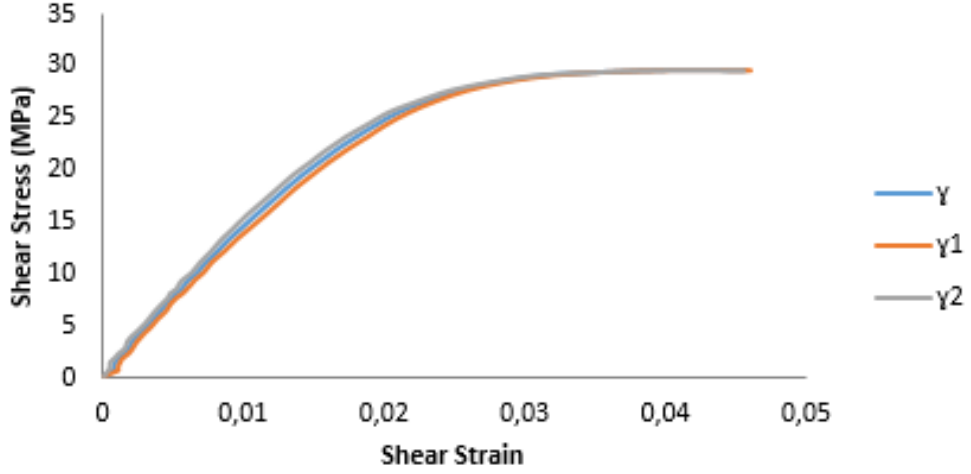
## Hysol EA 9309 NA



Şekil 6.7.e: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının kayma gerilmesi – ortalama biçim değiştirme eğrisi.



## Hysol EA 9309 NA



Şekil 6.7.f: Hysol EA 9309 NA yapıştırıcının tüm biçim değiştirme ve kayma gerilmesi eğrisi.

Şekil 6.7.c, Şekil 6.7.d ve Şekil 6.7.e’de görülen üç biçim değiştirme grafiği Şekil 6.7.f’de görülen grafikte birleştirilmiştir. Bu kayma gerilmesi – biçim değiştirme grafiğini incelemede kolaylık sağlamıştır. Bu üç grafiğe bakıldığında iki biçim değiştirme arasında belirgin bir fark olmaması ortalama grafiğini de benzer bir eğri olmasını sağlamıştır.

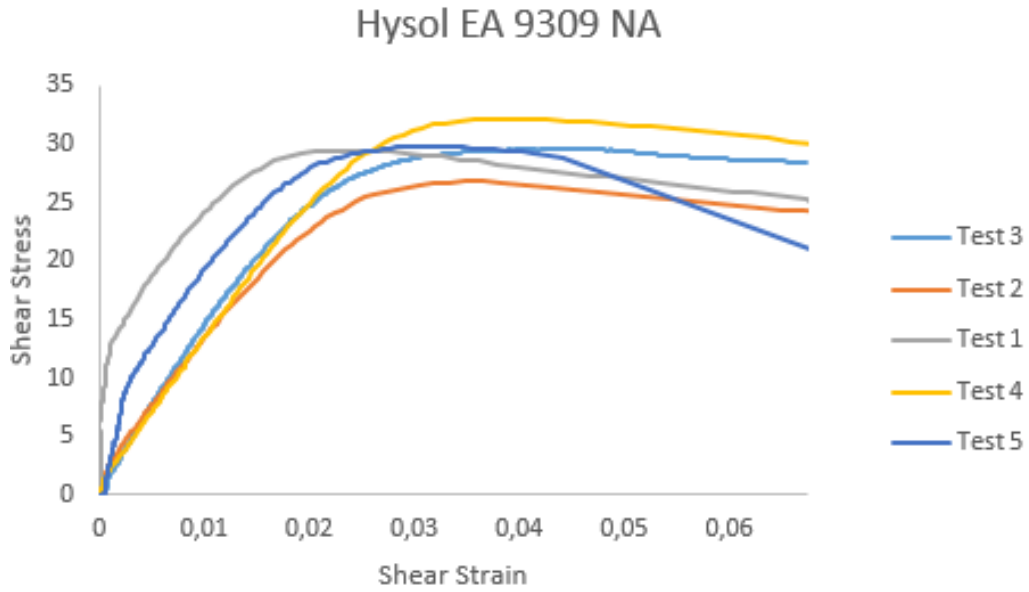
Bu deneyde (Test 1) çekme cihazıyla kuvvetin uygulanması ile birlikte deplasman olmuş ve kopma noktasına kadar bu şekilde devam etmiştir. Bu noktadan sonra kuvvetle orantılı olarak deplasman artmış ve kopma noktası olan 0,09 mm ortalama deplasman kopma noktasına gelinmiş ve bu noktada yüksek bir sesle kopma olmuştur. Buradaki kayma gerilmesinin maksimum olduğunda 14155,87 N uygulanan kuvvettir. Çekme cihazı bu noktadan sonra kuvveti yavaş yavaş düşürmüş deplasman hissedilir derecede artmaya devam etmiştir. Burada kuvvetin en yüksek olduğu değer ve kopmanın olduğu değer yukarıda belirtilen deplasman ve kuvvet değeridir. Yapıştırıcı üst yada alt yapıştırıcı yüzeyine bağlı kalmış parçalı bir kopma olmamıştır. İlk başta yapıştırıcılardan bahsederken ele alınan adheziv bir parçalanma olmamıştır. Yine diğer yapıştırıcıda olduğu gibi alüminyum yüzeyi tamamen bırakmış diğer bağlandığı alüminyum yüzeyde kalmıştır.

Kayma modülünü bulurken Şekil 6.7.e. incelendiğinde; kayma gerilmesinin yaklaşık 15,62 MPa ve biçim değiştirmenin 0,01 olduğu nokta tespit edilmiştir. “G” kayma modülü Denlem (76.6) formülde yerine konularak 1,56 GPa bulunmuştur. ve Tablo 6.2’e yerleştirilmiştir.



Şekil 6.8: Hysol yapısal yapıştırıcı test sonrası yapıştırıcı görünümü.

Bu deneyde kayma gerilmesi noktasının sonu olan kopma noktasına yada diğer bir deyişle yapıştırıcının yüzeye temasının ilk ayrılmanın olduğu andaki maksimum kuvvetin uygulandığı noktada birim şekil değiştirme ise 0,0466 mm'dir. Bu plastik sınırında sona erdiği kopma noktasındaki shear strain değeridir. Bu değere ulaşılan kayma gerilmesi değeri maksimum kuvvet uygulandığı anda 31,88 MPa'dır. Yapıştırıcının referans bilgilerinde ASTM 1002 test aparatı ile yapılan testte 34,5 MPa bir kayma değeri belirtilmiştir.



Şekil 6.9: Tüm testleri shear stress- shear strain grafikleri.

Hysol EA 9309 NA yapısal yapıştırıcısı ile toplam beş deney yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen kayma gerilmesi-biçim değiştirme grafikleri Şekil 6.9'da birleştirilmiş ve Hysol EA 9309 NA ile yapılan çalışmanın bütününe göstermiş ve genel olarak bakma imkanı vermiştir. Tablo 6.1'de yapılan bu beş deneyden elde

edilen değerler verilmiştir. Bu değerlere ve grafiklere bakıldığında kayma gerilmesinin ve biçim değiştirmelerin birbirine yakın değerler olduğu grlmektedir. Tüm etmenleri n hazırlıkları karışımın tam yapılması gibi tüm hazırlıkları tekrar gözden geçirilerek bu oran azaltılabilir.

**Tablo 6.4:** Hysol EA 9309 NA yapıştırıcı ile yapılan testler ve verileri.

<b>Hysol EA 9309 NA</b>			
Test No	$\gamma$ -Shear Strain	$\tau$ -Shear Stress(MPa)	$G$ -Shear Modulus (GPa)
1	0,046	29,54	1,56
2	0,043	26,31	1,6
3	0,022	29,45	2,38
4	0,047	31,88	1,38
5	0,044	28,84	3,35
Ortalama	$0,04 \pm 0,02$	$29,2 \pm 2,68$	$2,054 \pm 1,29$

Yapılan beş deneyde bazı değerlerde sapmaların meydana gelmesinde LVDT'lerin bağlantısında veya veri akışında meydana gelen problemlerden kaynaklanması muhtemeldir. Bu tür veri problemlerinin olmaması için deneylerin daha hassas ölçüm cihazlarıyla yapılması çok sağlıklı verilerin elde edilmesini sağlar.

## YEDİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Reçineleri kayma değerleri ile yapılan çeşitli çalışmalar yorumlanmıştır. Yapıştırıcıların testinin yapıldığı farklı bir tasarım yapılırsa farklı bağlantılarda ne tür mekanik özellikler elde edebileceği tespit edilir, yapısal yapıştırıcıların (reçinelerin) dayanımlarını ayarlamakta kullanabilecek sağlam ve sağlıklı bilimsel veriler elde edebilir. Bu çalışmada tasarlanmış ve tasarım sonucu ortaya konulan ve testleri yapılan aparatla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Burada sabit bir yapıştırıcı kalınlığı ile çalışma yapılmış ve farklı iki yapıştırıcının verdiği kayma değerleri değerlendirilmiştir.

Testler, belirlenen yapıştırıcılar kullanılarak yapılmış ve bu yapıştırıcılardan iki tanesi üzerinde durulmuştur. Bu yapıştırıcılar Araldit 2015 ve Hysol EA 9309 NA olmuştur. Bu iki yapısal yapıştırıcının dışında Hysol EA 934, Hysol EA 956 NA ve Araldite Standart Yapısal Yapıştırıcı, Ciba gibi yapıştırıcılarda deneme numuneleri olarak test edilmiş, çalışmalar derinlemesine incelenmemiş, yeni test aparatı ile ilgili çeşitli bilgiler alınmıştır.

Bu iki yapıştırıcının haricinde farklı türde yukarıda sayılan ve test edilen diğer yapıştırıcılardan daha katı rijit olan yapıştırıcılarda üzerinde yapılacak çalışmalarla tasarlanan test aparatında test edilebilir. Fakat daha esnek olan yapıştırıcılarda daha iyi sonuçlar alındığı da bir gerçektir. Yapılan bu çalışmanın vermiş olduğu tecrübe ve veriler daha sonraki yapılacak çalışmalarda ışık tutacak ve farklı bir bakış açısı geliştirilmesine sebep olacaktır. Daha neler yapılabilir sorusuna bir çok cevap bulunabilecek bir çalışma olmasıyla birlikte yapılması planlanan çalışmalarda alınacak sonuçları da merak uyandıran bir çalışma olarak ortaya çıkmıştır.

Yapılan çalışmada istenilen sonuçların elde edilebileceği ve bu çalışmanın daha farklı yapıştırıcılara uygulanarak istenilen kayma değerlerinin elde edilebileceği

ve bu verilerin standartlara bağılı örneğın ASTM 1002 aparatının kullanılarak yapılması yada TAST dışınđa farklı bir tasarım olan bu çalışmada kullanılan test aparatı ile kayma gerilmesi değerlerinin bulunabileceği görölmüşür.

### **7.1 Araldit 2015 İçin Kayma Gerimesi ve Kayma Biçim Değiştirme**

Araldit 2015 ile yapılan testlerin göstermiş olduğu sonuçlar, yapılan diğer çalışmalara benzerlik göstermiştir. Lucas F. M. da Silva [64] ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada TAST yöntemiyle, Araldit 2015 elik TAST aparatı kullanılarak test edilmiştir. Bu çalışma için tasarlanmış olan test aparatında ise alüminyum kullanılmıştır. Fakat sonuçlardan görölen kayma gerilmelerinde üretici teknik verilerine uygun değerler elde edilmiştir. Bu durum aparatın farklı olmasından kaynaklanmakta olma ihtimali yüksektir. İki çalışma arasında farklı test materyalleri ve farklı aparat ana maddelerinden oluşmasına rağmen yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Grafiklerden aşağıda verilen örnekte (şekil 7.1) görebileceğimiz gibi birim şekil değiştirmenin 0,01 mm olduğu noktada 14,22 MPa kayma gerilmesi olan noktadır. Bu noktadan sonra gerilme uygulanan kuvvetin artmasıyla devam etmekte ve kayma biçim değiştirme yani gerilme de artmaktadır. Sonuçta kayma gerilmesinin en yüksek olduğu nokta biçim değiştirmenin 0,046 mm olduğu noktadır. Buradaki kayma gerilmesi 19,53 MPa'dır. Burada kopma noktasında uygulanan maksimum kuvvet 8459,76 N'dur. Bu noktadan sonra yapıştıracı yüzeyden tamamen ayrılmış uygulanan kuvvet ani düşüş yapmış gerilmede aynı şekilde düşmüştür.

Kayma gerilmesi ve kayma biçim değiştirme grafiklerinde elde edilen değerler yapıştıracı ile ilgi bilgiler vermektedir.

### **7.2 Hysol EA 9309 NA İçin Kayma Gerimesi ve Kayma Biçim Değiştirme**

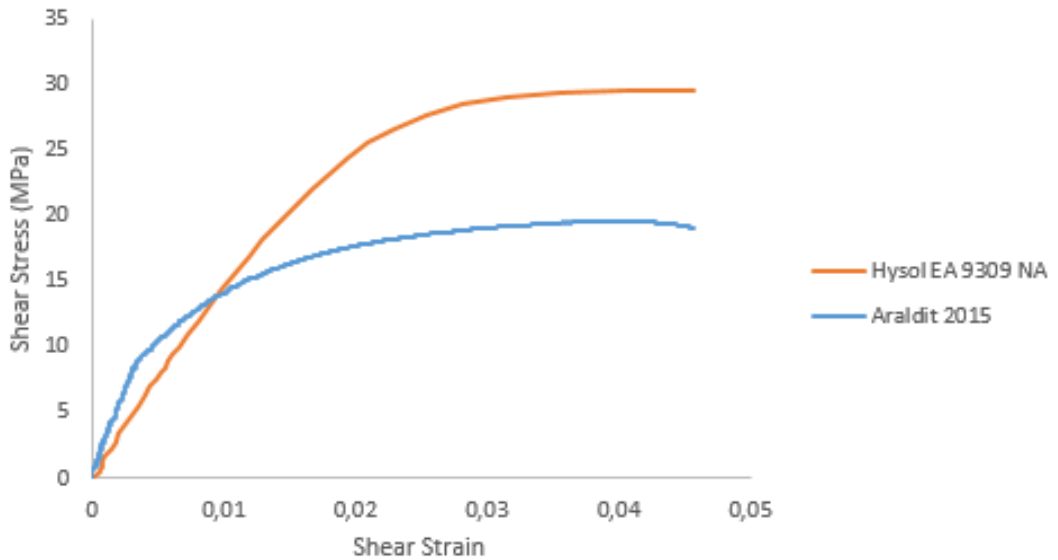
Hysol EA 9309 NA ile beş test yapılmıştır. Bu deneylerde elde edilen sonuçlarda kayma gerilmesi ve kayma biçim değiştirme ortaya sağlıklı grafikler koymuştur. Bu grafiklerden aşağıda verilen örnekte (şekil 7.1) görebileceğimiz gibi birim biçim değiştirmenin 0,01 mm olduğu noktada 15,62 MPa kayma gerilmesi mevcuttur. Bu noktadan 0,019 mm birim biçim değiştirme ve 24,32 MPa kayma gerilmesine kadar yapıştıracı dayanımını korumaktadır. Bu noktadan sonra gerilim ve gerilim artmakta ve kayma gerilmesinin en yüksek olduğu nokta 0,046'dır. Buradaki kayma gerilmesi 29,57 MPa'dır. Tablo 7.1'de testlerden seçilen iki deneyin kayma

gerilmesi değerleri, Şekil 7.1’de seçilen bu iki deneyin kayma gerilmesi- biçim değiştirme grafiklerinin birlikte görünümü verilmiştir. Burada kopma noktasında uygulanan maksimum kuvvet 13129 N’dur. Bu noktadan sonra yapıştırıcı yüzeyden tamamen ayrılmış uygulanan kuvvette ani düşüş yapmış gerilmede aynı şekilde düşmüştür.

Sonuç olarak bu grafikler ve özellikle kayma gerilmesi ve kayma biçim değiştirme gösteren grafikler yapıştırıcının iki yüzey arasındaki bağın dayanımının son noktasını tespit eden verileri içermektedir. Tablo 7.1’de iki yapıştırıcı ile yapılan deneylerden birer örneğin kıyaslaması görölmektedir.

**Tablo 7.1:** Yapılan testlerden sonucu seçilen birer deney sonuçları görünümü.

YAPIŞTIRICILAR	Data Sheet Shear Stress (MPa)	Test Aparatı ile Elde edilen Shear Stress (MPa)
HYSOL EA 9309 NA	34,5	29,54
ARALDİT 2015	17	19,57



**Şekil 7.1:** İki yapıştırıcı ile yapılan testlerden seçilen birer shear stress- shear strain grafikleri.

Tablo 7.2’de yapılan deneylerden elde edilen kayma gerilmesi, biçim değiştirme, maksimum biçim değiştirme ve kayma modülü değerlerinin ortalaması ve ürün bilgi kartındaki referans kayma gerilmesi değerinin mukayesesi görölmektedir.

**Tablo 7.2:** Yapılan testlerden elde edilen verilerin ortalamaları ve yapıştırıcı üretici bilgilerindeki test sonucu kayma verileri mukayesesi.

<b>Yapılan Testlerden Elde Edilen Ortalama Değerler</b>				
Yapıştırıcılar	$\gamma$ Shear Strain	$\tau$ Shear Stress (MPa)	$\tau$ (Data Sheet) Shear Stress (MPa)	$G$ Shear modulus(GPa)
Araldit 2015	<b>0,055</b> $\pm$ 0,02	<b>20,84</b> $\pm$ 3,86	<b>17</b>	<b>1,420</b> $\pm$ 1,06
Hysol EA 9309 NA	<b>0,040</b> $\pm$ 0,02	<b>29,20</b> $\pm$ 2,68	<b>34,5</b>	<b>2,054</b> $\pm$ 1,29

Bu çalışmada ayrıca yapıştırıcıların kür edilme ısısı ve zamanının yapılan teste çok büyük bir etkisinin olduğuda görülmüştür. Ayrıca test yapılan ortam ısısının testten elde edilen verileri belli bir oranda etkilediği kanaati oluşmuştur. Başka bir bakış açısı kazandıran bu çalışma konuyla ilgili farklı çalışmalarını yapma fikirleri de vermiştir. Bu çalışma için tasarlanmış olan test aparatının yapısal yapıştırıcıların kayma değerlerini araştırılmasında çok büyük oranda doğru bilgiler verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada amaçlanan kayma yüküne maruz kalan iki noktadan bağlantılı yapıştırıcının kayma özelliklerini belirlemektir. Bu deneysel metotta, hasarın başlangıcına neden olan diğer gerilmelerin etkisini ortadan kaldırmak ve daha düzgün bir kayma gerilmesi dağılımı elde edebilmek test aparatından edinilen tecrübeler ve diğer test metotlarının sekronize uygulanmasının ileri çalışmalarda faydalanılacak durumlar, yapılmış çıkarımlardır. Numunede yapıştırma işleminin gerçekleştirildiği bölgeye yerleştirilen özel amaçla tasarlanmış LVDT tutturucular kullanılarak yapıştırılan malzeme üzerinde bu bölgede oluşan nispi yer değiştirmeler ölçülmüştür. Ölçüm işlemi, numunenin yüklemeye başlandığı andan hasarın oluştuğu ana kadar devam etmiştir. Elde edilen kuvvet-yer değiştirme verilerinden, kayma gerilmesi-kayma biçim değiştirme eğrisi ve diğer mekanik özellikler belirlenmektedir. Yapılan deneysel analizler sonucu belirlenen Araldit 2015 yapıştırıcısının kayma davranışı Lucas ve arkadaşları [64] tarafından yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, elde edilen deneysel sonuçlar küçük farklılıklar dışında oldukça iyi bir uyumun olduğu görülmektedir.

Kayma eğrisinde görülen bu küçük farklılığın, TAST test aparatının çelikten imal edilmiş olması, bu çalışma için dizayn edilen test aparatının alüminyumdan

olması nedeniyle Aaparatların farklılığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Hysol EA 9309 NA yapısal yapıştırıcısının da mekanik özelliklere uygun olduğu düşünülen veriler elde edilmiştir. Bu iki yapıştırıcının da esnek karakterde yapıştırıcılar oldukları, elde edilen grafiklerden açıkça görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, yeni tasarlanan bu aparatla uygulanan yönteminin esnek olan yapısal yapıştırıcılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde tekrarlanabilir ve doğru veriler ürettiği görülmüştür.



## KAYNAKLAR

1. ASTM D907-74, 1974, Definition of Terms Relating to Adhesives.
2. Kaya M., (2005) Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisi, *UTED Aylık Havacılık Dergisi*, Aralık 2005, Türkiye
3. Kayacan R., (1988) Yapıştırma ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 167 s., İstanbul, Türkiye.
4. Kodakoğlu L., (1996) Yapıştırıcıların Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dan. Kotil T., İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Türkiye, 139 s.
5. Loctite European Group (1998), *Worldwide Design Handbook*, Düzeltilmiş 2. Baskı, Erasmusdruck GmbH Mainz, Almanya.
6. Çalık, A., 2008, Yapıştırıcılar ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
7. Pizzi, A., Mittal, K. L., (2003) *Handbook of Adhesive Technology* Second Edition, Revised and Expanded, Marcelle Kkeirn,C New York.
8. *Loctite Worldwide Design Handbook*, 1988.
9. Adin., H., 2007, Kompozit Malzemelerin Mekanik Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ
10. Kinloch, A. J., 1987. *Adhesion and Adhesive Science and Technology*. First Edition, Chapman and Hall.
11. Parvatareddy, H.,1997. *Durability of polyimide adhesives and their bonded joints for high temperature applications*. Ph. D. These, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

12. Solmaz, M.Y., 2008, Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Bağlantıların Mekanik Analiz ve Tasarımları, Doktora tezi Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ
13. Bowditch, M. R., Clarke, J. D., and Stannard, K. J., 1986. *Adhesion*, 11, p.1
14. Aydın S., 2012, Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Prizmatik Geçmeli Bağlantıların Mekanik Analizleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ
15. Ebnesejjad S, 2011, *Handbook of Adhesives And Surface Prepartion, Technology, Applications and Maufacturing*, 6 s.
16. Deraguin, B.V., Toporov Y.P., 1983 *Physiochem. Aspects Polym. Proc. Int.Symp ., 2*, p. 605, 1983.
17. Jennings, C.W., 1972. *Journal of Adhesion* 4,25.
18. DeMejo LP., Rimai DS., Sharpe LH., 1999. *Fundamentals of Adhesion and Interfaces*. Taylor & Francis; London.
19. Mittal, K.L.,1976. *Journal of Vaccum Science and Technology* 13,19.
20. Petrie EM., 2002. *Plastics and adhesives as adhesives.In: Harper CA*, ed. Handbook of Plastics and Elastomers. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
21. Salomon, G.and Houwink, R. 1965, *Adhesion and Adhesives*, Vol I, 2nd edition, Elsevier Newyork Elsevier, New York, p.I-140sy. (1965)
22. Wake, W.C., 1986, Adhesion and the Formulation of Adhesives, Structural Adhesives in Engineering, Proceedings of the Instition of Mechanical Engineers, *IMechE*, C151/86, 161-168 sy.
23. Yıldırım, M., Apalak, M.K. ve Ekici R., 2008. Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Alüminyum-Çelik Sandviç Bağlantıların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının İncelenmesi, *HaSeM'08 VII. Havacılık Sempozyumu*, Kayseri, 15-16 Mayıs, s. 134.
24. U.K. Vaidya, A.R.S. Gautam, M. Hosur, P. Dutta., 2006. Experimental-numerical studies of transverseimpact response of adhesively bounded lap joints in structures, *Int. Journal of Adhesion &Adhesives*, 26, 184-198.

25. Aydın, M.D., Temiz, Ş., Özel, A., 2007. Yapıştırma Bağlantılarının Dayanımı Üzerine Kürleşme Basıncının Etkisi, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 7-9 Kasım, s. 470-479.
26. Şekercioğlu T., 2001, Yapıştırma Bağlantılarının Dinamik Yükler Altındaki Davranışların İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli Türkiye, 33 s.
27. Adams, R.D. and Wake, W.C., 1984. *Structural adhesive joints*. Elsevier Applied Science Publishers, London.
28. Adams, R.D., 1989 Strength Prediction for Lab Joints, Especially with Composite Adherents, A Review, *Journal of Adhesion*, vol.30, pp.219-242.
29. Akpınar, S., 2012 Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş T- Bağlantılarda üç boyutlu gerilme Analizi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Erzurum .
30. Kaya, F., 2004. *Ana Hatlarıyla Yapıştırıcılar*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
31. Aydın M.D.,Ş Temiz Ş., Özel A.,2003, . Yapısal yapıştırıcıların mekanik özelliklerinin belirlendiği deneysel yöntemler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt 45, Sayı 536 18-24 sy.
32. Bigwood, D.A. and Crocombe, 1990, A.D., Nonlinear adhesive bonded joint design analyses, *Int. J. Adhes.*, vol 10, 31-41 sy.
33. Lucas Filipe Martins da Silva, Andreas Öchsner, Robert D. Adams, 2011, "*Handbook of Adhesion Technology*" Kitabı 613 s.
34. Duncan B., Dean G., 2003, "*International Journal of Adhesion and Adhesives*" Kitabı, Baskı 2, 141-149 s.
35. Tomblin, J.S., Yang, C. and Harter, P., 2001, Investigation in thick bond line adhesive joint, Final Report, DOT/FAA/AR-01/33, US., Department of Transportation, Washington, DC.
36. Van Rijn, L.P., 1996, *Towards the fastenerless composite design*", Composites Part A, 27A, 915-920.
37. Vinson, J.K., 1989, Adhesive bonding of polymer composites. *Polymer Engineering and Science*, 29(19), 1325-1331sy.

38. <http://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkinda-hersey> /Erişim Mayıs 2015
39. Autar K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials* A CRC title, part of the Taylor & Francis imprint, a member of the Taylor & Francis Group, the academic division of T&F Informa plc. S E C O N D E D I T I O N Boca Raton London New York.
40. Potyrała P.B., 2011, *Use of Fibre Reinforced Polymer Composites in Bridge Construction*. State of the Art in Hybrid and All-Composite Structures, Escola Tecnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i ports de Barcelona, Spain.
41. <http://www.netcomposites.com/guide-tools/guide/resin-systems>, Erişim Ocak 2016.
42. Chin, I., Thurn-Albrecht, T., Kim, H., Russel, T.P. and Wang, J., 2001. On Exfoliation of Montmorillonite in Epoxy, *Polymer*, 42: 5947-5952.
43. Mallick P.K., 2007, *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, Third Edition, Department of Mechanical Engineering University of Michigan-Dearborn, Dearborn Michigan, 68 s.
44. Őeker, A.; 2010 Epoksi Reçine/ Sepiyolit Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya , 17 s.
45. <http://www.wyomingtestfixtures.com/products.html> /Erişim Haziran 2015
46. ISO 11003-2, 2001. *Determination of shear behaviour of structural adhesives-- Part 2: Tensile test method using thick adherends*
47. <http://www.astm.org/Standards/D1002>, Erişim, Ocak 2016.
48. ASTM D1002.,1983, Standard Test Method for Apparent Shear Strength of Single-Lap-Joint Adhesively Bonded Metal Specimens by Tension Loading (Metal-to-Metal) 2010 Edition Issued: OCT. 1, 2010. 6 sy.
49. Yang, C., Tomblin, J.S., and Harter, P.F.,2001, "Investigation of Thick Bondline Adhesive Joint," Report No. DOT/FAA/AR-01/33 Wichita State University 1845 N. Fairmount Wichita, KS 67260-0093

50. GUAN Zhi dong, WU Aiguo, WANG Jin, 2004, Study on ASTM Shear Loaded Adhesive Lap Joints, *Chinese Journal of Aeronautics*, Vol. 17, No:2 , May ASTM 2004 79-86 s.
51. “Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies,” *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 15.06, 1997, 199-202 sy.
52. <http://www.adhesivestoolkit.com/Docs/test/MECHANICAL%20TEST%20METHOD%201%20-%20Thick%20Adherend%20Shear%20Test.xtp#ref52>  
/Erişim Haziran 2015
53. Kadioglu, F., Vaughn, L.F., Guild, F. J. and Adams, R.D. ,2002, ”Use of the Thick Adherend Shear Test for Shear Stress-Strain Measurements of Stiff and Flexible Adhesives“, *Journal of Adhesion*, 78 (5), 355-381 (2002).
54. Dean G.D., 1997, Proposed Draft for the Revision of ISO 1003-2 Adhesives - Determination of Shear Behaviour of Structural Bonds, Part 2: Thick-adherend shear test method, Centre for Materials Measurement & Technology National Physical Laboratory Queens Road, Teddington, Middlesex TW11 0LW 10 sy.
55. ASTM D5656., 1995. Standard Test Method for Thick-Adherend Metal Lap-Shear Joints for Determination of the Stress-Strain Behavior of Adhesives in Shear by Tension Loading 2010 EDITION. Issued: NOV. 1, 2010. 8 sy.
56. Yang C., Tomblin J.S., Guan Z., 2003, Analytical Modeling of ASTM Lap Shear Adhesive Specimens Department of Mechanical Engineering, Report No: DOT/FAA/AR-02/130, Wichita State University Wichita, KS 67260, 3-35 sy.
57. Dean, G.D., Duncan, B.C., Adams, R.D., Thomas, R. And Vaughn, L., 1996 Comparison of Bulk and Joint Specimen Tests for Determining the Shear Properties of Adhesives. 9 April 1996, MTS Adhesive Project, NPL Report CMMT(B) 51, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK
58. Thomas, R. and Adams, R.D., 1996, The Torsion Method for Bulk and Joint Test Specimens. MTS Adhesives Project 1, Report No 7, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK .
59. Duncan, B.C, Dean, G.D., 1996, Notched-Beam Shear (Iosipescu) and Notched-Plate Shear (Arcan) Methods for Bulk and Joint Test Specimens. NPL Report CMMT(B) 56, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK

60. Arcan, M., Hashin, Z. and Voloshin, A., 1978, A Method to Produce Uniform Plane-Stress States With Applications To Fibre Reinforced Materials. *Experimental Mechanics* Impact Factor: 1.57 · DOI: 10.1007/BF02324146,
61. Kadioglu, F., Adams, R.D. and Guild, F. J.,2000, “The Shear Stress-Strain Behaviour of Lowmodulus Structural Adhesives”, *Journal of Adhesion*, 73 (2-3), 117-133 s.
62. Araldite2015, Technical Data Sheet <http://intertronics.co.uk/data/ara2015.pdf>, Erişim Ocak 2016.
63. EA Hysol 9309 NA Technical Data Sheet, <http://mtpincexporter.com/chemicals/tds/Hysol%20EA%209309NA.pdf>, Erişim 2016
64. Lucas F. M. da Silva, R. A. M. da Silva, J. A. G. Chousal and A. M. G. Pinto, 2007, Alternative Methods to Measure the Adhesive Shear Displacement in the Thick Adherend Shear Test, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 22 (2008) 15–29

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Aksaray - 1975  
**Medeni Hali** : Evli  
**Adres** : Kanuni Mah. Demirciler Sok. 45/7 Keçiören /  
ANKARA  
**E-Posta Adresi** : baylak@gmail.com  
**İletişim (Telefon)** : 0 532 571 62 48



### EĞİTİM

**Lise** : İncirli Endüstri Meslek Lisesi/Elektrik Bölümü - 1992  
**Ön Lisans** : Ankara Üniversitesi/Elektrik Bölümü - 1996  
**Lisans** : Anadolu Üniversitesi/İkt. Fak./Maliye - 2001  
**Lisans** : Hoca Ahmet Yesevi Üniversitesi/Müh. Fak./Endüstri  
Mühendisliği - 2013 (Onur Derecesi)  
**Yüksek Lisans** : Türk Hava Kurumu Üniversitesi / Makine ve Uçak Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM

1994 TEK Röle Ölçü Aletleri, Yaz Stajı  
1995 EGO Genel Müdürlüğü, Yaz Stajı  
1996 Ankara Metrosu, Araç Bakım Müdürlüğü, Sürekli Bakım Teknikeri  
2000 Ankara Metrosu, İşletme Müdürlüğü, İşletme Kontrolörü  
2008 Ankara Metrosu, İşletme Müdürlüğü, İşletme Merkezi Şefi  
2013 – Halen. Ankara Metrosu, Araç Bakım Müdürlüğü, Önleyici Bakım Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce